

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ.
ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

Материалы
международной научно-практической
конференции

11 апреля 2001 года
г. Новочеркасск

Часть 1

Новочеркасск 2001

УДК 519.688
ББК 22.18 в6
М 74

Организаторы конференции:

Министерство образования Российской Федерации;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Горбатенко Н.И., профессор (РФ) – председатель;
Бахвалов Ю.А., профессор (РФ);
Вурмус Г., профессор (ФРГ);
Загороднюк В.Т., профессор (РФ);
Йегер Г., профессор (ФРГ);
Калленбах Е., профессор (ФРГ);
Ланкин М.В., доцент (РФ) – зам. председателя;
Никитенко Н.Ф., профессор (РФ);
Плаксин В.А., доцент (РФ);
Савельев М.В., профессор (РФ);
Чернов В.Н., профессор (РФ).

Редакционная коллегия:

Горбатенко Н.И. – ответственный редактор;
Плаксин В.А. – зам. ответственного редактора;
Ланкин М.В.

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы междунар.
науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 11 апреля 2001 г.: В 8 ч. / Юж.-Рос.
гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2001. –
Ч. 1. – 56 с.

ISBN 5-88998-266-4

Тексты докладов помещены в сборник, включающий 8 частей. Часть 1 содержит
статьи, посвященные математическому моделированию в строительстве.
Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 519.688 : [69+624]

ISBN 5-88998-266-4

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2001
© Авторы, указанные в оглавлении, 2001

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) — крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные международные научно-технические контакты, — выступил инициатором проведения ряда международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе INTERNET.

В апреле 2001 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие представители вузов Москвы, Минска, Тирасполя, Санкт-Петербурга, Тулы, Днепропетровска, Новгорода, Екатеринбурга, Тамбова, Владикавказа, Омска, Томска, Новочеркасска и других городов России и ближнего зарубежья. На конференцию представлено 164 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из восьми частей. Каждая часть содержит материалы по одному или нескольким научным направлениям.

Первая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию в строительстве.

Во вторую часть вошла первая половина статей о математическом моделировании социальных и экономических процессов.

Третья часть содержит вторую половину докладов о математическом моделировании социальных и экономических процессов, а также статьи, посвященные физическому моделированию в науке и технике и учебно-методическим вопросам преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Четвертая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию технологических процессов.

Пятая часть содержит статьи о математических моделях в энергетике, электромашиностроении, химии и металлургии.

В шестую часть вошли доклады, посвященные математическим моделям в медицине, биологии и экологии, а также математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем.

Седьмая часть включает доклады, освещающие общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений.

Восьмая часть содержит статьи о математических моделях в теплотехнике и гидравлике, в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, и с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОРРЕКЦИИ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Воронцов Г.В., Федий В.С., Резниченко А.И.

Предложен метод оценивания параметров конечно-элементной модели высотного сооружения, основанный на:

- анализе показаний средств измерения ускорений основания и переменных состояния сооружения при импульсном (взрывном) воздействии;
- введении в математическую модель квазиуправлений по принципу обратных связей, согласующих расчетные и экспериментальные значения переменных состояния и позволяющие идентифицировать коэффициенты инерционной, диссипативной и матрицы жесткости сооружения.

1. Математическая модель наблюдаемого и управляемого высотного сооружения. Линейную математическую модель высотного сооружения, подверженного кинематическому (взрывному, сейсмическому) воздействию, представляем уравнениями

$$M\ddot{\vec{V}}(t) + K\dot{\vec{V}}(t) + H\vec{V}(t) = -M\vec{B}\ddot{\vec{a}}(t) + \vec{G}(t); \quad (1)$$

$$K = \beta_1 M + \beta_2 H; \quad (2)$$

$$\vec{G}(t) = \Gamma [\vec{Z}_{\text{пр}}(t) - C\vec{V}(t)]; \quad (3)$$

$$\vec{Z}(t) = C\vec{V}(t). \quad (4)$$

Здесь $\vec{V}(t) \in R^n$ и $\vec{a}(t) \in R^v$ – векторы перемещений узлов конечно-элементной схемы сооружения и ускорений его основания; $\vec{G}(t) \in R^v$ – вектор управляющих воздействий, определяемых по принципу обратных связей (3); M и K – инерционная и диссипативная матрицы; H – матрица жесткостей; B – матрица «распределения» ускорений $\ddot{\vec{a}}(t)$ основания по координатам $\vec{V}(t)$; β_1 и β_2 – коэффициенты сил трения; $\vec{Z}_{\text{пр}}(t)$ – программа движения, заданная показаниями системы (4) измерения деформаций сооружения.

С целью уменьшения размерности уравнений вводим усеченную $(n \times \mu)$ – фундаментальную матрицу $\Phi_{n\mu} (\mu \ll n)$, соответствующую матрице $M^{-1}H$, и преобразуем уравнение (1) к главным координатам $\vec{v}_\mu(t) \in R^\mu$, таким что

$$\vec{V}_n(t) \approx \Phi_{n\mu} \vec{v}_\mu(t). \quad (5)$$

Подставляя соотношение (5) в выражения (1) и (3), получаем систему уравнений колебаний

$$\mathbf{m}\ddot{\vec{v}}(t) + \mathbf{k}\dot{\vec{v}}(t) + \mathbf{h}\vec{v}(t) = \mathbf{b}\ddot{\vec{a}}(t) + \vec{g}(t) \quad (6)$$

и обратных связей

$$\vec{g}(t) = \gamma \left[\vec{Z}_{\text{пр}}(t) - \mathbf{C}\Phi\vec{v}(t) \right]. \quad (7)$$

Здесь и далее вводим следующие обозначения

$$\mathbf{m} = \Phi^* \mathbf{M} \Phi = \text{diag}[m_1 \dots m_\mu]; \quad \mathbf{h} = \Phi^* \mathbf{H} \Phi = \text{diag}[h_1 \dots h_\mu];$$

$$\mathbf{k} = \Phi^* (\beta_1 \mathbf{M} + \beta_2 \mathbf{H}) \Phi = \text{diag}[k_1 \dots k_\mu]; \quad \mathbf{b} = \Phi^* \mathbf{M}; \quad (8)$$

$$\gamma = \Phi^* \Gamma; \quad \ddot{\vec{\alpha}}(t) = \mathbf{B}\ddot{\vec{a}}(t); \quad \Omega^2 = \mathbf{m}^{-1} \mathbf{h}.$$

В дальнейшем именно уравнения (6) и (7) считаем математической моделью сооружения и рассматриваем задачу об идентификации её параметров (матриц) $\mathbf{m}, \mathbf{k}, \mathbf{h}$. Вводя вектор «главных» переменных состояния

$$\vec{X}^*(t) = \begin{bmatrix} \vec{v}^*(t) & \dot{\vec{v}}^*(t) \end{bmatrix},$$

преобразуем выражение (6) в

$$\ddot{\vec{X}}(t) = \mathbf{A}\dot{\vec{X}}(t) + \mathbf{D}_1 \ddot{\vec{a}}(t) + \mathbf{D}_2 \vec{g}(t), \quad (9)$$

где принимаем

$$\mathbf{A} = - \begin{bmatrix} -\mathbf{E} & 0 \\ \Omega^2 & \mathbf{m}^{-1} \mathbf{k} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{D}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{b} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{D}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{E} \end{bmatrix}.$$

При этом уравнение (7) обратной связи записываем в виде

$$\vec{g}(t) = \gamma \left[\vec{Z}_{\text{пр}}(t) - \mathbf{C}_x \vec{X}(t) \right], \quad \mathbf{C}_x := [\mathbf{C} : \mathbf{C}] \Phi. \quad (10)$$

2. Определение оптимальных управляющих воздействий. Определим воздействия $\vec{g}(t)$ на систему (9) таким образом, чтобы при заданных возмущениях $\ddot{\vec{a}}(t)$ расчетные значения переменных состояния $\vec{X}(t)$ как можно лучше соответствовали действительным показаниям $\vec{Z}_{\text{Д}}(t)$ средств измерений. Критерий качества соответствия запишем в виде функционала

$$\Phi = \left(\vec{Z}_{\text{пр}} - \mathbf{C}_x \vec{X} \right)^* \mathbf{W}_1 \left(\vec{Z}_{\text{пр}} - \mathbf{C}_x \vec{X} \right) \Big|_T + \int_0^T f_\Lambda \left(\vec{X}, \vec{g}, \vec{\Lambda} \right) dt \rightarrow \min,$$

в интегрант которого по принципу Лагранжа включаем уравнение (9) как условие связи:

$$f_\Lambda \left(\vec{X}, \vec{g}, \vec{\Lambda} \right) := \left(\vec{Z}_{\text{пр}} - \mathbf{C}_x \vec{X} \right)^* \mathbf{W}_2 \left(\vec{Z}_{\text{пр}} - \mathbf{C}_x \vec{X} \right) + \vec{g}^* \mathbf{W}_3 \vec{g} +$$

$$+ 2 \left(\dot{\vec{X}} - \mathbf{A} \vec{X} - \mathbf{D}_1 \ddot{\vec{a}} - \mathbf{D}_2 \vec{g} \right)^* \vec{\Lambda}.$$

Здесь $\mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2, \mathbf{W}_3$ – положительно определенные симметричные матрицы «весовых» коэффициентов; $\vec{\Lambda}(t)$ – вектор множителей Лагранжа.

Для определения неизвестных $\vec{X}(t)$, $\vec{g}(t)$ и $\vec{\Lambda}(t)$ составляем уравнения Эйлера, которые совместно с выражением (9) образуют систему уравнений

$$\vec{g}(t) = \mathbf{W}_3^{-1} \mathbf{D}_2 \vec{\Lambda};$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \vec{X}(t) \\ \vec{L}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{D}_2 \mathbf{W}_3^{-1} \mathbf{D}_2^* \\ -\mathbf{C}_x^* \mathbf{W}_2 \mathbf{C}_x & -\mathbf{A}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{X}(t) \\ \vec{L}(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{D}_1 \vec{a} \\ \mathbf{C}_x^* \mathbf{W}_2 \vec{Z}_{\text{пр}}(t) \end{bmatrix} \quad (11)$$

и краевое условие

$$\left[\mathbf{C}_x^* \mathbf{W}_1 (\vec{Z}_{\text{пр}} - \mathbf{C}_x \vec{X}) - \vec{\Lambda} \right]_T = 0.$$

Если в системах измерения ускорений $\vec{a}(t)$ и переменных состояния $\vec{X}(t)$ имеют место случайные помехи $\vec{\xi}_Z(t)$ и $\vec{\xi}_\alpha(t)$, дифференциальное условие связи (9) заменяем интегральным

$$\vec{X}(T) = \int_0^T \left\{ \mathbf{S}^*(t, T) \vec{Z}_D(t) + \mathbf{P}^*(t, T) [\mathbf{D}_1 \vec{a}(t) + \mathbf{D}_2 \vec{g}(t)] \right\} dt, \quad (12)$$

где $\vec{X}(T)$ есть оценка состояния системы при $t = T$; $\mathbf{S}$ и $\mathbf{P}$ – матрицы, определяемые решением уравнений

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \mathbf{L} \\ \mathbf{P} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{Q}_\alpha \\ \mathbf{C}^* \mathbf{Q}_Z \mathbf{C} & -\mathbf{A}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{L} \\ \mathbf{P} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{S} = \mathbf{Q}_Z^{-1} \mathbf{C} \mathbf{L}$$

при краевых условиях

$$\mathbf{P}(T, T) = \mathbf{E}; \quad \mathbf{L}(0) = \mathbf{0}.$$

Здесь принято, что случайным (взаимно некоррелируемым) процессам $\vec{\xi}_Z(t)$ и $\vec{\xi}_\alpha(t)$ типа нестационарного белого шума соответствуют корреляционные матрицы

$$\mathbf{K}_i(t, \tau) := M \left\{ \vec{\xi}_i(t) \vec{\xi}_i^*(\tau) \right\} = \delta(t - \tau) \mathbf{Q}_i(t), \quad i := z, \alpha,$$

подробнее см. в [1]. Заметим только, что выражение (12) обеспечивает минимизацию математического ожидания ошибки оценивания

$$M \left\{ \left(\vec{X}(T) - \vec{X}(T) \right)^* \left(\vec{X}(T) - \vec{X}(T) \right) \right\} \rightarrow \min.$$

Вводя критерий качества управления типа

$$\Phi = \int_0^T \left[\vec{g}^*(t) \mathbf{w}_1 \vec{g}(t) + \dot{\vec{g}}^*(t) \mathbf{w}_2 \dot{\vec{g}}(t) \right] dt \rightarrow \min, \quad (13)$$

переходим к изопериметрической задаче вариационного исчисления (12), (13) с условием

$$\int_0^T \left[\vec{g}^*(t) \mathbf{w}_1 \vec{g}(t) + \vec{g}^*(t) \mathbf{w}_2 \dot{\vec{g}}(t) + 2 \vec{g}^*(t) \mathbf{D}_2^* \mathbf{P}(t, T) \vec{\Lambda} \right] dt \rightarrow \min, \quad (14)$$

где $\vec{\Lambda}$ – вектор постоянных множителей Лагранжа.

Решение уравнения Эйлера, соответствующего задаче (14)

$$\mathbf{w}_2 \ddot{\vec{g}}(t) - \mathbf{w}_1 \vec{g}(t) - \mathbf{D}_2^* \mathbf{P}(t, T) \vec{\Lambda} = \vec{0}$$

при нулевых начальных условиях и диагональных матрицах $\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2$ весовых коэффициентов записываем в виде

$$\vec{g}(t) = \left\{ \mathbf{r}^{-1} \int_0^t sh(\mathbf{r}(t - \tau)) \mathbf{D}_2^* \mathbf{P}(t, T) d\tau \right\} \vec{\Lambda}, \quad (15)$$

где обозначено

$$\mathbf{r}^2 = \mathbf{w}_2^{-1} \mathbf{w}_1 = \text{diag}[r_1^2 \dots r_\mu^2], \quad shrt = \text{diag}[sh(r_1 t) \dots sh(r_\mu t)].$$

Подставляя выражение (15) в условие (12), получаем уравнение для нахождения множителей Лагранжа

$$\mathbf{H} \vec{\Lambda} = \vec{X}(T) - \int_0^T \left[\mathbf{S}^*(t, T) \vec{Z}_D(t) + \mathbf{P}^*(t, T) \mathbf{D}_1 \vec{\alpha}(t) \right] dt, \quad (16)$$

где обозначено

$$\mathbf{H} = \int_0^T \mathbf{P}^*(t, T) \mathbf{D}_1 \mathbf{r}^{-1} \int_0^t sh(\mathbf{r}(t - \tau)) \mathbf{D}_2^* \mathbf{P}(\tau, T) d\tau dt. \quad (17)$$

Обратимость матрицы (17) является аналогом критерия управляемости системы (6), (9).

3. Идентификация параметров математической модели сооружений.

Предположим, что высотное сооружение, моделируемое уравнениями (6), (9), подвергнуто взрывному воздействию, вызвавшее колебания основания с быстро затухающими ускорениями

$$\vec{a}(t) = \vec{a} \delta(t, 0), \quad t > 0,$$

зарегистрированными акселерометрами. Здесь $\delta(t, 0)$ - дельта-функция Дирака. Соответственно средствами измерения деформаций сооружения записаны действительные показания $\vec{Z}_D(t)$ за время переходного процесса $[0, T]$.

Будем считать, что методами гармонического анализа выполнено разложение

$$\vec{Z}_D(t) := \sum_{j=1}^{\mu} \vec{Z}_j(t) \sin(\omega_j t + \psi_j)$$

и определены частоты ω_j и логарифмические коэффициенты d_j затухания свободных колебаний системы.

Считая матрицы $\mathbf{m}$ и $\mathbf{h}$ заданными в первом приближении, составим решение уравнения (6)

$$\vec{v}(t) = \mathbf{m}^{-1} \mathbf{p}(t) \mathbf{b} \vec{a} + \mathbf{m}^{-1} \int_0^t \mathbf{p}(t-\tau) \vec{g}(\tau) d\tau,$$

где $\vec{g}(t)$ - квазиуправления, определяемые по выражениям (10) или (15).

Полагая в управлении обратных связей (7) векторы $\vec{g}(t)$ и $\vec{V}(t)$ известными, найдем матрицу γ по методу наименьших квадратов при

$$Sp \int_0^T \left\{ \vec{g}(t) - \gamma [\vec{Z}_D(t) - \mathbf{C} \Phi \vec{v}(t)] \right\} \left\{ \vec{g}(t) - \gamma [\vec{Z}_D(t) - \mathbf{C} \Phi \vec{v}(t)] \right\}^* dt \rightarrow \min.$$

В результате получаем уравнение

$$\gamma = \mathbf{S}_1 \mathbf{S}_2^{-1},$$

где обозначено

$$\mathbf{S}_1 = \int_0^T \vec{g}(t) [\vec{Z}_D(t) - \mathbf{C} \Phi \vec{v}(t)]^* dt;$$

$$\mathbf{S}_2 = \int_0^T [\vec{Z}_D(t) - \mathbf{C} \Phi \vec{v}(t)] [\vec{Z}_D(t) - \mathbf{C} \Phi \vec{v}(t)]^* dt.$$

Наконец, подставляя выражение (7) в уравнение (6), преобразуем его к виду

$$\mathbf{m}_1 \ddot{\vec{v}}(t) + \mathbf{k}_1 \dot{\vec{v}}(t) + \mathbf{h}_1 \vec{v}(t) = \vec{f}(t),$$

где введены уточненные матрицы

$$\mathbf{h}_1 = \mathbf{h} + \gamma \mathbf{C} \Phi, \quad \mathbf{m}_1 = \mathbf{h}_1 \mathbf{\Omega}^{-1},$$

соответствующие найденной матрице; $\vec{f}(t)$ - произвольные возмущающие усилия. Коэффициенты диссипации $\mathbf{k}$ назначаем в соответствии с гипотезой частотно-независимого трения и полученным осредненным логарифмическим декрементом затухания свободных колебаний сооружения.

Литература

1. Воронцов Г.В., Федий В.С. Оптимальные матрицы обратной связи в линейных многомерных детерминированных и стохастических системах // Изв. вузов. Электромеханика. – 2000. – № 4. – С. 84-89.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВИСЯЧИХ, ВАНТОВЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Воронцов Г.В., Бузало Н.А.

Предложены математические модели висячих, вантовых и комбинированных конструкций, рассматриваемых как системы с распределенными, конечно-разностными и конечными параметрами и элементами.

В моделях первого типа кабель рассматривается как «гибкая нить», а подвески считаются непрерывно распределенными («размазанными») по длине пролета висячей системы. Перемещения кабеля и балки жесткости аппроксимируются функциональными рядами со сравнительно малым числом обобщенных координат. Все уравнения составлены в матричной форме.

В конечно-разностных моделях аппроксимация перемещений сохраняется, но кабель представлен цепью, состоящей из прямых стержней, шарнирно соединенных между собой и подвесками. Соответствующие уравнения составлены также для комбинированных систем — с подвесками и вантами. Учитываются температурные напряжения и действие произвольной статической нагрузки на балку. В конечно-элементных моделях неизвестными считаются перемещения всех узлов кабеля и балки жесткости, причем число степеней свободы (размерность задачи) увеличивается во много раз.

1. Математические модели висячих систем

1.1 Висячие системы с распределенными параметрами

Постановка задачи: кабель висячей системы (рис.1.а) рассматриваем как гибкую нить, подвески считаем непрерывно распределенными; горизонтальными перемещениями и температурными напряжениями в сечениях балки пренебрегаем, распор полагаем воспринятым растяжками. Деформации всех элементов системы считаем малыми.

Перемещения кабеля и балки жесткости описываем выражениями

$$\begin{aligned} v_x^{KB}(x) &= \vec{\Phi}_x^*(x) \vec{V}_x + v_x^P(x), \quad v_y^{KB}(x) = \vec{\Phi}_y^*(x) \vec{V}_y + v_y^G(x), \\ v_y^B(x) &= \vec{\Phi}_B^*(x) \vec{V}_B, \end{aligned} \quad (1)$$

где введены векторы обобщенных координат и аппроксимирующих функций

$$\vec{V}_e = [V_{e1} \dots V_{en}], \quad \vec{\Phi}_e(x) = [\varphi_{e1}(x) \dots \varphi_{en}(x)]^*, \quad e := x, y; B.$$

Перемещения

$$v_x^P(x) = [1 \quad x] \vec{v}_P, \quad v_y^G(x) = [1 \quad x] \vec{v}_G$$

обусловлены соответственно податливостью растяжек и действием исполнительных механизмов системы управления.

Уравнения для определения перемещений

$$\vec{V} = colon \left[\vec{V}_P \quad \vec{V}_x \quad \vec{V}_y \quad \vec{V}_B \right]$$

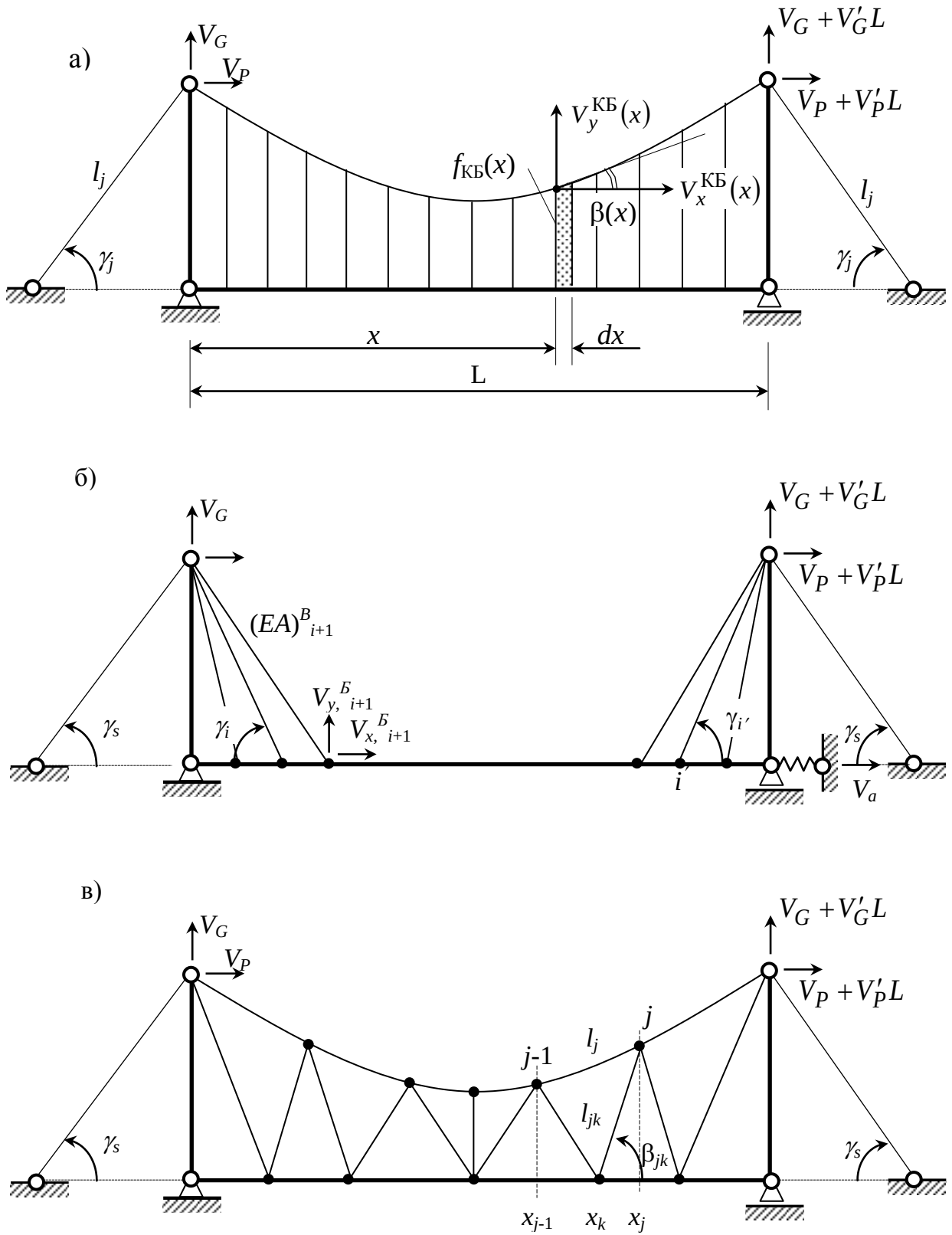


Рис.1. Схемы висячих и вантовых систем:

а) с вертикальными подвесками; б) вантовая система;

в) с наклонными подвесками

записываем в виде

$$\mathbf{H}\vec{V} = \vec{F} + \mathbf{H}_G \vec{V}_G, \quad (2)$$

где обозначено

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{\text{КБ}} & \\ & \mathbf{O} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{O} & \\ & \mathbf{H}_{\Pi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{H}_P & & \\ & \mathbf{O} & \\ & & \mathbf{H}_B \end{bmatrix} \begin{matrix} 2 \\ n \\ n \\ n \end{matrix}; \quad (3)$$

$$\vec{F} = \begin{bmatrix} \vec{\mathbf{O}} \\ \vec{F}_{\Delta t^\circ}^{\text{КБ}} \\ \vec{F}_q^{\text{Б}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \vec{F}_{\Delta t^\circ}^{\text{P}} \\ \vec{\mathbf{O}} \\ \vec{F}_{\Delta t^\circ}^{\Pi} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{H}_G = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_{\text{КБ}} \\ \mathbf{O} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{h}_P \\ \mathbf{O} \\ \mathbf{h}_{\Pi} \end{bmatrix} \begin{matrix} 2 \\ n \\ n \\ n \end{matrix}. \quad (4)$$

Для составления блоков приведенных матриц применяем принцип возможных перемещений.

Действительные и возможные деформации в кабеле определяем выражением

$$\varepsilon_{\text{КБ}}(x) = \left[v'_x(x) \cos \beta(x) - v_x(x) \beta'(x) \sin \beta(x) \right]_{\text{КБ}} + \\ + \left[v'_y(x) \sin \beta(x) + v_y(x) \beta'(x) \cos \beta(x) \right]_{\text{КБ}} + \alpha_{\text{КБ}} \Delta t_{\text{КБ}}^0(x),$$

которое с учетом соотношений (1) представляем в матричной форме

$$\varepsilon_{\text{КБ}}(x) := \vec{\Phi}_{\text{КБ}}^*(x) \vec{V}_{\text{КБ}} + \vec{f}_P^*(x) \vec{v}_P + \vec{f}_G^*(x) \vec{v}_G + \alpha_{\text{КБ}} \Delta t_{\text{КБ}}^0(x), \quad (5)$$

тогда

$$\delta \varepsilon_{\text{КБ}}(x) := \delta \vec{V}_{\text{КБ}}^* \vec{\Phi}_{\text{КБ}} + \delta \vec{v}_P \vec{f}_P(x).$$

Соответствующие деформации в подвесках составляют

$$\varepsilon_{\Pi}(x) = \frac{1}{\psi_{\text{КБ}}(x)} \left[\vec{\Phi}_y^*(x) \vec{V}_y - \vec{\Phi}_B^*(x) \vec{V}_B + [1 \ x] \vec{v}_G \right] + \alpha_{\Pi} \Delta t_{\Pi}^0(x), \quad (6)$$

$$\delta \varepsilon_{\Pi}(x) = \frac{1}{\psi_{\text{КБ}}(x)} \left[\delta \vec{V}_y^* \vec{\Phi}_y(x) - \delta \vec{V}_B^* \vec{\Phi}_B(x) \right];$$

в левых и правых растяжках —

$$\varepsilon_{j\text{Л}}^p = (v_p \cos \gamma_j + v_G \sin \gamma_j) / \ell_j^p + \alpha_p \Delta t_p^0(x),$$

$$\delta \varepsilon_{j\text{Л}}^p = \delta v_p \cos \gamma_j / \ell_j^p;$$

$$\varepsilon_{j\text{ПР}}^p = \left[- (v_p + v'_p L) \cos \gamma_j + (v_G + v'_G L) \sin \gamma_j \right] / \ell_j^p,$$

$$\delta \varepsilon_{j\text{ПР}}^p = - (\delta v_p + \delta v'_p L) \cos \gamma_j / \ell_j^p,$$

в балке жесткости —

$$\varepsilon_B(x, y) = y \vec{\Phi}_B''(x) \vec{V}_B, \quad \delta \varepsilon_B(x, y) = \delta \vec{V}_B \vec{\Phi}_B''(x) y. \quad (8)$$

Полную возможную работу всех внутренних и внешних сил системы представляем выражением

$$\delta W = \delta W_{KB} + \delta W_{\Pi} + \delta W_B + \delta W_P;$$

$$\delta W = - \int_0^L \delta \varepsilon_{KB}(x) \mathbf{E}_{KB} A_{KB}(x) \varepsilon_{KB}(x) \frac{dx}{\cos \beta(x)} - \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & - \int_0^L \delta \varepsilon_{\Pi}(x) \mathbf{E}_{\Pi} a_{\Pi}(x) \psi_{KB}(x) dx - \int_0^L dx \int_{A_B(x)} \delta \varepsilon_B(x, y) \mathbf{E}_B \varepsilon_B(x, y) dA + \\ & + \int_0^L \delta \vec{V}_B^* \vec{\Phi}_B(x) q_B(x) dx - \sum_j \delta \varepsilon_{j\text{Л}}^p \left(\mathbf{E} A_j \ell_j \right)_{\text{Л}}^p \varepsilon_{j\text{Л}} - \\ & - \sum_j \delta \varepsilon_{j\text{ПР}} \left(\mathbf{E} A_j \ell_j \right)_{\text{П}}^p \varepsilon_{j\text{ПР}} = 0. \end{aligned}$$

Подставляя в условие (9) зависимости (5), (6)-(8), выводим формулы для вычисления блоков матриц (3) и (4), см. [1].

1.2. Конечно-разностная модель висячей системы

Представляя ось кабеля системы ломаной цепью с шарнирно соединенными элементами (рис.2) и сохраняя выражения (1) для описания перемещений узлов $j=1 \dots m$, полагаем

$$\mathbf{v}_{xj}^{KB}(x_j) = \vec{\Phi}_x^*(x_j) + \mathbf{v}_x^p(x_j), \quad \mathbf{v}_y^{KB}(y_j) = \vec{\Phi}_y^*(x_j) + \mathbf{v}_y^G(x_j).$$

Соответственно изменяем выражения (5) - (8) для деформаций звеньев:

$$\begin{aligned}\varepsilon_j^{\text{КБ}} &= \frac{1}{\ell_j^{\text{КБ}}} \left[\left(v_x(x_j) - v_x(x_{j-1}) \right) \cos \beta_j + \left(v_y(x_j) - v_y(x_{j-1}) \right) \sin \beta_j \right]_{\text{КБ}} + \\ &\quad + \alpha_{\text{КБ}} \Delta t_{\text{КБ}}^0(x_j); \\ \varepsilon_j^{\text{КБ}} &= \vec{\Phi}_j^* \vec{V}_{\text{КБ}} + \vec{f}_{\text{Pj}}^* \vec{v}_{\text{P}} + \vec{f}_{\text{Gj}}^* \vec{v}_{\text{G}} + \alpha_{\text{КБ}} \Delta t_{\text{КБ}}^0(x_j); \\ \delta \varepsilon_j^{\text{КБ}} &= \delta \vec{V}_{\text{КБ}}^* \vec{\Phi}_j + \delta \vec{v}_{\text{P}}^* \vec{f}_{\text{Pj}}; \quad j = 1 \dots m, m+1.\end{aligned}$$

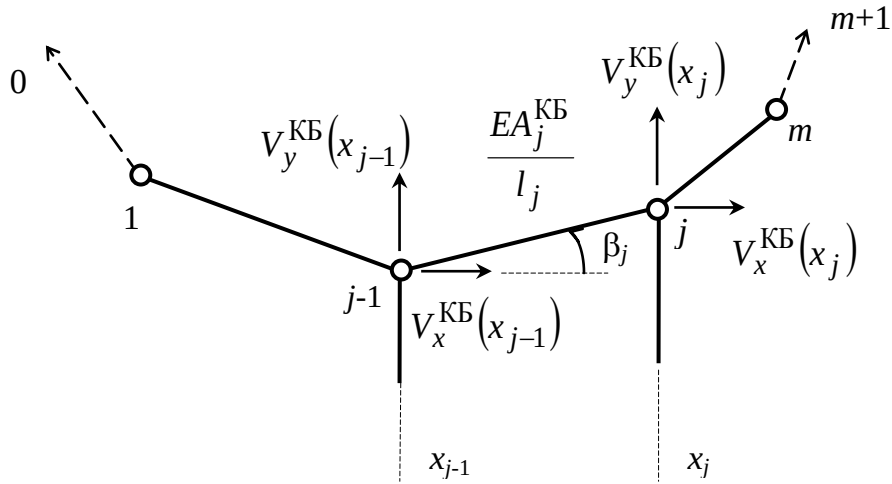


Рис.2. Координаты и перемещения узлов кабеля

Соответствующие блоки матриц (3), (4) составлены аналогично [1].

Деформации подвесок запишем, пренебрегая малыми изменениями углов

$$\beta_{jk} = \arctg \frac{f_{\text{КБ}}(x_j)}{x_j - x_k},$$

$$\varepsilon_{jk} = \ell_{jk}^{-1} \left[v_{xj}^{\text{КБ}} \cos \beta_{jk} + \left(v_{yj}^{\text{КБ}} - v_{yk}^{\text{Б}} \right) \sin \beta_{jk} \right],$$

$$N_{jk} = EA_{jk}^{\Pi} \varepsilon_{jk}.$$

Соответственно получаем:

$$\varepsilon_{jk} = \vec{\Phi}_{jk}^* \vec{V}_{\text{КБ}} + \vec{f}_{\text{Pjk}}^* \vec{v}_{\text{P}} + \vec{f}_{\text{Gjk}}^* \vec{v}_{\text{G}}.$$

Блоки матрицы жесткости для подвесок вычисляем как для кабеля, производя замены

$$j := jk, \quad (A_j)_{\text{КБ}} := A_{jk}^{\Pi}, \quad \Delta x_j := x_j - x_k$$

и предусматривая суммирование по всем jk подвескам, причем в некоторых узлах j кабеля могут быть прикреплены несколько подвесок.

Аналогично преобразуем выражения (14) для блоков-матриц подвесок.

Прочие блоки матриц (3), (4) оставляем без изменения.

1.3. Конечно-элементная модель висячей системы

В конечно-элементной модели отказываемся от аппроксимации перемещений кабеля и балки выражениями вида (1), что, конечно, значительно увеличивает размерность задачи.

Кабель рассматриваем как цепь, составленную из прямых стержней, шарнирно соединенных между собой и подвесками. Неизвестными считаем перемещения $\vec{\mathbf{v}}_p$ точек подвеса цепи, перемещения узлов кабеля и балки:

$$\vec{\mathbf{v}}_e = [v_{e1} \dots v_{ej} \dots v_{en}]^*, \quad e := x, y; \text{Б.}$$

Как и ранее, все неизвестные перемещения объединяем в супервектор

$$\vec{\mathbf{v}} = colon [\vec{\mathbf{v}}_p \quad \vec{\mathbf{v}}_x \quad \vec{\mathbf{v}}_y \quad \vec{\mathbf{v}}_B], \quad \vec{\mathbf{v}}_{KB} = colon [\vec{\mathbf{v}}_x \quad \vec{\mathbf{v}}_y],$$

причем $\vec{\mathbf{v}} \in \mathbf{R}^{3N+2}$, где число узлов $\mathbf{N} \gg \mathbf{n}$ в п.1.1.

Выражения для деформаций элементов кабеля представляем в виде

$$\begin{aligned} \varepsilon_j^{KB} = \frac{1}{\ell_j^{KB}} \left\{ (v_{xj} - v_{x,j-1}) \cos \beta_j + (v_{yj} - v_{y,j-1}) \sin \beta_j + \right. \\ \left. + \Delta x_j (v'_p \cos \beta_j + v'_G \sin \beta_j) \right\} + \alpha_{KB} \Delta t_j^{KB}, \end{aligned} \quad (10)$$

где принимаем

$$j = 1 \dots N, N+1; \quad v_{xo} = v_{x,N+1} = v_{yo} = v_{y,N+1} := 0.$$

В соответствии с выражением (1) формируем вектор

$$\begin{aligned} \vec{\varepsilon}_{KB} = \ell_{KB}^{-1} \left\{ [\boldsymbol{\beta}_{\cos} \quad \boldsymbol{\beta}_{\sin}] \vec{\mathbf{v}}_{KB} + \cos \boldsymbol{\beta} \begin{bmatrix} \vec{0} \\ \Delta \vec{x} \end{bmatrix} \vec{\mathbf{v}}_p + \right. \\ \left. + \sin \boldsymbol{\beta} \begin{bmatrix} \vec{0} \\ \Delta \vec{x} \end{bmatrix} \vec{\mathbf{v}}_G \right\} + \alpha_{KB} \Delta t_{KB}. \end{aligned} \quad (11)$$

Здесь введены следующие обозначения:

$$\begin{aligned} \ell_{KB} = diag [\ell_1^{KB} \dots \ell_{N+1}^{KB}], \quad \cos \boldsymbol{\beta} = diag [\cos \beta_1 \dots \cos \beta_{N+1}], \\ \Delta \vec{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 - x_1 \\ \vdots \\ L - x_N \end{bmatrix}, \quad \Delta \vec{t}_{KB} = \begin{bmatrix} \Delta t_1 \\ \Delta t_2 \\ \vdots \\ \Delta t_{N+1} \end{bmatrix}_{KB}, \end{aligned}$$

$$\boldsymbol{\beta}_{\cos} = \begin{bmatrix} \cos \beta_1 & & & & \\ -\cos \beta_2 & \cos \beta_2 & & & \\ & & \dots & & \\ & & & -\cos \beta_N & \cos \beta_N \\ & & & & -\cos \beta_{N+1} \end{bmatrix}.$$

Возможные деформации кабеля составляют

$$\delta \vec{\boldsymbol{\varepsilon}}^* = \vec{\mathbf{v}}_{\text{КБ}}^* [\boldsymbol{\beta}_{\cos} \quad \boldsymbol{\beta}_{\sin}]^* \ell_{\text{КБ}}^{-1} + \delta \vec{\mathbf{v}}_{\text{П}}^* [0 \quad \Delta \vec{\mathbf{x}}]^* \cos \boldsymbol{\beta} \cdot \ell_{\text{КБ}}^{-1}. \quad (12)$$

Деформации подвесок определяем выражениями

$$\begin{aligned} \varepsilon_j^{\Pi} &= \psi(x_j) (\mathbf{v}_{\text{У}j} + [\mathbf{1} \ x_j] \vec{\mathbf{v}}_{\text{Г}} - \vec{\mathbf{v}}_{\text{Б}j}), \\ \vec{\boldsymbol{\varepsilon}}_{\Pi} &= \boldsymbol{\Psi}^{-1}(x_j) (\mathbf{v}_{\text{У}} + [\vec{\mathbf{e}} \ \vec{\mathbf{x}}] \vec{\mathbf{v}}_{\text{Г}} - \vec{\mathbf{v}}_{\text{Б}j}), \\ \delta \vec{\boldsymbol{\varepsilon}}_{\Pi}^* &= (\vec{\mathbf{v}}_{\text{У}}^* - \vec{\mathbf{v}}_{\text{Б}}^*) \boldsymbol{\Psi}_{\text{КБ}}^{-1}(x_j), \end{aligned} \quad (13)$$

где обозначено

$$\boldsymbol{\Psi} = \text{diag}[\psi(x_1) \dots \psi(x_N)], \quad \vec{\mathbf{e}} = [1 \dots 1]^*, \quad \vec{\mathbf{x}} = [x_1 \dots x_N]^*.$$

Работу внутренних сил кабеля и подвесок определяем выражением

$$\begin{aligned} \delta W_{\text{КБ}} &= \delta \vec{\boldsymbol{\varepsilon}}_{\text{КБ}}^* (E\mathbf{A})_{\text{КБ}} \ell_{\text{КБ}} \vec{\boldsymbol{\varepsilon}}_{\text{КБ}} + \delta \vec{\boldsymbol{\varepsilon}}_{\Pi}^* (E\mathbf{A})_{\Pi} \boldsymbol{\Psi}_{\text{КБ}} \vec{\boldsymbol{\varepsilon}}_{\Pi}, \\ \mathbf{A}_{\text{КБ}} &= \text{diag}[A_1^{\text{КБ}} \dots A_{N+1}^{\text{КБ}}], \quad \mathbf{A}_{\Pi} = \text{diag}[A_1^{\Pi} \dots A_N^{\Pi}], \\ \boldsymbol{\Psi} &= [\psi(x_1) \dots \psi(x_N)]. \end{aligned} \quad (14)$$

Составление соответствующих формуле (3) блоков матриц описано в [1].

2. Математическая модель комбинированных висячих систем

Для комбинированной висячей системы, усиленной вантами (рис.1,а), в выражениях (3), (4) достаточно принять

$$\mathbf{H}_P := \mathbf{H}_P + \mathbf{H}_{\text{PB}}, \quad \mathbf{H}_B := \mathbf{H}_B + \mathbf{H}_{\text{BB}} + \Delta \mathbf{H}_B,$$

$$\vec{\mathbf{F}}_{\Delta t 0}^P := \vec{\mathbf{F}}_{\Delta t 0}^P + \vec{\mathbf{F}}_{\Delta t 0}^{\text{PB}}, \quad (15)$$

$$\vec{\mathbf{F}}_q^B := \vec{\mathbf{F}}_q^B + \vec{\mathbf{F}}_{\Delta t 0}^{\text{BB}}, \quad \mathbf{h}_P := \mathbf{h}_P + \mathbf{h}_{\text{PB}}, \quad \mathbf{O}_B := \mathbf{h}_{\text{BB}}.$$

Здесь матрица $\Delta \mathbf{H}_B$ учитывает влияние продольных сил $N^B(x)$ и скорости движения равномерно распределенной нагрузки q на жесткость балки.

Влияние скорости w перемещения по балке нагрузки q , инерционность которой невелика по сравнению с массой конструкции, в первом приближении учитываем, принимая [2]

$$N_B(z) := N_B(z) + mw^2.$$

Для получения дополнительных слагаемых в выражениях (15), обусловленных введением вантов в систему (рис. 1,а), применяем ту же методику, что и в [1].

Так, возможную работу продольных сил N_i^B «левых» вантов

$$N_i^B = \left(\frac{EA}{L} \right)_i^B \Delta L_i^B = \left(\frac{EA}{L} \right)_i^B \cdot \left\{ \left[V_G - \vec{\Phi}_B^*(x_i) \vec{V}_B \right] \sin \gamma_i - \right. \\ \left. - v_p \cos \gamma_i - \alpha^B \Delta t_i^B L_i^B \right\} \quad (16)$$

на деформациях

$$\delta \varepsilon_i^B = - \frac{1}{L_i^B} \left[\delta \vec{V}_B^* \vec{\Phi}_B(x_i) \sin \gamma_i + \delta v_p \cos \gamma_i \right] \quad (17)$$

определяем выражением

$$\delta W_\Lambda^B = \sum_i N_i^B \delta \varepsilon_i^B = \delta \vec{V}_B \mathbf{H}_{BB}^\Lambda \vec{V}_B + \delta v_p H_{PB}^\Lambda v_p + \\ + \delta \vec{V}_B^* \left(\vec{F}_{\Delta t^0}^{BB} \right)^\Lambda + \delta v_p \mathbf{h}_{PB}^\Lambda v_G. \quad (18)$$

Здесь суммирование распространяем на все «точки» i присоединения вантов к балке. Аналогично записываем выражения для возможной работы правых вантов.

Смысл и вид формул для матрицы $\mathbf{H}_{BB}^\Lambda$, вектора $\vec{F}_{\Delta t^0}^{BB}$, скаляров $\mathbf{H}_{PB}^\Lambda, \mathbf{h}_{PB}^\Lambda$ легко устанавливаем перемножением соотношений (16) и (17).

Отметим, что полные матрицы (15) составляем по схеме

$$\mathbf{H}_{BB} := \mathbf{H}_{BB}^\Lambda + \mathbf{H}_{BB}^{PP}, \quad \vec{F}_{\Delta t^0}^{BB} := \left(\vec{F}_{\Delta t^0}^{BB} \right)^\Lambda + \left(\vec{F}_{\Delta t^0}^{BB} \right)^{PP}, \\ \mathbf{H}_{BB} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{PB}^\Lambda & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \mathbf{H}_{PB}^{PP}, \quad \mathbf{h}_{PB} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_{PB}^\Lambda & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \mathbf{h}_{PB}^{PP}, \quad (19)$$

где слагаемые $\mathbf{H}_{BB}^{PP}, \dots, \mathbf{h}_{PB}^{PP}$ относятся к правым вантам.

При составлении выражений (16)-(19) не учтены горизонтальные перемещения $V_x(x)$ балки (как малые второго порядка по сравнению с прогибами $V_y(x)$). Предположено, что предварительное натяжение вантов при монтаже и дальнейшее регулирование усилий исключают провисание вантов.

Влияние продольных сил $N^B(x)$ на изгибные деформации балки учитываем, вводя эквивалентную моментную распределенную нагрузку

$$m_B(x) = -N^B(x)V'_B(x) = -N_B\vec{\phi}'(x)\vec{V}_B.$$

Составляя выражение для возможной работы этих моментов на перемещениях

$$V'_B(x) = \delta\vec{V}_B^*\vec{\phi}'(x),$$

в конечном счете получаем

$$\Delta H_B = \int_0^L N_B(x)\vec{\phi}'(x)\vec{\phi}'(x)^* dx. \quad (20)$$

3. Математическая модель вантовой системы

Для «чисто» вантовых систем (рис.1,б) полагаем

$$\vec{V} = colon \begin{bmatrix} \vec{V}_P & \vec{V}_B \end{bmatrix},$$

причем уменьшаются размеры всех матриц уравнения (1):

$$H := \begin{bmatrix} H_P & \\ & H_B \end{bmatrix}, \quad \vec{F} := \begin{bmatrix} \vec{F}_P^P \\ \vec{F}_q^B \end{bmatrix}, \quad H_G = \begin{bmatrix} h_P \\ h_{BB} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 2 \\ n \end{bmatrix}, \quad (21)$$

сравним с матрицами (3) и (4). При этом учитываем выражения (15) и (19).

4. Математическая модель системы с наклонными подвесками

Для систем с наклонными подвесками (рис.1,в) возможная работа продольных сил N_{jk}^{Π} подвесок

$$\begin{aligned} N_{jk}^{\Pi} &= \left(\frac{EA}{L} \right)_{jk}^{\Pi} \Delta L_{jk}^{\Pi} = \\ &= \left(\frac{EA}{L} \right)_{jk}^{\Pi} \cdot \left\{ \left[V_G + \vec{\phi}_y^*(x_j)\vec{V}_y - \vec{\phi}_B^*(x_k)\vec{V}_B \right] \sin \beta_{ik} - \right. \\ &\quad \left. - \left[V_P + \vec{\phi}_x^*(x_j)\vec{V}_x \right] \cos \beta_{jk} - \alpha^{\Pi} \Delta t_{jk}^{\Pi} L_{jk}^{\Pi} \right\} \end{aligned} \quad (22)$$

на деформациях

$$\delta \varepsilon_{jk}^{\Pi} = -\frac{1}{L_{jk}^{\Pi}} \left\{ \left[\delta \vec{V}_y^* \vec{\phi}_y(x_j) - \delta \vec{V}_B^* \vec{\phi}_B(x_k) \right] \sin \beta_{jk} + \right. \\ \left. + \delta \vec{V}_x^* \vec{\phi}_x(x_j) \cos \beta_{jk} \right\} \quad (23)$$

определяем выражением

$$\delta W^{\Pi} = \sum_j \sum_k N_{jk}^{\Pi} \delta \varepsilon_{jk}^{\Pi} = \delta \vec{V}_B^* \mathbf{H}_B \vec{V}_B + \delta \mathbf{v}_p H_P \mathbf{v}_p + \\ + \delta \vec{V}_B^* \left(\vec{F}_{\Delta t 0}^{\Pi} \right) + \delta \mathbf{v}_p \mathbf{h}_P \mathbf{v}_G. \quad (24)$$

Здесь суммирование распространяем на все сочетания «точек» j, k при соединении подвесок к кабелю и балке.

При составлении выражений (22)-(24) для деформаций подвесок и блоков матриц жесткости (3)-(4) пренебрегаем горизонтальными перемещениями $V_x(x)$ балки, но учитываем влияние продольных сил $N^B(x)$ на изгибные деформации аналогично выражениям (16)-(20) и полагаем

$$\vec{V} = colon \left[\dots \vec{V}_p \quad \vec{V}_x \quad \vec{V}_y \quad \vec{V}_B \right], \quad \vec{V}_p = colon \left[v_p \quad v'_p \right].$$

Блоки матриц жесткости $\mathbf{H}_{\Pi}$ и $\mathbf{H}_B$ в (3) и (4) для системы с наклонными подвесками имеют размерность соответствующую числу «точек» кабеля и балки n и m .

Литература

1. Воронцов Г.В., Бузало Н.А. Математические модели наблюдаемых и управляемых висячих конструкций // Изв. вузов. Северо-Кавк. регион. Техн. науки. – 2001. – № 2. – С. 70-76.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132. ЮРГТУ(НПИ), каф. СМ, СлПМ. Тел. 55-3-27
email: nauka@novoch.ru

УДК 629.13.05:624.042.41

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Воронцов Г.В., Федий В.С.

Устройства гашения колебаний деформируемых конструкций могут быть разделены на четыре основные группы:

– антивибраторы с жесткой настройкой на определенные частоты свободных колебаний конструкции и (или) спектры частот возмущающих воздействий;

- самонастраивающиеся антивибраторы с изменяемыми параметрами;
- системы автоматического гашения колебаний (САГК), включающие средства наблюдения, исполнительные механизмы и ЭВМ, производящие оценивание состояний конструкций и расчет оптимальных управляющих воздействий;
- комбинированные САГК, сочетающие антивибраторы и системы автоматического регулирования.

Наиболее эффективными являются комбинированные САГК, в которых сочетаются простота, постоянная готовность к работе и независимость от источников энергии антивибраторов, с одной стороны, и возможность оптимального управления колебаниями — с другой, правда, при наличии порогов чувствительности и запаздывания, особенно при мощных импульсных (например сейсмических) возмущениях.

1. Моделирование высотных сооружений как объектов управления

Высотные сооружения представляют собой сложные нелинейные диссипативные системы с распределенными параметрами, испытывающие при колебаниях (на макроуровне) изгибные и крутильные деформации. Основными видами таких сооружений являются дымовые трубы, башни (телецентров), высотные здания и уникальные мемориальные конструкции.

Как правило, высотные сооружения описываются линеаризованными моделями типа

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{V}}(t) + \mathbf{D}\dot{\mathbf{V}}(t) + \mathbf{H}\mathbf{V}(t) = \mathbf{B}_1\mathbf{F}(t) + \mathbf{B}_2\mathbf{G}(t), \quad (1)$$

где $\mathbf{M}$ и $\mathbf{D}$ — инерционная и диссипативная матрицы; $\mathbf{H}$ — тангенциальная матрица жесткости; $\mathbf{V}(t) \in \mathbf{R}^n$ — вектор обобщенных перемещений системы; $\mathbf{F}(t) \in \mathbf{R}^m$ и $\mathbf{G}(t) \in \mathbf{R}^v$ — векторы возмущающих и управляющих воздействий ($m, v \leq n$); $\mathbf{B}_1$ и $\mathbf{B}_2$, также как и $\mathbf{H}$, в общем случае переменные матрицы; t — текущее время.

Сооружения типа башен и труб рассматриваем как системы с погонными массами $m(z)$ и моментами инерции $i_x(z)$, $i_y(z)$, $i_z(z)$, изгибными $EI_x(z)$, $EI_y(z)$ и крутильными $GI_{kp}(z)$ жесткостями, т.е. как системы с распределенными параметрами, зависящими от одного переменного.

Аппроксимируем перемещения $\mathcal{G}_x(z, t)$, $\mathcal{G}_y(z, t)$ в направлениях главных центральных осей поперечных сечений и углы закручивания $\theta(z, t)$ башни выражениями

$$\mathcal{G}_x(z, t) = \boldsymbol{\varphi}_x^*(z) \mathbf{V}_x(t), \dots \theta(z, t) = \boldsymbol{\varphi}_z^*(z) \mathbf{V}_z(t)$$

где компоненты $\varphi_{xj}(z)$, ..., $\varphi_{ze}(z)$ векторов $\boldsymbol{\varphi}_x(z)$, ..., $\boldsymbol{\varphi}_z(z)$ есть функции, описывающие главные формы основного и нескольких низших обертонов свободных колебаний консольного стержня. Полагая, что ось центров тяжести поперечных сечений совпадает с осью кручения башни, получаем:

$$\begin{aligned}
\mathbf{V} &= \begin{bmatrix} \mathbf{V}_x \\ \mathbf{V}_y \\ \mathbf{V}_z \end{bmatrix}, \mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{M}_x & & \\ & \mathbf{M}_y & \\ & & \mathbf{I}_z \end{bmatrix}, \mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_x & & \\ & \mathbf{H}_y & \\ & & \mathbf{H}_z \end{bmatrix}, \mathbf{F} = \begin{bmatrix} \mathbf{F}_x \\ \mathbf{F}_y \\ \mathbf{F}_z \end{bmatrix}; \\
\mathbf{M}_x &= \int_0^L \left[m(z) \boldsymbol{\varphi}_x(z) \boldsymbol{\varphi}_x^*(z) + i_y(z) \boldsymbol{\varphi}_x'(z) \boldsymbol{\varphi}_x'^*(z) \right] dz, \dots, \\
\mathbf{I}_z &= \int_0^L i_z(z) \boldsymbol{\varphi}_z(z) \boldsymbol{\varphi}_z^*(z) dz; \quad \mathbf{H}_z = \int_0^L GI_{kp}(z) \boldsymbol{\varphi}_z'(z) \boldsymbol{\varphi}_z'^*(z) dz; \\
\mathbf{H}_x &= \int_0^L \left[EI_y(z) \boldsymbol{\varphi}_x''(z) \boldsymbol{\varphi}_x''^*(z) + N(z) \boldsymbol{\varphi}_x'(z) \boldsymbol{\varphi}_x'^*(z) \right] dz, \dots, \\
\mathbf{F}_x(z, t) &= \int_0^L q_x(z, t) \boldsymbol{\varphi}_x(z, t) dz, \dots, \mathbf{F}_z(z, t) = \int_0^L \mu_z(z, t) \boldsymbol{\varphi}_z(z) dz.
\end{aligned}$$

Здесь $q_x(z, t)$, ..., $\mu_z(z, t)$ — интенсивности внешних поперечных усилий и крутящих моментов; L — высота башни; $N(z)$ — продольные силы в поперечных сечениях башни.

Составление матриц масс и жесткостей высотных зданий является значительно более сложной задачей. Отметим некоторые типы таких зданий:

а) башни, выполненные из монолитного железобетона (методом подвижной опалубки) и представляющие собой пространственные конструкции;

б) сооружения с центральным несущим столпом, на котором крепятся блоки этажей, составляющие в целом жесткую конструкцию;

в) здания с пространственным металлическим или железобетонным рамным каркасом, сборными перекрытиями и стеновыми панелями.

Математическое моделирование подобных сооружений производят различными способами:

— "размазыванием" изгибной, сдвиговой и крутильной жесткостей отдельных этажей-блоков и приведением конструкции к простейшей схеме — консольному стержню с эквивалентными (по некоторому критерию) жесткостями на изгиб, сдвиг и кручение;

— введением конечно-элементной схемы сооружения, состоящей из стержней, плит и пластин, жестко соединенных в узлах различными видами связей;

— аппроксимация конструкции пространственной рамой с гибкими стойками, например, из тонкостенных металлических стержней, и жесткими перекрытиями.

В частности, в последнем случае число степеней свободы модели сооружения равно утроенному числу перекрытий, перемещения каждого из которых составляют векторы

$$\mathbf{V}_k = \begin{bmatrix} V_{kx} & V_{ky} & \theta_{kz} \end{bmatrix}, k=1, 2, \dots,$$

относящиеся к "глобальной" системе координат X, Y, Z .

Поскольку суммарная (6х6)-матрица жесткости всех стоек k -го этажа имеет блочную структуру

$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} H_k & -H_k \\ -H_k & H_k \end{bmatrix},$$

перемещениям $\mathbf{V}_k$ отвечают реакции связей $k-1, k, k+1$ -го этажей, равные соответственно

$$-\mathbf{H}_k \mathbf{V}_k, (\mathbf{H}_k + \mathbf{H}_{k+1}) \mathbf{V}_k, -\mathbf{H}_k \mathbf{V}_k.$$

Речь идет о кинематических связях метода перемещений. Следовательно, общая матрица жесткости рамы с n этажами составляет

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} (\mathbf{H}_1 + \mathbf{H}_2) & -\mathbf{H}_2 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & -\mathbf{H}_k & (\mathbf{H}_k + \mathbf{H}_{k+1}) & -\mathbf{H}_{k+1} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & -\mathbf{H}_{n-1} & -\mathbf{H}_n \end{bmatrix} \begin{matrix} (1) \\ \\ (k). \\ \\ (v) \end{matrix}$$

Инерционная матрица в рассматриваемом случае является диагональной

$$\mathbf{M} = \text{diag}\{(M_1 \ M_1 \ I_1) \dots (M_k \ M_k \ I_k) \dots (M_n \ M_n \ I_n)\},$$

где $I_1, \dots, I_n$ есть моменты инерции масс $M_1, \dots, M_n$ перекрытий относительно общей оси Z (рис. 1а).

Матрицу жесткости этажа " k " определяем выражением

$$\mathbf{H}_k = \sum \begin{bmatrix} \alpha_{kj}^* & \\ & \alpha_{kj} \end{bmatrix} h_{kj} \begin{bmatrix} \alpha_{kj} & \\ & \alpha_{kj} \end{bmatrix}$$

где h_{kj} — матрица жесткости стойки k_j относительно "собственных" главных осей x_{kj}, y_{kj}, z_{kj} изгиба и кручения; α_{kj} — матрица направляющих косинусов осей и координат C_{xj}, C_{yj} стойки (рис. 1б):

$$\alpha_{kj} = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & (c_x \sin \beta - c_y \cos \beta) \\ -\sin \beta & \cos \beta & (c_x \cos \beta + c_y \sin \beta) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

В статье [1] тангенциальная (т.е. линеаризованная) матрица составлена для тонкостенных сжато-изогнутых и закрученных тонкостенных стержней открытого профиля, рассматриваемых как конечный элемент с шестью степенями свободы, жестко защемленной в перекрытиях.

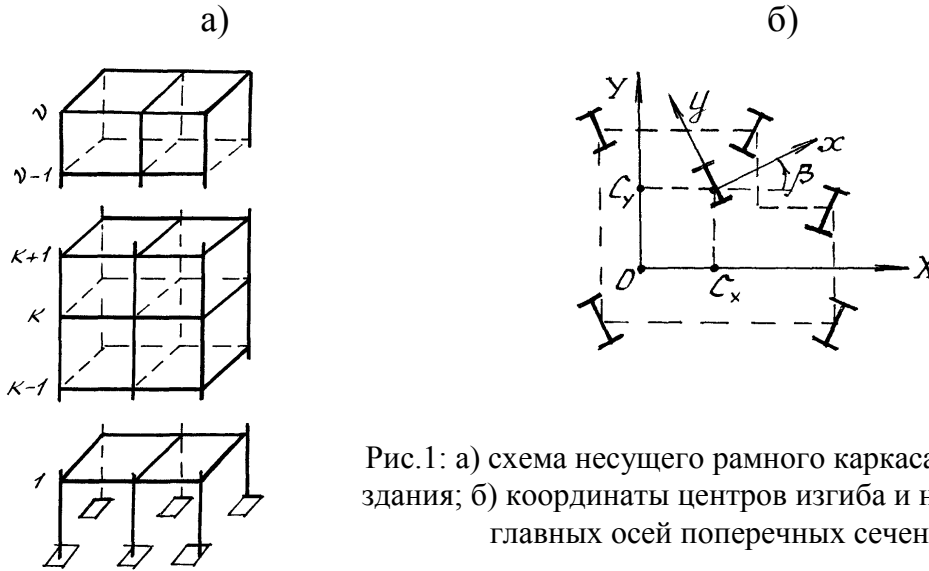


Рис.1: а) схема несущего рамного каркаса высотного здания; б) координаты центров изгиба и направления главных осей поперечных сечений

Вводя для систем с постоянными матрицами $\mathbf{M}$ и $\mathbf{H}$ так называемые главные координаты $\vec{\mathbf{v}}(t) \in \mathbf{R}^s$, $s \ll n$, отвечающие преобразованию

$$\mathbf{V}(t) = [\mathbf{V}] \vec{\mathbf{v}}(t), \quad (2)$$

где $[\mathbf{V}]$ — матрица, составленная из собственных векторов матрицы $\mathbf{M}^{-1}\mathbf{H}$, преобразуем уравнение (1) в

$$\ddot{\vec{\mathbf{v}}}(t) + \phi \dot{\vec{\mathbf{v}}}(t) + \Omega^2 \vec{\mathbf{v}}(t) = \epsilon_1 F(t) + \epsilon_2 G(t) \quad (3)$$

где $\Omega = \text{diag}[\omega_1 \dots \omega_s]$, $\phi = \frac{d}{\pi} \Omega$.

Здесь $\omega_1, \dots, \omega_s$ — частоты основного и низших обертонов свободных колебаний конструкции; d — постоянный (по гипотезе частотно-независимого трения) декремент затухания свободных колебаний.

Число s удерживаемых в выражении (2) главных координат даже для систем с очень большим числом свободы обычно не превышает десяти, так как формы колебаний, отвечающие высшим частотам, практически не реализуются. Вводя вектор переменных состояния

$$\mathbf{X}(t) = [\vec{\mathbf{v}}^*(t) \dot{\vec{\mathbf{v}}}^*(t)]^*,$$

приведем систему (3) к уравнению первого порядка

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{X}(t) + \mathbf{B}_F(t)\mathbf{F}(t) + \mathbf{B}_G(t)\mathbf{G}(t).$$

В дальнейшем для упрощения всех записей полагаем $\mathbf{X} \in \mathbf{R}^n$, где n не связываем с числом этажей.

2. Моделирование системы наблюдения

В качестве примера рассмотрим модель тензометрической системы измерения деформаций "узлов" несущего рамного каркаса многоэтажного здания.

Обозначим через $\tilde{\mathbf{h}}_{kj}$ матрицу, осуществляющую преобразование

$$\mathbf{m}_{kj} = \tilde{\mathbf{h}}_{kj} \boldsymbol{\alpha}_{kj} (\mathbf{V}_k - \mathbf{V}_{k-1}), \quad (4)$$

где $\mathbf{m}_{kj}$ есть вектор изгибающих моментов и бимоментов

$$\mathbf{m}_{kj} = \begin{bmatrix} m_x & m_y & m_z \end{bmatrix}_{kj}^*,$$

в нижнем (или верхнем) сечении стойки $\mathbf{K}_l$, в котором установлена группа тензорезисторов (ТР), так встроенных в измерительный мост, что сигналы

$$\mathbf{z}_j = r_1 \mathbf{m}_{kj} + r_2 \dot{\mathbf{m}}_{kj} \quad (5)$$

являются независимыми. Здесь r_1, r_2 есть коэффициенты усиления цепи чувствительные элементы — регистрирующее устройство, зависящие от места установки и ориентации ТР, геометрических характеристик поперечного сечения стойки, коммутации ТР в измерительном мосте и пр. Как правило, второе слагаемое в выражении (5), учитывающее скорость изменения деформаций ТР, отбрасывают. На основании соотношений (4) и (5) нетрудно составить поэтажные и "глобальную" для всей конструкции

$$\mathbf{Z}(t) = \mathbf{C}\mathbf{X}(t), \quad \mathbf{Z} \in \mathbf{R}^m, \quad m < n,$$

модели измерительной системы.

3. Оптимальное оценивание состояний многомерных линейных наблюдаемых систем

Рассматриваем движение системы

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{X}(t) + \mathbf{B}_F(t)[\mathbf{F}(t) + \boldsymbol{\xi}_F(t)], \quad \mathbf{X}(0) = \mathbf{X}_0, \quad \mathbf{X} \in \mathbf{R}^n, \quad (6)$$

наблюдаемой средствами измерения

$$\mathbf{Z}(t) = \mathbf{C}(t)\mathbf{X}(t) + \mathbf{B}_Z(t)\boldsymbol{\xi}_Z(t), \quad \mathbf{Z} \in \mathbf{R}^m, \quad m < n. \quad (7)$$

Здесь $\boldsymbol{\xi}_F(t)$ и $\boldsymbol{\xi}_Z(t)$ есть многомерные возмущения и помехи типа нестационарного гауссового белого шума с корреляционными матрицами

$$\mathbf{K}_{FF}(t, \tau) := M \left\{ \boldsymbol{\xi}_F(t) \boldsymbol{\xi}_F^*(\tau) \right\} = \delta(t - \tau) \mathbf{Q}_{FF}(t), \quad (8)$$

$$\mathbf{K}_{ZZ}(t, \tau) := M \left\{ \boldsymbol{\xi}_Z(t) \boldsymbol{\xi}_Z^*(\tau) \right\} = \delta(t - \tau) \mathbf{Q}_{ZZ}(t),$$

где $\mathbf{Q}_{FF}(t)$ и $\mathbf{Q}_{ZZ}(t)$ — соответственно неотрицательно и положительно определенные симметричные матрицы; $\mathbf{X}_0$ — гауссов случайный вектор, для которого известны

$$\bar{\mathbf{X}}_0 = M \{ \mathbf{X}_0 \}, \quad \mathbf{K}_{X_0} = M \left\{ (\mathbf{X}_0 - \bar{\mathbf{X}}_0) (\mathbf{X}_0 - \bar{\mathbf{X}}_0)^* \right\}.$$

В дальнейшем полагаем, что случайный вектор X_0 и процессы $\xi_F(t)$ и $\xi_Z(t)$ взаимно некоррелируемы, а пара (A, C) — наблюдаема, см. выражения (6)-(8).

1. При отсутствии помех в средствах измерения задачу о нахождении оценок $\tilde{X}(t)$ и $\tilde{F}(t)$ переменных состояния $X(t)$ и воздействий $F(t)$ решаем на основе введения функционала

$$\Phi = \sum_{i=0}^1 \left(Z_{Д} - C\tilde{X} \right)^* W_1 \left(Z_{Д} - C\tilde{X} \right) \Big|_{t_i} + \\ + \int_{t_0}^{t_1} \left[\left(Z_{Д} - C\tilde{X} \right)^* W_2 \left(Z_{Д} - C\tilde{X} \right) + \tilde{F}^* W_3 \tilde{F} \right] dt \rightarrow \min ,$$

экстремали которого разыскиваем при условии связи

$$\dot{\tilde{X}} = A\tilde{X} + B_F \tilde{F}.$$

Здесь $Z_{Д}(t)$ — действительные показания датчиков средств измерения; W_1, W_2, W_3 — симметричные положительно определенные матрицы весовых коэффициентов. В соответствии с принципом Лагранжа [2] полагаем

$$\Phi := \sum_{i=0}^1 \psi(\tilde{X}_i)^* + \int_{t_0}^{t_1} \varphi(\tilde{X}(t), L(t)) dt, \quad (9)$$

где обозначено:

$$\psi(\tilde{X}) = \left(Z_{Д} - C\tilde{X} \right)^* W_1 \left(Z_{Д} - C\tilde{X} \right), \\ (\tilde{X}, \tilde{F}) = \left(Z_{Д} - C\tilde{X} \right)^* W_2 \left(Z_{Д} - C\tilde{X} \right) + \\ + \tilde{F}^* W_3 \tilde{F} + 2 \left(\dot{\tilde{X}} - A\tilde{X} - B_F \tilde{F} \right)^* L; \quad (10)$$

$2L(t)$ — вектор множителей Лагранжа. Функционалу (9) соответствуют уравнения Эйлера и "естественные" граничные условия

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \tilde{X}} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \dot{\tilde{X}}} \right) = 0, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial \tilde{F}} = 0 \quad \delta X_i^* \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \tilde{X}} + \frac{\partial \varphi}{\partial \dot{\tilde{X}}} \right) \Big|_{t_i} = 0, \quad i = 0, 1.$$

С учетом выражения (10) и уравнения (6) получаем

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \tilde{X} \\ L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & \vdots & B_F W_3^{-1} B_F^* \\ C^* W_2 C & \vdots & -A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{X} \\ L \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ C^* W_2 Z_{Д} \end{bmatrix};$$

$$\tilde{F} = W_3^{-1} B_F^* L, \quad \left[\delta X_i^* (C^* W_1 (Z_D - C\tilde{X})) - L \right]_{t_j} = 0.$$

2. Оценивание переменных состояния $\tilde{X}(T)$ стохастической системы (6) по результатам оценивания на отрезке времени $[0, T]$ выполняем, вводя функционал

$$\Phi = Sp \left[M \left\{ W \varepsilon \varepsilon^* W \right\} \right] \rightarrow \min, \quad \varepsilon(T) = X(T) - \tilde{X}(T).$$

где W — симметричная матрица весовых коэффициентов. Полагая

$$\tilde{X}(T) = \int_0^T G^*(t, T) Z_D(t) dt,$$

$$\dot{Y}_{nn}(t) = -A_{nn}^*(t) Y_{nn}(t) + C_{nm}^* G_{mn}, \quad Y(T) = E, \quad (11)$$

разыскиваем матрицу G , доставляющую минимум функционалу

$$\Phi = Sp \left\{ Y_{np}^*(0) K_{X0} Y_{np}(0) + \right.$$

$$\left. + \int_0^T \left[Y_{np}^*(t) S_{XX}(t) Y_{np}(t) + G_{np}^*(t) S_{ZZ}(t) G_{np}(t) \right] dt \right\} \quad (12)$$

при наличии уравнения "связи" (11). Здесь принято

$$Y_{np}(t) = Y(t) W, \quad G_{np}(t) = G(t) W;$$

$$S_{XX}(t) = B_X Q_{XX} B_F^*, \quad S_{ZZ}(t) = B_Z Q_{ZZ} B_Z^*.$$

Составляя для задачи (11), (12) уравнения Эйлера-Лагранжа, получаем систему уравнений

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L \\ Y_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & : S_{XX} \\ C^* S_{ZZ}^{-1} C & : -A^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ Y_{np} \end{bmatrix},$$

$$G = S_{ZZ}^{-1} C L W^{-1}; \quad \delta Y_0^* [K_{X0} Y(0) + L(0)] = 0, \quad Y(T) = E.$$

4. Расчет оптимальных управляющих воздействий

4.1. Рассмотрим общую задачу об оптимальном управлении нелинейной системой

$$\dot{X}(t) = F(X(t), G(t), t),$$

минимизирующим функционал

$$\Phi = \psi(t_0, X(t_0); t_1, X(t_1)) + \int_{t_0}^{t_1} \varphi(X, G, t) dt \quad (13)$$

при ограничениях вида равенств

$$\psi(t_0, X(t_0); t_1, X(t_1)) = 0 \quad (14)$$

и неравенств

$$\bar{\psi}(t_0, G(t_0); t_1, G(t_1)) + \int_{t_0}^{t_1} \bar{\Phi}(G, \dot{G}, t) dt \leq 0. \quad (15)$$

В соответствии с обобщенным принципом Лагранжа [1,3] образуем новый функционал при

$$\psi_L = \psi + \psi^* \Lambda + \bar{\psi}^* \bar{\Lambda},$$

$$\phi_L = \phi + \bar{\Phi}^* \Lambda + (\dot{X} - F)^* L(t),$$

где $\Lambda, \bar{\Lambda}$ — постоянные; $L(t)$ — переменный векторы множителей Лагранжа.

Приравнявая нулю вариацию функционала Φ_L и требуя выполнения условия $\delta\Phi_L = 0$ при любых $\delta X(t), \delta G(t_1), \delta t_0, \delta t_1$, получаем: уравнения Эйлера

$$\frac{\partial \phi_L}{\partial X} - \dot{L} = 0, \quad \frac{\partial \phi_L}{\partial G} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \phi_L}{\partial \dot{G}} \right) = 0;$$

естественные граничные условия

$$\delta X^*(t_i) \left(\frac{\partial \phi_L}{\partial \dot{X}} \Big|_{t_i} + \frac{\partial \psi_L}{\partial X(t_i)} \right) = 0, \quad \delta G^*(t_i) \left(\frac{\partial \phi_L}{\partial \dot{G}} \Big|_{t_i} + \frac{\partial \psi_L}{\partial G(t_i)} \right) = 0;$$

условия трансверсальности (если t_1, t_0 не заданы)

$$\frac{\partial \psi_L}{\partial t_i} + \dot{X}(t_i) \frac{\partial \psi_L}{\partial X(t_i)} + \dot{G}^*(t_i) \frac{\partial \psi_L}{\partial G(t_i)} - \phi_L(t_i)(-1)^i = 0, \quad i = 0, 1.$$

4.2. При импульсном управлении линейной системой

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + B_1(t)P(t) + B_2G(t), \quad G(t) = \begin{cases} 0 & \dots & t < t_*; \\ f(t)G & \dots & t_* \leq t \leq t_* + \delta\tau; \\ 0 & \dots & t_* + \delta\tau < t \leq t_1 \end{cases}$$

полагаем

$$\left. \begin{aligned} X(t) &= X_p(t) + B_g(t)G, \\ X_p(t) &= \Pi(t, t_0)X_0 + \int_{t_0}^t \Pi(t, \tau)B_1(\tau)P(\tau)d\tau, \\ B_g(t) &= \int_{t_*}^{t_* + \delta\tau} \Pi(t, \tau)B_2f(\tau)d\tau, \quad t \geq t_*. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Здесь $\mathbf{P}(t)$ — вектор возмущающих воздействий; $\mathbf{f}(t)$ — диагональная матрица, определяющая формы протяженных на $[t_*, t_* + \delta\tau]$ импульсных управлениях $\mathbf{f}(t)\mathbf{G}$; $\mathbf{P}(t, \tau)$ — переходная матрица уравнения движения; $\mathbf{X}_0 = \mathbf{X}(t_0)$ — известный вектор при заданном t_0 .

Подставляя решение (16) в выражение (13), приходим к задаче о минимуме нелинейной скалярной функции вида

$$\Phi = \psi(t_1, \mathbf{G}) + \int_{t_0}^{t_1} \varphi(\mathbf{G}, t) dt$$

при условиях

$$\psi(t_1, \mathbf{G}) = 0, \quad \bar{\psi}(t_1, \mathbf{G}) + \int_{t_0}^{t_1} \bar{\Phi}(\mathbf{G}, t) dt \leq 0,$$

$$\frac{\partial \psi_L}{\partial t_1} + \varphi_L(t_1) = 0.$$

В линейно-квадратичной задаче без ограничений полагаем

$$\begin{aligned} \Phi = & (\Delta \mathbf{X}(t_1) - \mathbf{B}_g(t_1)\mathbf{G})^* \mathbf{W}_1 (\Delta \mathbf{X}(t_1) - \mathbf{B}_g(t_1)\mathbf{G}) + \\ & + \int_{t_0}^{t_1} [(\Delta \mathbf{X} - \mathbf{B}_g \mathbf{G})^* \mathbf{W}_2 (\Delta \mathbf{X} - \mathbf{B}_g \mathbf{G}) + \mathbf{G}^* \mathbf{f} \mathbf{W}_3 \mathbf{f} \mathbf{G}] dt; \end{aligned} \quad (17)$$

$$\Delta \mathbf{X}(t) = \mathbf{X}_{np}(t) - \mathbf{X}_p(t),$$

где $\mathbf{X}_{np}$ — заданная программа движения системы. Для наблюдаемых конструкций $\Delta \mathbf{X}(t) - \mathbf{B}_g(t)\mathbf{G} := \mathbf{Z}_Д(t) - \mathbf{C}(t)[\mathbf{X}_p(t) + \mathbf{B}_g(t_1)\mathbf{G}]$, где $\mathbf{S}_Д(t)$ — вектор действительных сигналов системы измерения. Условие минимума функции (17) приводит к уравнениям

$$\begin{aligned} & \left\{ \mathbf{W}_1 \mathbf{B}_g(t_1) + \int_{t_0}^{t_1} [\mathbf{W}_2 \mathbf{B}_g(t) - \mathbf{f}(t) \mathbf{W}_3 \mathbf{f}(t)] dt \right\} \mathbf{G} = \\ & = \mathbf{W}_1 \Delta \mathbf{X}(t_1) + \int_{t_0}^{t_1} \mathbf{W}_2 \Delta \mathbf{X}(t) dt; \\ & 2 \frac{d}{dt_1} [\Delta \mathbf{X}(t_1) - \mathbf{B}_g(t_1)\mathbf{G}]^* \mathbf{W}_1 (\Delta \mathbf{X}(t_1) - \mathbf{B}_g(t_1)\mathbf{G}) + \\ & + [(\Delta \mathbf{X} - \mathbf{B}_g \mathbf{G})^* \mathbf{W}_2 (\Delta \mathbf{X} - \mathbf{B}_g \mathbf{G}) + \mathbf{G}^* \mathbf{f} \mathbf{W}_3 \mathbf{f} \mathbf{G}]_{t=t_1} = 0. \end{aligned}$$

Применение вариационных методов к некоторым другим задачам оптимального управления см. в работах [1-4].

Настоящая статья является первой из серии работ, посвященных математическому конструированию систем активного гашения колебаний высотных и протяженных конструкций. В следующей статье будут рассмотрены вопросы математического моделирования исполнительных механизмов и выполнена оценка эффективности предлагаемых систем управления.

Литература

1. Воронцов Г.В., Кузина О.А. Тангенциальные матрицы жесткости нелинейно деформируемых тонкостенных стержней // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Техн. науки. – 1996. – № 2. – С. 115-130.
2. Воронцов Г.В., Федий В.С. Обобщенный принцип Лагранжа в вариационных задачах оптимального оценивания и управления состояниями многомерных технических систем // Управление в технических, социально-экономических и медико-биологических системах: Межвуз. сб. науч. тр. / Отв. редактор В.А. Петраков / Юж.-Рос. гос. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2000. – Вып. 1. – С. 40-48.
3. Воронцов Г.В., Федий В.С. Оптимальные по быстродействию, точности и энергозатратам управления многомерными электромеханическими системами // Изв. вузов. Электромеханика. – 1999. – № 4. – С. 41-44.
4. Воронцов Г.В., Федий В.С. Оптимальное оценивание состояний наблюдаемых многомерных систем при возмущениях и помехах типа нестационарного белого шума и стандартных винеровских процессов // Изв. вузов. Электромеханика. – 1998. – № 1. – С. 71-76.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132. ЮРГТУ(НПИ), каф. СМ, СТПМ. Тел. 55-3-27
email: nauka@novoch.ru

УДК 624.072.01.4.75

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Зарифьян А.З., Алексеев С.А., Петров И.А., Шураков В.Л.

Инженерные методы расчета строительных конструкций требуют эффективных и быстродействующих алгоритмов определения характеристик напряженно деформированного состояния конструктивных элементов зданий и сооружений, наиболее полно описывающих работу конструкции.

Экономическая эффективность строительных конструкций определяется сокращением расхода материалов при их изготовлении и требует использования в расчетах оптимизационных методов при решении задачи подбора размеров поперечного сечения.

1. Дифференциальные уравнения равновесия элементов металлических конструкций

Дифференциальные уравнения равновесия, описывающие работу эле-

ментов металлических строительных конструкций при пространственном деформировании с учетом геометрической нелинейности основаны на теории упругопластического деформирования тонкостенных стержней открытого профиля, получены в работе [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} EA\zeta^{II} = -q_z + (\bar{Q}_y \eta' + \bar{Q}_x \xi' + \bar{M}_\omega \theta')' - q_{z\psi}, \\ EI_y \xi^{IV} = q_x + q'_z e_x + [(e_y - a_y) q_z \theta]' - \\ - \left[(\bar{M}_x v_{yx} - a_y Q_z^0) \theta + (\bar{M}_z - v_{ky} \bar{M}_k) \eta' \right]' + (Q_z^0 \xi')' + q_{x\psi}, \\ EI_x \eta^{IV} = q_y + q'_z e_y + [(e_x - a_x) q_z \theta]' - \\ - \left[(\bar{M}_y v_{xy} - a_x Q_z^0) \theta + (\bar{M}_z - v_{kx} \bar{M}_k) \xi' \right]' + (Q_z^0 \eta')' + q_{y\psi}, \\ EI_\omega \theta^{IV} - GI_{tor} \theta^{II} = m_z + q'_z \omega_q - \theta [q_x (e_x - a_x) + q_y (e_y - a_y)]' - \\ - \left[(\bar{M}_x - a_y Q_z^0) \xi' + (\bar{M}_y - a_x Q_z^0) \eta' \right]' + (\theta' \bar{C}_\phi)' + m_{z\psi}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Функции $q_{x\psi}$, $q_{y\psi}$, $q_{z\psi}$, $m_{z\psi}$ в уравнениях (1) учитывают физическую нелинейность задачи и рассматриваются как внешняя фиктивная переменная нагрузка, интенсивность которой зависит от распространения зон пластических деформаций по поперечному сечению и длине стержня:

$$\begin{aligned} q_{z\psi} &= (Q_{x\psi} \xi' + Q_{y\psi} \eta' - Q_{z\psi})'; \\ q_{x\psi} &= (M_{y\psi} + M_{x\psi} \theta + M_{y\psi} \eta')'' + (Q_{z\psi} \xi')'; \\ q_{y\psi} &= (-M_{x\psi} + M_{y\psi} \theta - M_{z\psi} \xi')'' + (Q_{z\psi} \eta')'; \\ m_{z\psi} &= (M_{x\psi} \xi' + M_{y\psi} \eta' + M_{z\psi})'. \end{aligned} \quad (2)$$

В выражениях (2) $Q_{x\psi}$, ...; $M_{x\psi}$, ... — парциальные значения внутренних усилий в зонах пластических деформаций сечений стержня.

2. Математическая модель расчета тонкостенных элементов металлических конструкций

Полагаем, что нагрузки на колонны приложены с двухосным эксцентриситетом e_x и e_y (рис. 1а); балки испытывают изгиб в двух плоскостях и кручение (рис. 1б). Рассматриваемые строительные конструкции — колонны-стойки и балки — имеют Н-образный профиль (рис. 1в).

Получена система дифференциальных уравнений пространственной работы элементов конструкций такого типа, решая которую можно изучить напряженно-деформированное состояние и определить величину предельной нагрузки, действующей на конструкцию.

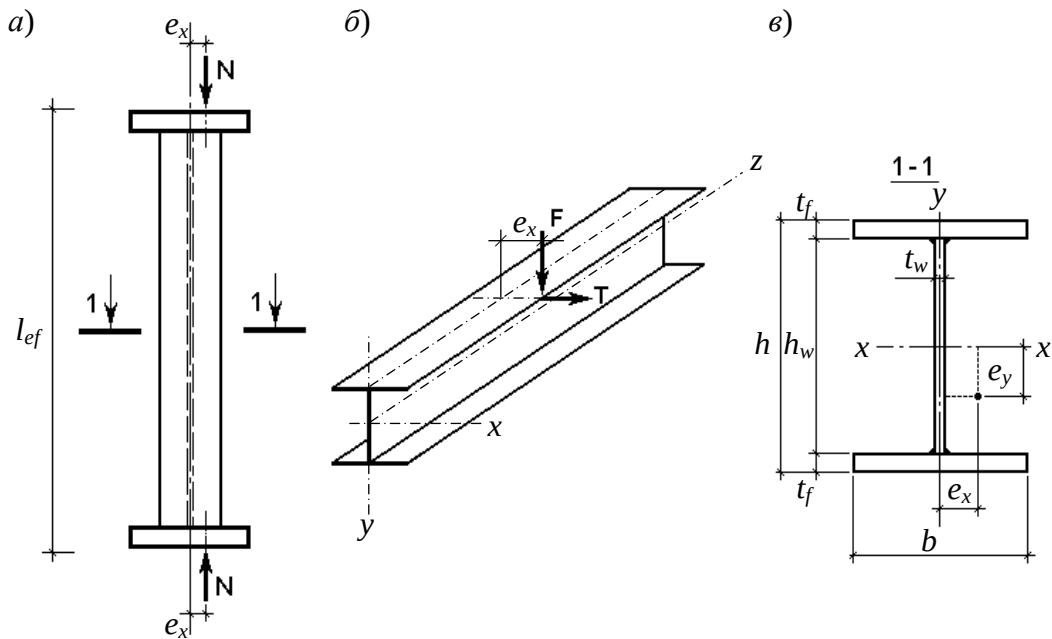


Рис.1. Расчетные схемы: а) колонна-стойка; б) балка; в) поперечное сечение

При вычисления предельных нагрузок вводим начальные несовершенства, обусловленные эксцентриситетом приложения внешних сил, искривлением стержней при изготовлении, из-за остаточных напряжений при сварке, неоднородности механических характеристик материала:

1. начальные несовершенства для «центрально» сжатых элементов принимаем в виде заданных начальных эксцентриситетов сжимающих сил:

$$e_x = i_x / 20 + l_{ef} / 750; \quad e_y = i_y / 20 + l_{ef} / 750.$$

2. при установлении несущей способности стержня, внецентренно сжатого в плоскости наибольшей жесткости ($e_x \neq 0$), принимаем дополнительный эксцентриситет: $e_y = i_y / 20 + l_{ef} / 750$.

3. начальные погибы стержней введены в расчет путем задания их, например, по полуволне синусоиды $f = f_{max} \sin(\pi z / l)$, где f_{max} — наибольшее значение прогиба в середине стержня, максимальное значение которого при проектировании следует принять равным $f_{max} / l = 1 / 750$.

4. при изгибе балочных конструкций принимаем начальный эксцентриситет в плоскости действия нагрузки, равный $e_y = 0,01 l_{ef}$.

Учитываем нелинейность диаграммы $\sigma - \epsilon$ материала и характер распределения остаточных напряжений от сварки.

Получены аналитические выражения для вычисления в сечениях колонн-стоек и балок линейных и угловых перемещений, меры деформации, а также величин внутренних усилий в зависимости от уровня загрузки, эксцентриситетов нагрузки, развития зон пластических деформаций по поперечному сечению, эпюр остаточных напряжений, а также геометрии профиля.

Решение краевой задачи для системы дифференциальных уравнений (1) не может быть найдено в замкнутом виде. Применяем метод «упругих реше-

ний» А. А. Ильюшина, на каждом этапе которого решается краевая задача расчета упругого стержня с дополнительными нагрузками, определяемыми по результатам предыдущего приближения. Такое последовательное уточнение решений позволяет свести нелинейную краевую задачу к набору линейных краевых задач.

Рассматриваем напряженно-деформированное состояние тонкостенного стержня при упругопластических деформациях, соответствующее фиксированному значению параметра нагрузки. Вводим к искомым функциям перемещений и внутренних сил индекс t , означающий, что соответствующая величина вычисляется на t -ом шаге итерационного процесса при нагрузке N . На каждом шаге t функцию пластичности $\psi_i(\varepsilon_i)$, различную для разных точек поперечного сечения в зонах пластичности деформаций и интенсивности дополнительных нагрузок $q_{x\psi, t}, \dots$ вычисляем в узловых точках отрезка интегрирования, используя функции перемещений $\zeta_{t-1}, \xi_{t-1}, \eta_{t-1}, \theta_{t-1}$, найденные на предыдущем шаге нагружения.

Загружаем тонкостенный стержень (помимо заданной внешней нагрузки) дополнительными нагрузками вдоль пластических областей и дополнительными усилиями в опорных сечениях. Таким образом, мы заменяем расчет стержня при упругопластических деформациях расчетом эквивалентного линейно-упругого с иными внутренними силами в сечениях, но имеющего такие же перемещения и деформации, как и упругопластический стержень.

2.1. Алгоритм определения предельных нагрузок

В общем случае алгоритм решения представляем следующей схемой:

— на первом шаге функцию пластичности $\psi_1(\varepsilon_i)$, интенсивности дополнительных нагрузок $q_{x\psi, 1}, \dots$, а также дополнительные усилия в граничных сечениях $M_{x\psi, 1}, \dots$ полагаем равными нулю и решаем систему линеаризованных обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами при соответствующих граничных условиях. Определяем значения функций $\zeta_1, \xi_1, \eta_1, \theta_1$, вычисляем интенсивности деформаций $\varepsilon_{i,1}$, находим зоны распространения пластичности по поперечным сечениям и длине тонкостенного стержня;

— учитывая характер диаграмм $\sigma_{if} = \sigma_{if}(\varepsilon_i)$ для полки и $\sigma_{iw} = \sigma_{iw}(\varepsilon_i)$ для стенки конструкции, ищем интенсивности напряжений σ_i , функцию пластичности $\psi_2(\varepsilon_i)$ и вычисляем во втором приближении величину развития пластических областей, значения $q_{x\psi, 2}, \dots$ и $M_{x\psi, 2}, \dots$. Загружаем стержень помимо заданных внешних сил дополнительными распределенными нагрузками $q_{x\psi, 2}, \dots$ в пролете вдоль упругопластической области и дополнительными усилиями $M_{x\psi, 2}, \dots$ на торцах. Так как выражения $q_{x\psi, 2}, \dots, M_{x\psi, 2}, \dots$ определены подстановкой в нелинейные члены соответствующих формул функций перемещений предыдущего приближения, получаем систему линейных дифференциальных уравнений. Расчет в третьем и следующих приближениях сводится к последовательному решению линейных задач.

Исходными данными при вычислении предельной нагрузки являются:

- расчетные сопротивления материала конструктивных элементов, и диаграммы их деформирования $\sigma - \varepsilon$;
- геометрические параметры конструкции;
- эксцентриситеты e_x, e_y приложения сил;
- эпюры остаточных напряжений от сварки в поперечном сечении.

Задача определения $N_{пред.}$ является составной частью программного комплекса по оптимизации размеров поперечного сечения сварных двутавровых колонн-стоек и балок. Входные параметры рассматриваемой модели являются практически независимыми друг от друга, что дает наиболее полную картину исследуемой области. При этом задача оптимального проектирования рассматривается как многокритериальная, учитывающая различные, зачастую противоречивые требования к модели. Выбор оптимального решения осуществляется в процессе диалога конструктора и ЭВМ, что позволяет контролировать ход оптимизации на каждом этапе.

Общая блок-схема алгоритма определения перемещений и предельных нагрузок по двум группам предельных состояний с учетом остаточных напряжений показана на рисунке 2.

Сравнительный анализ определения предельных нагрузок по предлагаемой методике показал хорошую согласованность с экспериментальными данными различных авторов: R.Kloppel, E.Winkelmann [6], Lindner J. [7], Г.М. Чувикина [4], N.R.Nagarajarao [8] и др.

3. Математическая модель многокритериальной многопараметрической оптимизации параметров сечений колонн-стоек и балок

Задачу оптимизации размеров поперечного сечения колонн-стоек и балок Н-образного профиля формулируем следующим образом:

$$\min_{X \in \Omega} [A \quad 1/I \quad C]^T,$$

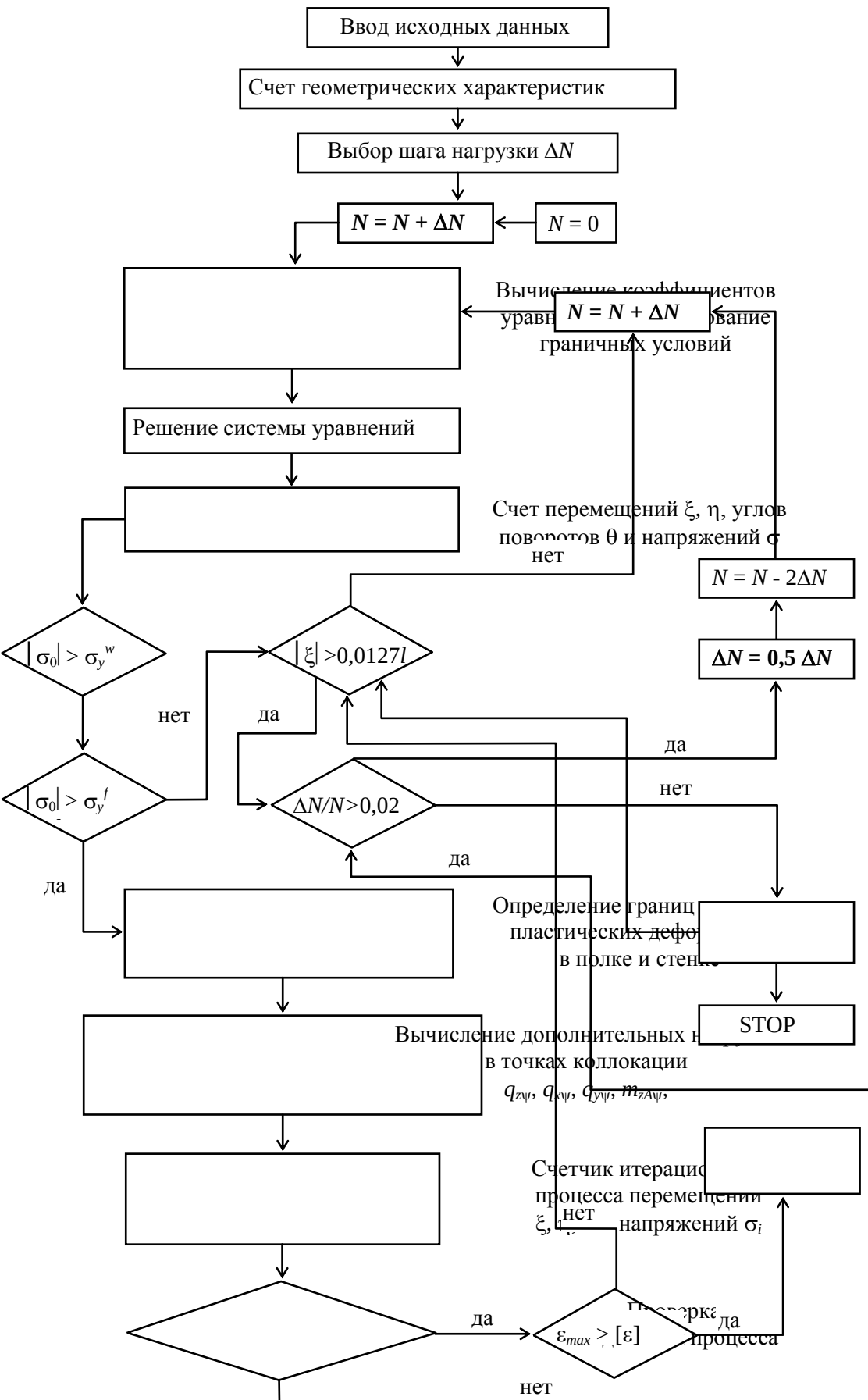
где A — площадь поперечного сечения, I — момент инерции сечения в плоскости наименьшей жесткости, C — стоимость изготовления.

В качестве варьируемых параметров принимаем:

- расчетные сопротивления материала полков $R_{y, f}$ и стенки $R_{y, w}$ элементов конструкции и диаграммы деформирования $\sigma \sim \varepsilon$;
- размеры поперечного сечения (h_w, t_w, b_f, t_f);
- эксцентриситеты приложения сил N, F и T : e_x, e_y ;
- характер эпюр остаточных напряжений от сварки в поперечном сечении;
- цены на листовую прокатную сталь различной прочности (в условных единицах).

Толщины листов t_w, t_f и расчетное сопротивление материала R_y выбираются по ГОСТу на прокатную сталь и меняются дискретно.

В основе алгоритма лежит численное исследование (зондирование) пространства параметров проектируемой системы методом ЛПτ-поиска [2].

Рис.2. Блок-схема определения $N_{\text{пред}}$

На первом этапе с помощью ЭВМ составляем таблицы испытаний.

Для этого, используя точки ЛПТ-последовательности $Q_0, Q_1, \dots, Q_i, \dots$ определяем декартовы координаты точки $K_i = (x_{i1}, \dots, x_{in})$, принадлежащей параллелепипеду Π . При $K = K_i$ проверяем выполнение параметрических ограничений. Если они выполнены, то точка $K = K_i$ отбирается в качестве пробной точки в G . В каждой из отобранных точек $K \in G \in \Pi$, равномерно расположенных в G , рассчитываем модель системы, проверяем выполнение функциональных ограничений и вычисляем значения критериев качества $\Phi_1(K_i), \dots, \Phi_k(K_i)$.

Находим допустимое множество возможных решений задачи D с учетом функциональных ограничений и проводим проверку непустоты D . Путем перебора значений всех критериев в точках K_i , принадлежащих G , ЭВМ проверяет, есть ли среди этих точек хотя бы одна такая, в которой справедливы одновременно все ограничительные условия. Если такая точка существует, то множество D не пусто и задача разрешима. В противном случае следует вернуться ко второму этапу и потребовать уступок при назначении параметрических ограничений. Если же такие уступки невозможны, то необходимо вернуться к первому этапу и увеличить количество пробных точек n , чтобы повторить второй и третий этапы с таблицами большего объема.

После того, как множество допустимых точек D построено, из него надо выделить так называемые приближенно эффективные точки (множество Парето E). Множество E называется также не улучшаемым, так как такой точки $\tilde{K}$, в которой все $\Phi_v(\tilde{K})$, $v = 1, \bar{m}$ принимают экстремальные значения, в общем случае не существует.

Для выделения паретовских точек ЭВМ выбирает точку с некоторым номером n_{i1} из множества D и производит ее сравнение по всем критериям таблиц испытаний с оставшимися точками. Все безусловно худшие точки отбрасываются. Затем берется одна из оставшихся точек n_{i2} и вся операция повторяется заново, причем n_{i2} сравнивается и с n_{i1} . В результате из всех точек остаются только «помеченные», которые и составляют множество «не улучшаемых» точек.

В качестве оптимальной выбирается, по усмотрению проектировщика, одна из найденных точек множества E . Проектировщик также имеет возможность уточнить выбранное решение на следующем шаге оптимизации, выбрав лучшую точку и возобновив расчет в ее окрестности.

При составлении программы была поставлена цель получения, так называемых, «не улучшаемых» вариантов конструкции, исходя из независимых параметров, задаваемых в пределах параметрических ограничений.

На рисунке 3 представлена блок-схема многопараметрической многокритериальной программы оптимизации сечений, которая проводит глобальный поиск в пространстве независимых переменных $K = (R_{yf}, R_{yw}, h_w, t_w, b_f, t_f)$, формирует область допустимых решений D и выделяет множество Парето-оптимальных решений оптимизационной задачи E , что позволяет выбирать наиболее приемлемые параметры конструкции в процессе диалога с ЭВМ.

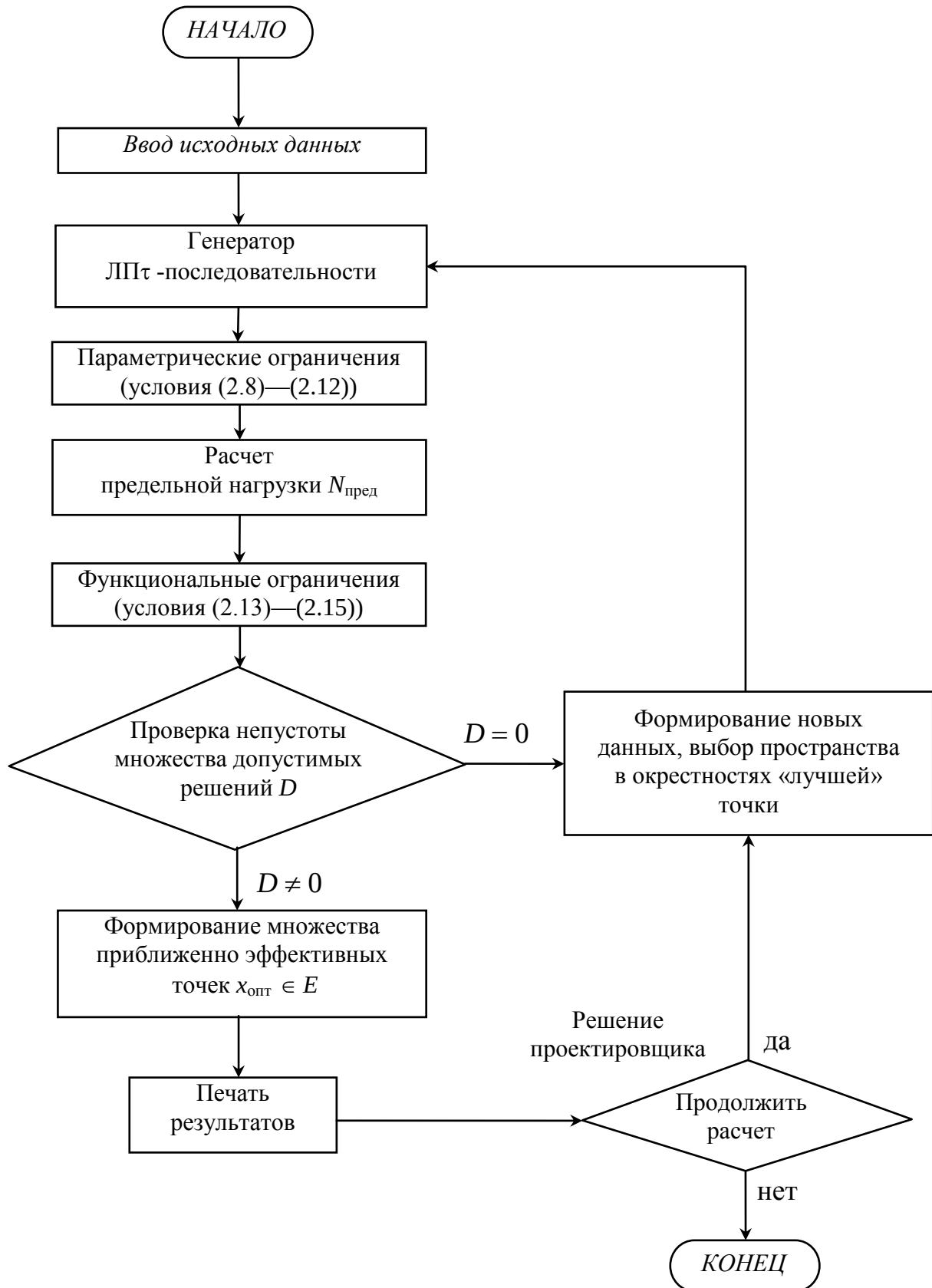


Рис.3. Алгоритм многокритериальной оптимизации размеров поперечных сечений

Выводы.

1. На основании теоретических и экспериментальных исследований построены математические модели, более полно отвечающие действительным условиям работы тонкостенных элементов металлических конструкций.
2. Разработаны эффективные алгоритмы и составлены быстродействующие программы, дающие возможность определить предельные нагрузки колонн-стоек и балок по двум группам предельных состояний и оптимизировать параметры поперечных сечений по нескольким независимым критериям качества.
3. Анализ результатов оптимизационных расчетов показал, что найденные оптимальные решения имеют значительные ресурсы по площади поперечного сечения (до 25 %) и изгибной жесткости (до 35 %) по сравнению с вариантами конструктивных элементов, полученными по СНиП [3]. Использование при компоновке Н-образных поперечных сечений стальных различной прочности приводит к дополнительному снижению расхода материальных ресурсов.

Литература

1. Зарифьян А.З. Деформационный расчет и несущая способность тонкостенных стержней открытого профиля // Изв. Сев.-Кавк. научн. центра высш. школы. Технические науки. – 1975. – № 2. – С. 3-6.
2. Соболев И.М., Статников М.Н. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 106 с.
3. Справочник проектировщика. Металлические конструкции. В 3 т. Т.1. Общая часть. / Под общ. ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова) – М.: АСВ, 1998. – 576 с.
4. Чувикин Г.М. Об устойчивости за пределом упругости внецентренно сжатых тонкостенных стержней открытого профиля // Исследования по стальным конструкциям. – М.: Госстройиздат, 1962. – Вып. 13. – С. 70-159.
5. Birnstiel C. Experiments on H-Columns under Biaxial Bending // J. of the Struct. Div., Proc. Of the ASCE. – 1968. – V. 94. – № 10. – P. 2429-2448.
6. Kloppel R., Winkelmann E. Experimentelle und theoretische Untersuchungen uder die Traglast von zweiachsig au Bermittig gedruckten Stahlstaben // Der Stahlbau. – 1962. – H.2, H.3. – S. 78-87; H. 4. S. 109-119.
7. Lindner J., Gietzelt R. Imperfektionsannahmen fur Stutzenschiefstellungen // Der Stahlbau. – 1984. – V. 53. – № 4. – S. 97-101.
8. Nagarajarao N.R., Marek P., Tall L. Welded hybrid steel columns // Weld. J. – 1972. – V. 51. – № 9. – P. 462-472.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132. ЮРГТУ(НПИ), каф. СМ, СМ, СМ. Тел. 55-3-27
email: nauka@novoch.ru

УДК [69.2+624.15].001.573

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ARCHICAD. СОГЛАСОВАНИЕ ARCHICAD С SCAD (ЛИРА)

Артемов А.В.

Информационные технологии уверенно проникают во все этапы строительного-инвестиционного процесса: от экономического обоснования бизнес-

плана, первого архитектурного наброска, создания трехмерной модели, дизайн проекта, до управления строительством.

Программный пакет ArchiCAD имеет множество достоинств. Он обеспечивает разработку любых архитектурно-дизайнерских решений. В ArchiCAD можно одновременно работать над созданием проекта и составлять сопутствующую строительную документацию, так как программа хранит информацию о проектируемом здании: планы, разрезы, перспективы, перечень необходимых стройматериалов, а также замечания архитектора, сделанные в процессе работы. На любом этапе работы можно увидеть проектируемое здание в трехмерном виде, в разрезе, в перспективе, сделать анимационный ролик. Десятки тысяч архитекторов ежедневно работают с ArchiCAD, создавая сложные и профессиональные проекты. Для упрощения этой работы в ArchiCAD были добавлены новые мощные и удобные инструменты. Одним из них является появившийся в последней версии пакета ArchiCAD 6.5 интерфейс программирования (API) ArchiCAD открывает новые возможности для разработчиков программного обеспечения. Так в ArchiCAD могут быть встроены местные стандарты проектирования и оформления документации. Также API интерфейс может применяться независимыми разработчиками для написания собственных функций по построению различных конструкций (фундаментов, ферм, сводов, крыш или лестниц и т.д.), фотоизображений, составлению спецификаций и многое другое.

Ряд специалистов положительно отмечает не только возможности и удобство пакета ArchiCAD компании Graphisoft, но и готовность его разработчиков идти на контакт с отечественными производителями «смежного» строительного ПО. Пример — разработка специального модуля ФОРУМ в составе пакета расчетов конструкций SCAD, позволяющего передать данные о топологии объекта из ArchiCAD в SCAD. Интегрированная система анализа и проектирования строительных конструкций Structural CAD (SCAD) привлекает внимание специалистов не только СНГ, но и Европы. 32-разрядная система SCAD под Windows 95/NT предназначена для прочностного расчета строительных конструкций и систем, например несущих конструкций всего здания, при статических и динамических воздействиях. Допустимое число неизвестных превышает 65 000. Единая графическая среда синтеза расчетной схемы и анализа результатов обеспечивает неограниченные возможности моделирования расчетных схем сложных конструкций, удовлетворяя потребностям опытных профессионалов и оставаясь при этом доступной для начинающих.

Высокопроизводительный процессор позволяет решать задачи большой размерности (сотни тысяч степеней свободы при статических и динамических воздействиях). SCAD включает развитую библиотеку конечных элементов для моделирования стержневых, пластинчатых, твердотельных и комбинированных конструкций, модули анализа устойчивости, формирования расчетных сочетаний усилий, проверки напряженного состояния элементов конструкций по различным теориям прочности, определения усилий взаимодействия фрагмента с остальной конструкцией, вычисления усилий и перемещений от комбинаций нагрузок. В состав системы включены программы подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций и проверки сечений элементов металло-

конструкций. Эту систему удачно дополняют программы проектирования отдельных видов конструкций: металлические - Кристалл, Комета, железобетонные - Арбат, Монолит, фундаменты - ФОК ПК, ФУГА, САПФИР и другие.

Импорт данных из системы ArchiCAD в SCAD разработан на основе AC API. В результате импорта формируется файл проекта, в котором содержится описание укрупненной конструктивной модели здания. В процессе импорта осуществляются операции преобразования дугообразных стен в многогранные, а также формирование в них проемов под окна и двери. Переход от архитектурного решения к расчетной схеме можно представить в виде следующей последовательности операций:

- построение на основе внутреннего представления данных архитектурной системы укрупненной конструктивной модели здания, состоящей из таких объектов как колонны, балки, стены, перекрытия (плиты) и крыши;
- удаление из конструктивной модели объектов, которые не включаются в расчетную схему, например, перегородок, элементов ограждения, архитектурных деталей и т.п.;
- уточнение, если это необходимо, положения объектов в конструктивной модели и дополнение ее новыми элементами, не учтенными в архитектурном решении;
- автоматическое или управляемое пользователем построение сетки конечных элементов с одновременным назначением жесткостных характеристик конечным элементам;
- задание условий опирания и примыкания элементов;
- ввод нагрузок и специальных исходных данных.

Таким образом, расширение возможностей по программированию в ArchiCAD на основе AC API и согласованию двух мощных программных продукта ArchiCAD и SCAD раскрывает перед разработчиками программных продуктов и проектировщиками работающими в САПР колоссальные возможности.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ(НПИ), каф. САПР ОСиФ, т. 55416

УДК 624.151.1.001.57

МЕТОДИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ "ФУНДАМЕНТ – ПЕСЧАНОЕ ОСНОВАНИЕ"

Архипенко В.А.

Изучение состояния основания и фундамента под нагрузкой относится к главным задачам фундаментостроения и содержит неисчерпаемые резервы совершенствования методов расчета. Экспериментальные исследования совместного напряженно-деформированного состояния основания и фундамента имеют наибольшую ценность, когда это состояние изучается во всем интервале нагрузок, включая предельные. Последнее обстоятельство существенно усложняет

методику постановки опытов и обработки результатов.

Кафедра САПР ОСФ Южно-Российского Государственного Технического Университета (ЮРГТУ), в течении долгих лет возглавляемая академиком Ю.Н. Мурзенко, накопила огромный опыт в проведении экспериментальных исследований на моделях фундаментов и имеет уникальное оборудование для постановки этих экспериментов. Проблемы повышения экономичности и надежности технических и конструктивных решений в капитальном строительстве требуют совершенствования методов расчета и проектирования сооружений в строительстве на базе использования средств вычислительной техники и экспериментальных исследований их работ. Поэтому было решено провести опыты на моделях ленточных фундаментов ломанного сечения в плане и сравнить полученные результаты с результатами опытов обычных ленточных фундаментов.

Результатом опыта являются качественные и количественные связи между параметрами состояния основания и фундамента во всем интервале нагрузок, включая предельные. Исследуемый процесс определяется соотношениями между главными параметрами, выраженными в виде графика состояния. График состояния является как-бы моделью упруго-пластического основания. Обобщение опытов должно выполняться путем систематизации процессов с выявлением характерных состояний параметров среды с последующим обобщением их на подобные случаи деформирования. Статистическая обработка отдельных значений параметров группы опытов вне их взаимосвязи в каждом опыте может стирать весьма важные особенности поведения упруго-пластической среды.

Непременным условием решения упруго-пластических задач экспериментальным методом является проверка выполнения условий подобия изучаемых явлений, что можно выполнить путем изменения масштаба моделей фундаментов. При этом площади моделей смежных размеров достаточно изменить в несколько раз. Наибольший эффект дают исследования условий моделирования, когда линейные размеры наибольшей и наименьшей моделей отличаются примерно в 10 раз. В последнем случае, как показали исследования, форма кривой моделирования выявляется достаточно полно для оценки возможности использования для натурных фундаментов результатов исследования на моделях.

Для моделирования планируется использовать машину МФ-1, которая состоит из трех гидравлических домкратов и лотка с песком. В качестве моделей фундаментов будут использованы штампы размером 500x500, развернутые в плане на 45° для получения ломанного сечения. В качестве контрольно-регистрирующей аппаратуры будет применена тензометрическая станция СИИТ-3 к которой будут подключены датчики - месдозы, линейные и сдвиговые деформометры.

Для плотного и средней плотности песчаного основания, следует исходить из существования нелинейных условий моделирования, которые в наибольшей степени сказываются при размерах моделей в плане, меньших 350 мм, и приближаются к линейным для моделей, превышающих размер стороны подошвы 500 мм.

Для возможности измерения предельных значений параметров и наблю-

дения особенностей наступления предельного состояния основания необходимо растянуть во времени и замедлить процесс разрушения основания. С этой целью в качестве нагрузочного устройства следует применять гидравлический домкрат, так как гравитационная предельная нагрузка на модель вызывает мгновенный процесс разрушения основания. С точки зрения моделирования важно выяснить, влияет ли масштаб времени на напряженное состояние и сопротивление песчаного грунта сдвигу. Опыты показали, что в песчаном грунте напряженное состояние устанавливается в первую секунду после приложения нагрузки и далее не изменяется (в пределах точности измерения). Экспериментальными исследованиями установлено, что сопротивление песка сдвигу в условиях трехосного сжатия со скоростью приложения нагрузки от 5 мин до 5 милли-секунд не зависит от времени нагружения. Из данных полученных в результате исследований, а также из анализа скоростей деформаций несвязных грунтов можно определить, что масштаб времени не оказывает ощутимого влияния на кинематическую картину и параметры состояния песчаного основания при разрушении.

Аппаратура для измерения исследуемых параметров должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- а) точность измерения должна соответствовать масштабу моделей и должна быть тем выше, чем меньше размеры моделей;
- б) показания приборов должны регистрироваться автоматически со скоростью, не требующей значительной задержки опыта во времени, особенно в фазе разрушения.

Литература

1. Горбунов-Посадов М.И. Устойчивость фундаментов на песчаном основании. – М.: Госстройиздат, 1962.
2. Баранов Д.С. Измерительные приборы, методика и некоторые результаты исследования распределения давлений в песчаном грунте // Научное сообщение ЦНИИСК. Вып. 7. – М., 1959.
3. Экспериментальные исследования инженерных сооружений: Материалы ко II симпозиуму. – НПИ: РИО, 1969.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ(НПИ), каф. САПР ОСиФ, т. 55416

УДК 624.15.078.32.001.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПОДТОПЛЕНИИ ГРУНТОВЫМИ ВОДАМИ

Юношев Н.П.

Подтопление городских территорий грунтовыми и техногенными водами носит практически повсеместный характер как неизбежное проявление техногенных процессов. Это приводит к появлению целой цепочки взаимосвязанных негативных процессов, нарушающих условия эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры городской застройки и экологическую обстановку в целом.

Для успешного осуществления мероприятий по защите объектов инженерной инфраструктуры города от подтопления необходима разработка и реализация геоинформационной системы (ГИС), пример применения такой системы описан в работе [1].

Основой для разработки ГИС должна служить информационная модель инфраструктуры города, устанавливающая общие связи между взаимодействующими подсистемами. Описание такой модели приведено в работе [2].

В докладе приводится переработанный вариант указанной модели с более четким выделением трех взаимодействующих подсистем (рис.1):

- непроизводственной,
- эколого-реабилитационной,
- производственной.

В качестве основных фрагментов производственной подсистемы выделены следующие:

- архитектурно-строительная,
- промышленно-технологическая,
- инженерно-коммуникационная.

В целях разработки инженерных мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационной надежности подземной части зданий и сооружений с учетом взаимодействия подсистем (рис.1) использовано микрорайонирование г.Новочеркаска по инженерно-экологическим признакам [3].

Инженерную защиту целесообразно разделить на ряд взаимозависимых сфер: гидрогеологическую, инженерно-геологическую, геотехническую, архитектурно-строительную, промышленно-технологическую и инженерно-коммуникационную. Инженерная защита инфраструктуры города является наиболее трудоемкой и дорогой составляющей из всего комплекса эколого-реабилитационных мероприятий. Поэтому необходима системная оптимизация мероприятий в целях обеспечения их наибольшей экономичности, эффективности и долговечности функционирования.

Последующей задачей является разработка полнофункциональной муниципальной ГИС, которая должна охватить город в целом и все городские службы. ГИС должна представлять собой информационное поле, включающее объекты инфраструктуры города: здания, сооружения, городские сети, сценарии функционирования городских систем, включая сценарии развития аварийно-опасных технических и экологических ситуаций. Создание муниципальной ГИС требует интеграции муниципальных служб, предприятий, фирм и специалистов проектных организаций, вузов и НИИ с привлечением значительных финансовых ресурсов. В качестве предварительных проработок является целесообразным поэтапная разработка фрагментов подобной системы, например, информационной модели города, микрорайонирования городской застройки, принципов выбора защитных мероприятий и др.

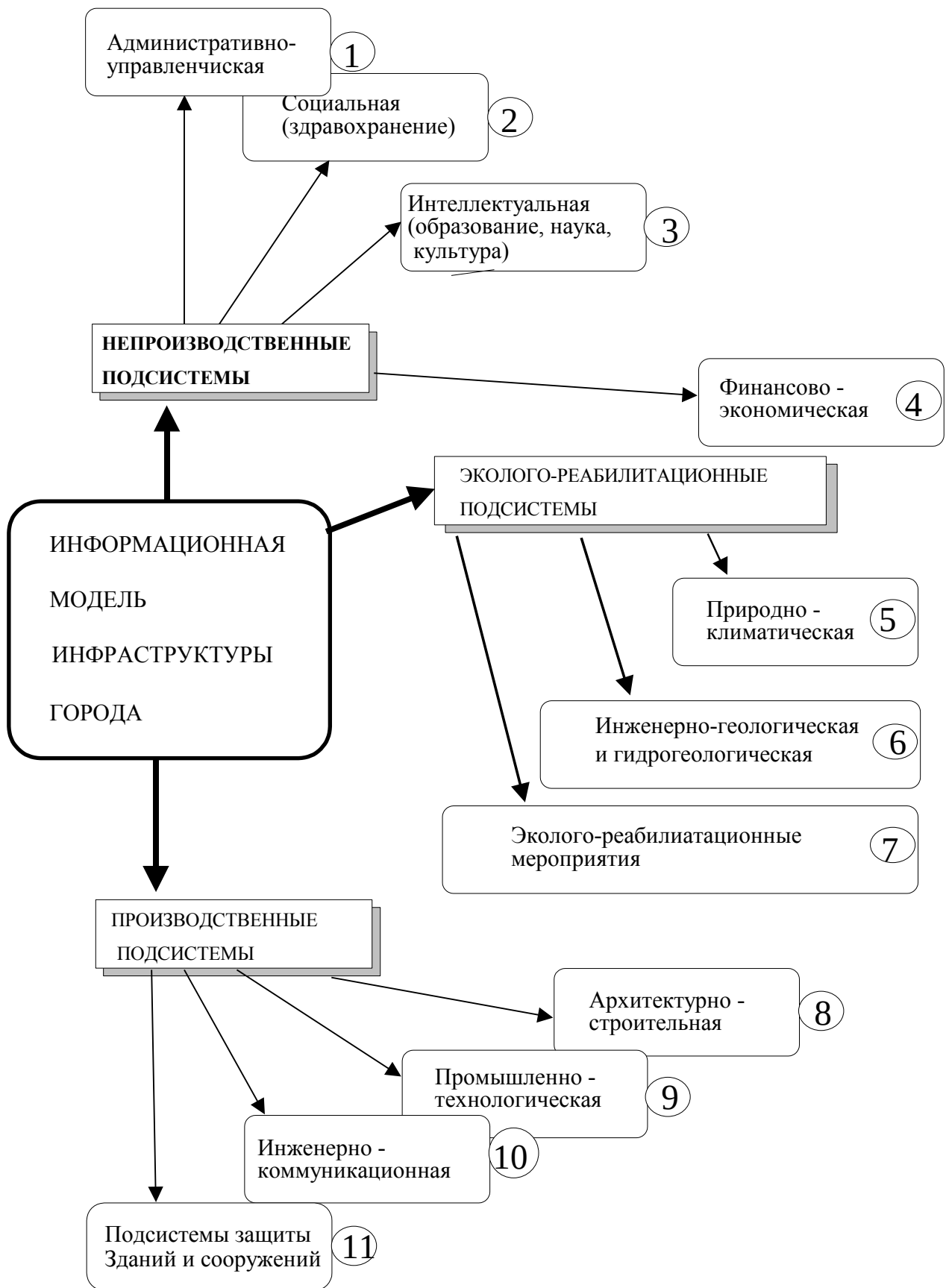


Рис.1. Информационная модель инфраструктуры города

Последующей задачей является разработка полнофункциональной муниципальной ГИС, которая должна охватить город в целом и все городские службы. ГИС должна представлять собой информационное поле, включающее объекты инфраструктуры города: здания, сооружения, городские сети, сценарии функционирования городских систем, включая сценарии развития аварийно-опасных технических и экологических ситуаций. Создание муниципальной ГИС требует интеграции муниципальных служб, предприятий, фирм и специалистов проектных организаций, вузов и НИИ с привлечением значительных финансовых ресурсов. В качестве предварительных проработок является целесообразным поэтапная разработка фрагментов подобной системы, например, информационной модели города, микрорайонирования городской застройки, принципов выбора защитных мероприятий и др.

Разработки, представленные в [1-3], могут рассматриваться как первые шаги к созданию ГИС г.Новочеркасска.

Литература

1. Дзюба А., Емельянова Г., Заханоа И. Геоинформационная система города Краснознаменска (начало внедрения): САПР и графика // Компьютер-Пресс. – 2000. – № 8.
2. Мурзенко Ю.Н., Соболев В.И., Скибин Г.М., Мурзенко А.Ю. Информационная модель города для целей проектирования подземной части зданий, сооружений и инженерных коммуникаций // Информационные технологии проектирования и исследование оснований и фундаментов: Сб. науч. тр. / ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 1999.
3. Методика оценки ущерба для зданий, сооружений и инженерных коммуникаций г. Новочеркасска от подтопления грунтовыми и техногенными водами. / Ю.Н. Мурзенко, Л.М. Родионова, Г.М. Скибин и др. // Информационные технологии проектирования и исследование оснований и фундаментов: Сб.науч. тр. / ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 1999.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ(НПИ), каф. САПР ОСиФ, т. 55416

УДК 519.27

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОПРОКАТА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Хамудисова И.Б., Каплан В.Е.

Механические свойства поставляемого металлопроката в соответствии с действующим стандартом подлежат статистическому контролю. На основании статистической обработки результатов испытаний оценивается соответствие требованиям нормативно-технической документации таких свойств, как предел текучести и временное сопротивление разрыву.

Значения временного сопротивления и предела текучести – случайные величины, для которых установлены нормативы – контрольные или браковочные характеристики: гарантируемые минимумы по пределам текучести и прочности. Их обеспеченность (вероятность) должна быть не ниже 0,95.

По результатам испытаний решаются:

- прямая задача по оценке фактической обеспеченности (вероятности) нормативных пределов сопротивлений материалов;
- обратная задача по оценке фактических значений этих пределов для нормативной обеспеченности (95%).

Обе задачи предполагают аппроксимацию эмпирического распределения накопительных частот сопротивления материалов – построение интегральной функции их статистического распределения во всей области существования. Проблема состоит в том, что эмпирические распределения исследуемых выборок не согласуются со стандартными статистическими моделями.

Во-первых, рассматриваемые эмпирические распределения сопротивления материалов имеют ограниченную область рассеяния на положительной полуоси значений с заметным влиянием краевых эффектов, не учитываемых стандартными распределениями;

Во-вторых, на истинное распределение изучаемого свойства накладывается методическое рассеяние, складывающееся из ошибок:

- классификации и систематизации данных по номенклатуре многочисленных видов проката;
- измерений механических свойств;
- частот в интервалах группирования, вызываемых ограниченностью объемов выборок.

Для построения подходящей математической модели использована возможность представления любой функции плотности вероятностей, как конечного состояния соответствующего случайного непрерывного процесса без последствия, и выполнения для него второго дифференциального уравнения А.Н. Колмогорова.

Рассеяние исследуемых значений механических свойств можно представить, как итог последовательности множества небольших случайных слабосвязанных отклонений относительно нормативной величины прочности, присущей данному материалу, т.е. как конечное состояние стохастического процесса броуновского типа.

Для стохастического процесса броуновского типа общее выражение второго дифференциального уравнения Колмогорова упрощается и сводится к дифференциальному уравнению теплопроводности. Поэтому для построения функции плотности вероятностей на интервале положительной полуоси можно воспользоваться решением задачи о распределении температур в стержне, ограниченном с обоих концов.

Решение представляет собой ряд Фурье, коэффициенты которого определяются обычно из начальных температур. В нашем случае коэффициенты ряда Фурье находятся из конечного распределения накопления частот. Ряд Фурье допускает наложение и других условий, вытекающих из свойств математической модели распределения случайных величин.

При суммировании ряда Фурье по Фейеру для выборки случайных величин x с размахом сопротивления материала $x_{\max} - x_{\min}$ эмпирическая функция

плотности вероятностей $F'_x(x)$ записывается в виде:

$$F'_x(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n \left\{ \left(1 - \frac{k}{n+1} \right) \left[a_k \cos\left(2\pi k \frac{x-x_{\min}}{x_{\max}-x_{\min}} \right) + b_k \sin\left(2\pi k \frac{x-x_{\min}}{x_{\max}-x_{\min}} \right) \right] \right\}$$

Интегральная функция распределения $F(x)$ также является рядом Фурье с дополнительным линейным членом:

$$F(x) = \frac{a_0}{2}(x-x_{\min}) + \frac{x_{\max}-x_{\min}}{2\pi} \sum_{k=1}^n \left\{ \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{n+1} \right) \left[a_k \sin\left(2\pi k \frac{x-x_{\min}}{x_{\max}-x_{\min}} \right) - b_k \cos\left(2\pi k \frac{x-x_{\min}}{x_{\max}-x_{\min}} \right) \right] \right\}$$

В приведенных выражениях $x_{\min}$, $x_{\max}$, a_0 , a_k , b_k и n являются неизвестными константами, определяемыми, исходя из следующего:

- принципов оптимальной аппроксимации и регуляризации;
- свойств математической модели распределения случайных величин;
- относительного квадратичного и равномерного приближения по Чебышеву к эмпирическим накопительным частотам.

Увеличение наибольшего номера гармоник n и числа параметров модели повышает формальную точность приближения к эмпирическим данным. Но слишком хорошее приближение к эмпирическим данным, ограниченным по объему и осложненным случайными мешающими факторами, не обеспечивает адекватности искомому истинному распределению сопротивления материалов.

При ограниченном объеме выборки m среднеквадратичная погрешность $\delta(x)$ накопительных эмпирических частот в интервалах с серединой x оценивается по формуле стандарта биномиальных вероятностей

$$\delta(x) = \sqrt{\frac{(1-F(x))F(x)}{m}}$$

и при m от нескольких десятков до нескольких сот достигает сотых долей.

Погрешность измерения x при относительной величине около 1% вносит в накопление эмпирических частот ошибку $dF(x)$, оцениваемую по формуле

$$dF(x) = \pm 0,01 x F'_x(x)$$

и также достигает сотых долей.

Суммарная среднеквадратичная погрешность накопительных эмпирических частот зависит от объема выборки и колеблется в пределах сотых долей. Ее удвоенное значение может рассматриваться как максимальное, вероятность превышения которого, оцениваемая по критерию Колмогорова значимо превышает величину 5%, обычно принимаемую, как допустимую.

Формально точное приближение накопительных эмпирических частот, осложненных указанными погрешностями, включало бы их влияние. Более того, добавляемые для повышения точности гармоник высокого порядка делали бы аппроксимирующую интегральную функцию нерегулярной. Совпадая с эмпирическими частотами в заданных точках, она приобрела бы между ними колебательный характер, стала неустойчивой.

Цель аппроксимации – в минимизации расхождений не с эмпирически-

ми данными, а с искомым распределением в его «чистом» виде (без случайных ошибок). Оптимальное приближение достигается сглаживающей аппроксимирующей функцией, когда ее отклонение от эмпирических данных отвечает их погрешности. Такое оптимальное сглаживание, сводящееся к ограничению наибольшего номера n гармоник, одновременно является регуляризацией ряда Фурье по А.Н. Тихонову с регуляризующими множителями 0 и 1, и обеспечивает приближение модели к эмпирическим данным сообразно их точности.

Практически достаточно хорошее приближение с погрешностями порядка нескольких сотых, удовлетворяющих критерию Колмогорова, достигается с гармониками $k=1, 2, 3$, т.е. при $n=3$, полагаемое оптимальным.

Функция $F(x)$, аппроксимирующая накопление частот, как интегральная функция вероятностей с монотонным возрастанием от 0 до 1, обладает очевидными свойствами:

$$F(x)=0 \text{ при } x=x_{\min} \text{ и } F(x)=1 \text{ при } x=x_{\max}.$$

Подстановка граничных значений в выражение интегральной функции при $n=3$ приводит к уравнениям:

$$9b_1 + 3b_2 + b_3 = 0 \text{ и } a_0/2 = 1/(x_{\max} - x_{\min}).$$

Производная интегральной функции удовлетворяет условию:

$$F'_x(x) = 0 \text{ при } x=x_{\min} \text{ и } x=x_{\max},$$

что приводит к одному и тому уравнению

$$4 + (x_{\max} - x_{\min})(3a_1 + 2a_2 + a_3) = 0.$$

Вторая производная интегральной функции (1), удовлетворяет условию $F''_{xx}(x) = 0$ при $x=x_{\min}$ и $x=x_{\max}$, откуда следует, что $3b_1 + 4b_2 + 3b_3 = 0$.

Эти уравнения позволяют найти 4 коэффициента ряда Фурье:

$$a_0/2 = 1/(x_{\max} - x_{\min})$$

$$a_3 = -4/(x_{\max} - x_{\min}) - 3a_1 - 2a_2$$

$$b_2 = -24b_1/5$$

$$b_3 = 27b_1/5$$

На модель и ее параметры накладываются очевидные ограничения:

- нижняя граница области рассеяния $x_{\min} \geq 0$, но не превосходит минимальной величины сопротивления материала в выборке;
- верхняя граница области рассеяния $x_{\max}$ не должна быть меньше максимальной величины сопротивления материала в выборке;
- все рассчитываемые значения функции плотности вероятностей $F'_x(x) \geq 0$;
- интегральная функция вероятностей $F(x)$ монотонно возрастает от 0 до 1.

Логично потребовать, чтобы математические ожидания, рассчитываемые по аппроксимирующим (M) и эмпирическим (M_e) частотам, не имели статистически значимых расхождений, превышающих по абсолютной величине удвоенную погрешность оценки. Математическое ожидание случайных величин, подчиняющихся аппроксимирующей функции плотности вероятностей, определяется интегралом:

$$M = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} x F'_x dx = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}.$$

Следовательно, с точностью оценки по эмпирическим данным математического ожидания выполняется уравнение:

$$x_{\max} + x_{\min} = 2M \approx 2M_0, \text{ т.е. } x_{\max} \approx 2M_0 - x_{\min}.$$

Значимость оценок параметра $x_{\max}$ подтверждается величиной 0,9998 коэффициента корреляции независимо определенных $x_{\max} + x_{\min}$ с эмпирическими математическими ожиданиями в ряде выборок.

Уравнение регрессии по этим выборкам

$$x_{\max} = 2,046M_0 - 29,998 - x_{\min}$$

позволяет исключить $x_{\max}$ из числа искомых параметров.

Определение 4-х параметров модели (a_1 , a_2 , b_1 и $x_{\min}$), остающихся неизвестными, выходит за рамки численного гармонического анализа, поскольку $x_{\min}$ входит в функции $F(x)$ и $F'_x(x)$ нелинейно, как аргумент тригонометрических функций. Поиск значений таких параметров, минимизирующих расхождение эмпирических и аппроксимирующих частот при обсуждаемых ограничениях, является оптимизационной задачей нелинейного программирования.

Целевой функцией является минимизируемая мера расхождения эмпирических частот с аппроксимирующими значениями, которые рассчитываются с искомыми параметрами.

В качестве мер расхождения, используемых в целевой функции, брались принятые в математической статистике:

- максимальное абсолютное расхождение, минимизируемое при равномерном приближении по Чебышеву с вероятностной оценкой по λ -критерию Колмогорова;
- сумма относительных квадратов расхождений частот с вероятностной оценкой по χ^2 -критерию Пирсона.

Для решения задачи нелинейного программирования использовалась встроенная процедура поиска решений в электронной таблице Excel.

Компьютерный подбор параметров с графической визуализацией приближений и численных значений мер расхождения велся в интерактивном режиме путем многократных повторений процедуры поиска решений с разными целевыми функциями, что обеспечивало последовательное приближение к подходящей аппроксимирующей функции.

На основе математического моделирования статистических распределений сопротивления материалов – интегральных функций, аппроксимирующих накопления эмпирических частот, оценивались фактическая обеспеченность нормативных пределов сопротивлений материалов и их фактических значений для нормативной обеспеченности (95%).

Аппроксимирующая интегральная функция распределения, определяемая по эмпирическим накопительным частотам, несущим указанные погрешности, дает некоторое приближение к неизвестным истинным вероятностям.

Можно показать, что при расхождении аппроксимирующей функции с

эмпирическими накопительными частотами, равном их погрешности, достигается идеальное приближение к неизвестным истинным вероятностям.

Фактические расхождения строго не удовлетворяют этому требованию, в силу дискретности структуры аппроксимирующей функции (числа членов в ней), некоторой неоднозначности подбора параметров (алгоритма решения задачи нелинейного программирования) и самого принципа аппроксимации, предполагающего минимизацию расхождения, а не приведение его к заданному уровню, который к тому же для каждой выборки априорно не известен. Т.е. фактические расхождения в одних случаях больше, а в других – меньше погрешностей накопительных частот, обуславливая отклонения аппроксимирующих интегральных функций от неизвестных функций истинных вероятностей.

Таким образом, апостериорное распределение фактических максимальных расхождений аппроксимирующих функций с эмпирическими накопительными частотами включает составляющую, связанную с максимальными погрешностями приближений к неизвестным функциям истинных вероятностей. Эти погрешности ($\pm \varepsilon$) зависят от объема выборок m и выражаются эмпирической формулой

$$\varepsilon \approx \pm \frac{0,21}{\sqrt{m}}$$

В области интересующих нас гарантируемых минимумов по пределам текучести и прочности при $F(x) \approx 0,05$ эта погрешность снижается вдвое.

Погрешность оценки самих пределов $\pm \sigma$ подсчитывается по формуле:

$$\sigma = \pm 0,5\varepsilon / F'_x(x),$$

где $F'_x(x) \approx 0,005$ в области гарантируемых минимумов по пределам текучести и прочности, и σ не превышает первых единиц МПа.

Таким образом, для статистической обработки выборок с результатами испытаний механических свойств построена математическая модель, учитывающая особенности их распределения и обладающая по сравнению со стандартными функциями более широкими аппроксимирующими возможностями.

УДК 69.002.5-52

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЁТКИХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОМЕХАНИЗИРОВАННЫМИ ОПАЛУБКАМИ

Ходыкин В.В.

На подвижную опалубку, как объект управления, в процессе возведения монолитного здания действует множество возмущающих воздействий [1]. Традиционные методы регулирования не могут обеспечить приемлемое качество управления объектом при резких изменениях возмущающих факторов.

В настоящее время при проектировании систем управления сложных, нелинейных объектов стали применяться математические модели с нечеткой логикой (fuzzy logic system) [2]. В таких моделях нечеткая логика используется

для формализации нечетких понятий с точки зрения их семантики и обеспечивает эффективную обработку качественной информации наравне с четкими, количественными данными. Модель управления не задается явно системой дифференциальных уравнений, а реализуется по нечеткой ситуационной сети, представляющей собой взвешенный граф переходов по эталонным ситуациям в зависимости от исходной информации и целевой задачи.



Рис.1. Блок-схема нечеткой модели управления высокомеханизированной опалубкой

Структура нечеткой модели управления подвижной опалубкой представлена на рис 1.

Правильность возведения монолитного сооружения определяется отклонением центра здания (опалубки) от вертикали и его производные – угол крена опалубки и кривизна траектории центра сооружения, как функции времени.

Блок фаззификации, на основе поступившей на его вход информации от лазерного устройства автоматического контроля отклонений, строит формализованное описание ситуации, возникшей на объекте управления.

В блоке выводов управляющих воздействий осуществляется переход от внутренней формы задания управляющих решений к внешней форме. Для нормального функционирования система управления задается набором нечетких ситуаций, описывающих возможные состояния объекта управления с помощью множества термов (лингвистических переменных) $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$. Термы имеют градуированные значения (отрицательное очень большое, отрицательное большое, отрицательное среднее, отрицательное малое, нуль, положительное малое, положительное среднее, положительное большое, положительное очень большое), соответствующие физическим величинам измеряемых параметров. Для формирования нечеткой сети моделируется переход объекта из ситуации в

ситуацию, при этом выявляется множество нечетких продукционных правил $PR = \{pr_1, pr_2, \dots, pr_n\}$, возможных на данном объекте управления. Управляющие решения задаются в виде отношений «если – то» по значениям лингвистических переменных.

Преобразованные в блоке дефаззификации управляющие сигналы подаются на электрические датчики уровня гидростатической системы нивелирования опалубки для коррекции ее положения.

Работа нечеткой системы управления подвижной опалубкой моделировалась в интерактивной математической системе MATLAB с использованием специализированных пакетов SIMULINK и FAZZY LOGIC TOOLBOX. Результаты отклика системы управления опалубкой с нечетким регулированием на единичные скачки возмущающих воздействий показали монотонность и устойчивость переходных процессов.

Использование нечетких моделей управления подвижными опалубками позволяет получить качественный переходный процесс без громоздких вычислительных процедур при небольшой стоимости создания системы управления.

Литература

1. Булгаков А.Г., Воробьев В.А., Попов В.П. Автоматизация монолитного строительства. – М.: Изд-во секции «Строительство» Российской инженерной академии, 2000. – 107 с.
2. Бакулин Е.П., Кореньков Д.И., Пивкин В.Я. Нечеткие множества в системах управления. – эл. изд.: [http:// idisys.iae.nsk.su/fuzzy_book/](http://idisys.iae.nsk.su/fuzzy_book/)

306000 г. Н.Новгород, ул. Ильинская 65, ННГАСУ, VI корп., каф. ТСП, т. (8-312)30-17-74, e-mail: alex@nngasu.da.ru

УДК 681.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СРЕДАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ САПР

Кавжарадзе В.В.

В настоящее время быстрыми темпами развиваются новые телекоммуникационные технологии, самой передовой из которых является мировая компьютерная сеть Internet. Использование Internet коснулось практически всех областей человеческой деятельности. Не исключением является и разработка САПР, ориентированных на сетевую интеграцию. Исходя из перспективы для САПР, Internet – это идеальный механизм для облегчения совместного проектирования и обмена информацией в реальном масштабе времени. Преимущества такого подхода очевидны (на примере использования распространенной САПР AutoCAD 14/2000 фирмы Autodesk) – это возможность:

- просматривать (AutoCAD drawing) DWG- или (Drawing Web Format) DWF-файлы САПР, не имея ее локально инсталлированной версии;
- открывать, использовать и сохранять САПР-проекты из на Web;
- вкладывать Uniform Resource Locator (URL) внутрь САПР-проектов;
- использовать новый, сильно сжатый DWF-формат файлов проекта;

- оперативно обмениваться и получать информацию в режиме реального времени.

Сказанное позволяет сделать вывод о перспективности разработки САПР-ориентированных приложений для использования в сети, особенно в условиях современного строительства, где особую важность приобретает масштаб и оперативность организации информационных потоков. Действительно, в масштабах нашей страны сбор и обработка различного рода строительной информации может стать проблемой из-за несовместимости прикладного программного обеспечения, используемого при разработке различных проектов, возможной значительной удаленности центров по сбору информации от объектов, отсутствия необходимого аппаратного и программного обеспечения для сбора информации путем интеграции в используемые САПР, а так же не соответствие его уровня требуемому. В этом случае решением на начальном этапе может служить использование при сборе информации форматов файлов, поддерживающих сетевую передачу данных и возможность просмотра без инсталлированного программного обеспечения на основе средств сети Internet. Одним из таких форматов данных (еще не совершенным, но несомненно ориентированным на полную сетевую САПР-интеграцию) является Drawing Web Format (DWF), использование которого в формировании информационного обеспечения САПР на стадии сбора данных о строительном объекте может дать следующие преимущества:

- независимость от приложения: поскольку DWF-файлы имеют обобщенный двухмерный векторный формат, а не используют детали структуры данных специфического приложения, DWF обеспечивает независимость от приложения;

- совместимость: DWF-файлы обеспечивают совместимость посредством установки общего, расширяемого синтаксиса для обмена двухмерными графическими данными между приложениями, которые генерируют рисунки, и приложениями для просмотра, которые читают DWF-файлы;

- простота: с помощью гибкого синтаксиса, требующего минимальной информации для простых случаев, при разрешении постепенного расширения информации, необходимой для описаний более сложных рисунков, DWF поддерживает простоту;

- устойчивость к ошибкам: полностью поддерживаемые средства формата DWF включают отрезки, полилинии, многоугольники, полitreугольники, маркеры, образы, круги, дуги, клинья, эллипсы, кривые Безье, текст, видимость, оттенение Гуро, отображение текстуры, 31-разрядную точность данных, управление слоями, управление просмотром, усеченные регионы, переменную прозрачность и международные наборы символов;

- расширяемость: DWF предоставляет возможность расширения посредством использования механизмов, встроенных в спецификацию, и через набор правил для считывающих DWF-файлы программ, которые учитывают непредвиденные расширения;

- компактный размер: особенно важно для передачи через Internet то, что DWF располагает методом сжатия данных, который минимизирует дубли-

рование геометрической информации;

- механизм вставки: DWF включает в себя механизм для присоединения данных любого вида (с помощью накладки связи или операции вложения) к этому формату;

- поддержка URL-гиперсвязи: DWF поддерживает вложение URL-гиперсвязей для World Wide Web в данные проекта.

Формат DWF разработан для эффективного просмотра данных САПР-информации на Web (электронный чертеж). DWF не предназначен для обмена данными с более высоким уровнем между приложениями. DWF – это формат файла для стандартизированного описания двухмерных, базированных на векторах САПР-информации и иллюстраций. Web-формат представления графической информации был разработан потому, что имеющиеся на данный момент широко распространенные стандарты двухмерных векторных файлов не учитывают потребности используемого Internet-приложения и, кроме этого, существующие коммерческие форматы тесно привязаны к специфическим, защищенным авторским правом, структурам данных для поддержки обмена иллюстрациями между системами. Изначально Web-формат САПР-информации был разработан для следующих целей:

- архивирование рисунков в легко доступном и независимом от приложения формате;

- передача САПР-информации на разнообразные носители, особенно World Wide Web для Internet;

- открытый обмен САПР-информацией между DWF-генерирующими и DWF-просматривающими приложениями;

- возможность пользователям графических приложений самим публиковать свою работу на World Wide Web и добавлять функциональные возможности к САПР-информации посредством вкладки URL.

Несмотря на то, что DWF формат не предназначен быть форматом САПР-файла, используемым для создания технической документации в явном виде, а скорее служит для ее опубликования, передачи и хранения, его использование несомненно перспективно. Следует отметить, что формат DWF не вытесняет формат DWG. Не следует забывать, что DWF, при всех его достоинствах подобен файлу электронного чертежа, содержащему лишь информацию, необходимую для передачи визуального представления чертежа и элементов проекта. DWG-файлы содержат большой объем графических данных (объектные взаимосвязи, расширенные данные примитивов (x-данные), стили и т.п.) с несравненно более высоким порядком точности. Оба формата занимают соответствующее место как в практике автоматизированного проектирования, так и на Web. Просмотр и использование DWF-файлов может рассматриваться важным инструментом для передачи графической информации на Internet. DWG-файлы представляют собой неотъемлемые компоненты любой корпоративной внутренней сети, без использования которых в настоящее время сложно представить полноценных процесс автоматизации проектирования.

Размещение элементов информационного обеспечения САПР в мировой компьютерной сети позволяет одновременно организовывать информационные

потки как числовой и текстовой, так и графической информации, используя все преимущества визуализации данных. Информационное общение посредством сети снимает ограничения на месторасположение банков данных и их структуру. Сетевая интеграция САПР-приложений имеет следующие преимущества:

- возможность работы над несколькими независимыми проектами для одного или нескольких пользователей;
- большое число пользователей;
- возможность одновременной работы с информационными комплексами и над проектом нескольких пользователей;
- отсутствие требований к специализированному программному обеспечению и аппаратной поддержке на задействованных в процессе проектирования рабочих станциях;
- возможность работы на персональных компьютерах с минимальной конфигурацией и отсутствием свободного пространства на жестком диске;
- минимальные требования к общей компьютерной грамотности для пользователей;
- дружественный интерфейс в стандартном сетевом исполнении.

Кроме перечисленных преимуществ появляется возможность использовать развернутые средства поиска необходимой информации и интеграцию стандартных средств и форматов запросов к базам данных, например SQL.

113114 г. Москва, Шлюзовая набережная 8, МГСУ, кафедра САПР, тел.: (095) 235 9110

УДК 681.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИКАЛЬНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОПУТСТВУЮЩИХ ЗАДАЧ

Волков А.А.

В настоящее время в отрасли строительства активно используется широкий спектр информационных и вычислительных систем, ориентированных на полную или частичную автоматизацию процессов проектирования, организации и управления строительным производством на всех стадиях. Наиболее распространенными из них являются системы автоматизированного проектирования (САПР) и автоматизированные системы управления (АСУ).

В силу того, что идеология САПР и АСУ сформирована достаточно давно, рынок наполнен программными продуктами, которые в той или иной степени обеспечивают эффективное решение задач проектирования и управления в строительстве. Однако в большинстве случаев область практического применения САПР и АСУ значительно ограничена именно этой сформированной идеологией.

В то же время существует определенный круг задач, решению которых в последнее время уделяется все большее внимание в силу переориентации всех процессов архитектурно-строительного проектирования и производства на ка-

чественно уровень создания экологически благополучных и безопасных зданий и сооружений. Это направление, различные аспекты которого неоднократно освещались в специализированной литературе, получило собирательное название "дом будущего" или "интеллектуальное жилище".

Концепция "интеллектуального жилища" представляет собой совокупность самых современных научных и инженерных разработок в области проектирования, возведения и эксплуатации зданий и сооружений. Следует сразу оговориться, что многие аспекты концепции интеллектуального жилища в той или иной степени применимы не только в гражданском, но и в промышленном и специальном строительстве.

Эффективность использования информационных систем для решения подобных задач прямо пропорциональна адекватности информационного обеспечения процессов их моделирования.

Рассмотрим, например, следующее направление в создании "интеллектуального жилища" – его безопасность в условиях чрезвычайных ситуаций.

В силу ряда техногенных и социальных причин, трудно переоценить значимость научных и инженерных разработок в области обеспечения безопасности жизни и здоровья человека, жилище которого подвержено широкому набору внешних возмущений, некоторые из которых и являются чрезвычайными ситуациями. Многие опубликованные в последнее время работы, так или иначе затрагивающие темы безопасной эксплуатации зданий и сооружений, представляют объективное подтверждение этого тезиса [1–4].

Концепция создания интеллектуального жилища неразрывно связана с вопросами автоматизации целого ряда процедур, направленных на обеспечение безопасности строительного объекта. Очевидно, что традиционный подход к решению этих вопросов оказывается в большинстве случаев неприемлем в силу его ориентации на т.н. *пассивную* безопасность зданий и сооружений, когда минимизация негативных последствий внешнего вмешательства в динамику возмущения находит отражение лишь в заблаговременном усилении несущих конструкций, изменении схем фундаментов, использовании нестандартного остекления и т.д.

Следовательно, единственно приемлемым способом достижения значительного прогресса в области недопущения или минимизации негативных последствий внешнего возмущения в жилых зданиях является разработка *систем активной безопасности объектов строительства* (САБОС) на методологическом уровне системотехнического проектирования и их широкое практическое применение при строительстве зданий и сооружений.

Следует еще раз оговориться, что эффективность практического применения подобных систем напрямую зависит от информационного обеспечения САБОС, что в свою очередь будет определяться развитием еще одного направления научно-исследовательских разработок, составляющих концепцию проектирования интеллектуального жилища – комплексного и тематического мониторинга конструктивных элементов объекта, а также процессов, так или иначе влияющих на состояние их устойчивого равновесия. Взаимосвязь этих компонентов также отражена на рисунке.

Кроме того, проблемой может стать бесконечное разнообразие проектов, на основе которых возводится тот или иной жилой комплекс, а в ряде случаев – их низкая адекватность или полное отсутствие. В связи с этим важное значение принимает наличие проектной информации в электронном виде, ее форматное представление, актуальность и доступность в момент чрезвычайной ситуации.

Концепция построения интеллектуального жилья предусматривает также автоматизацию ряда вспомогательных процессов. Например, необходимо постоянно контролировать целый ряд параметров, определяющих микроклимат: температуру, влажность, наличие и концентрацию агрессивных сред и субстанций, загазованность, загрязненность воздуха, высоко- и низкочастотные излучения, радиационный фон, акустическую нагрузку, освещенность и др. При отклонении одного или нескольких перечисленных параметров от заданного значения на величину, большую допустимой, САБОС аналитически принимает некоторое решение и на его основе выполняет некоторое действие или их набор для нормализации ситуации. В большинстве случаев такие действия должны выполняться автоматически, без привлечения внешней помощи и информирования обитателя жилища (который, впрочем, может получить информацию обо всех мгновенных действиях САБОС в любой момент времени или воспользоваться архивом компьютера, управляющего действиями такой системы). Однако, в исключительных случаях (радиационная опасность, превышение предельно допустимых концентраций вредных или отравляющих веществ в воздухе, опасные высоко- и низкочастотные излучения и др.) САБОС, кроме перечисленных действий, информирует обитателя жилища и аварийные службы через специальную систему оповещения или дистанционно (по каналам пейджинговой или сотовой связи).

Таким образом, с одной стороны – решение новых задач тесно связано с необходимостью создания уникального программного обеспечения, организацией его информационного наполнения и внедрения в практику строительного производства; с другой – существующие комплексы САПР и АСУ уже содержат полную информацию о возводимом объекте и широко используются. Естественный вывод из сказанного – интеграция решений новых задач в реальные САПР и АСУ – находит подтверждение в появлении многочисленных "программ-надстроек" к существующим программным продуктам. Однако уровень такой интеграции должен быть качественно другим. Дело в том, что при всех плюсах использования подобных "программ-надстроек", они, по сути, являются внешними по отношению к применяемому комплексам САПР или АСУ. Это порождает многочисленные проблемы аппаратно-программной совместимости, универсальности и эффективности применения таких систем. Более логичным представляется интеграция "программ-надстроек" "внутри" комплексов САПР и АСУ, т.е., например анализ применяемых строительных материалов на предмет их безопасности должен осуществляться в комплексе с принимаемыми конструктивными решениями уже на стадии автоматизированного проектирования объекта в САПР. Преимущества такого подхода очевидны [4]. Вот лишь некоторые из них: информационная совместимость на уровне проколов обмена данными и интерфейсов; возможность использования подсистемами вычисли-

тельных ресурсов базовых комплексов; взаимная интеграция подсистем; возможность ранней диагностики оптимальности и различных аспектов безопасности сочетаний строительных материалов и конструктивных решений; сравнительно низкая стоимость разработки программного обеспечения и другие.

Сказанное позволяет сделать вывод о перспективности изложенного подхода, который уже сегодня находит практическое применение.

Литература

1. Volkov A.A. Aktive Sicherheit von Bauobjekten in aussergewöhnlichen Situationen // IKM 2000, ABSTRACTS: PROMISE AND REALITY. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2000. – S. 49.
2. Волков А.А. Активная безопасность строительных объектов в условиях чрезвычайной ситуации // Промышленное и гражданское строительство. – 2000. – №6. – С. 34-35.
3. Волков А.А. Элементы активной безопасности строительных объектов в условиях чрезвычайных ситуаций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 1999. – № 7–8. – С. 10-11.
4. Волков А.А. Эффективное использование уникального информационного обеспечения САПР и АСУ в строительстве // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – № 1. – С. 19.

113114 г. Москва, Шлюзовая набережная 8, МГСУ, кафедра ИСТУС, тел.: (095) 235 8958, e-mail: volkov@faust.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Воронцов Г.В., Федий В.С., Резниченко А.И. Экспериментально-теоретический метод коррекции параметров математической модели высотных сооружений	4
Воронцов Г.В., Бузало Н.А. Математические модели висячих, вантовых и комбинированных конструкций.....	9
Воронцов Г.В., Федий В.С. Моделирование систем гашения колебаний высотных сооружений.....	18
Зарифьян А.З., Алексеев С.А., Петров И.А., Шкураков В.Л. Математическая модель упругопластических тонкостенных стержней открытого профиля и оптимизация параметров сечений элементов металлических конструкций	28
Артемов А.В. Расширение возможностей моделирования в ArchiCAD. Согласование ArchiCAD с SCAD (ЛИРА)	36
Архипенко В.А. Методика и оборудование для моделирования совместной работы системы «фундамент – песчаное основание»	38
Юношев Н.П. Моделирование воздействия инженерно-экологических факторов на состояние подземной части сооружений при подтоплении грунтовыми водами	40
Хамудисова И.Б., Каплан В.Е. Статистические модели механических свойств металлопроката, используемого в строительных конструкциях	43
Ходыкин В.В. Применение нечетких моделей в системах управления высокомеханизированными опалубками	48
Кавжарадзе В.В. Использование новых коммуникационных технологий в средах строительных САПР	50
Волков А.А. Использование уникального информационного обеспечения строительства для моделирования сопутствующих задач	53

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства
Материалы международной научно-практической конференции
Часть 1

Технический редактор: Чебанов И.Р.

ЛР № 020417 12.02.1997 г. Подписано в печать 08.05.2001 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.
Печ. л. 3,5. Тираж 100 экз. Заказ 01/12.

Учебно-производственный центр «Набла»
Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)
346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ.
ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

Материалы
международной научно-практической
конференции

11 апреля 2001 года
г. Новочеркасск

Часть 2

Новочеркасск 2001

УДК 519.688
ББК 65.050
М 74

Организаторы конференции:

Министерство образования Российской Федерации;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Горбатенко Н.И., профессор (РФ) – председатель;
Бахвалов Ю.А., профессор (РФ);
Вурмус Г., профессор (ФРГ);
Загороднюк В.Т., профессор (РФ);
Йегер Г., профессор (ФРГ);
Калленбах Е., профессор (ФРГ);
Ланкин М.В., доцент (РФ) – зам. председателя;
Никитенко Н.Ф., профессор (РФ);
Плаксин В.А., доцент (РФ);
Савельев М.В., профессор (РФ);
Чернов В.Н., профессор (РФ).

Редакционная коллегия:

Горбатенко Н.И. – ответственный редактор;
Плаксин В.А. – зам. ответственного редактора;
Ланкин М.В.

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы междунар.
науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 11 апреля 2001 г.: В 8 ч. / Юж.-Рос.
гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2001. –
Ч. 2. – 56 с.
ISBN 5-88998-266-4

Тексты докладов помещены в сборник, включающий 8 частей. Часть 2 содержит
доклады о математическом моделировании социальных и экономических процессов.
Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 519.688 :33 :303.09

ISBN 5-88998-266-4

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2001
© Авторы, указанные в оглавлении, 2001

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) — крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные международные научно-технические контакты, — выступил инициатором проведения ряда международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе INTERNET.

В апреле 2001 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие представители вузов Москвы, Минска, Тирасполя, Санкт-Петербурга, Тулы, Днепропетровска, Новгорода, Екатеринбурга, Тамбова, Владикавказа, Омска, Томска, Новочеркасска и других городов России и ближнего зарубежья. На конференцию представлено 164 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из восьми частей. Каждая часть содержит материалы по одному или нескольким научным направлениям.

Первая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию в строительстве.

Во вторую часть вошла первая половина статей о математическом моделировании социальных и экономических процессов.

Третья часть содержит вторую половину докладов о математическом моделировании социальных и экономических процессов, а также статьи, посвященные физическому моделированию в науке и технике и учебно-методическим вопросам преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Четвертая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию технологических процессов.

Пятая часть содержит статьи о математических моделях в энергетике, электромашиностроении, химии и металлургии.

В шестую часть вошли доклады, посвященные математическим моделям в медицине, биологии и экологии, а также математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем.

Седьмая часть включает доклады, освещающие общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений.

Восьмая часть содержит статьи о математических моделях в теплотехнике и гидравлике, в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, и с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВОЙ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Арженовский С.В.

1. Математическая модель механизма финансирования. Анализ различных финансовых систем - достаточно сложный процесс. В частности, детали финансового механизма высшего образования в общем случае зависят от: правовой системы и ее взаимодействия с федеральными и региональными системами налогообложения; распределения доходов населения; способа налогообложения доходов; расходов населения; и других факторов, таких, как занятость, место постоянного проживания и т.д. Для простоты абстрагируемся от указанных элементов, чтобы сконцентрировать внимание, прежде всего на связи системы финансирования с распределением доходов населения.

Предлагается следующая модель [1]. Экономика состоит из континуума агентов, совокупность которых нормирована к единице, с идентичными предпочтениями по личному потреблению благ c и по образованию детей q :

$$u(c)+v(q), \quad (1)$$

где u и v являются возрастающими и вогнутыми функциями с $u'(0)=v'(0)=\infty$. Для калибровки модели необходимо определить вид функций предпочтения. Предположим, что они будут степенными:

$$\frac{c^\alpha}{\alpha} + A \frac{q^\gamma}{\gamma}, \quad A>0, \alpha<0, \quad (2)$$

что не нарушает общности. Агенты согласно предположениям отличаются только по значениям совокупного дохода y_i . Кумулятивное распределение дохода описывается функцией $F(y)$, со средним μ предположительно больше, чем медиана дохода $\tilde{y}$, то есть $F(\mu)>0,5$. Количество или качество образования, полученного ребенком, определим только как функцию расходов (E) на одного студента (N), которую примем в виде:

$$q = \frac{E}{N}. \quad (3)$$

Предположим, далее, что характеристики родителей не влияют на качество образования. Ограничимся рассмотрением пропорционального налогообложения доходов. Пусть регионы состоят из индивидов с одинаковым уровнем дохода, и не предполагается каких-либо различий на уровне регионов по предпочтениям в потреблении благ и образовании. Каждый регион i поэтому связан с уровнем дохода y_i . Предполагаем, что все учащиеся посещают вузы в регионе, в котором они живут. Рассматриваемые ниже механизмы финансирования требуют определения некоторых переменных федерального уровня. Однако изменение предпочтений между индивидами на уровне регионов не учитывается, так как не подразумевается каких-либо различий в переменных регионального уровня. На федеральном уровне, однако, различные агенты имеют различные предпочтения. Предполагаем, что имеется возможность фиксации процесса

отображения гетерогенных предпочтений в агрегированный выбор, который определяется простым большинством предпочтений.

Локальная система финансирования (ЛФ). Система без перераспределения денежных средств. Хотя ни одно государство сейчас не применяет в чистом виде ЛФ в образовании, нам интересна концепция этой системы. В локальной системе финансирования каждый регион выбирает ставку налога t_i для определения общей суммы расходов на образование. То есть:

$$q_i = t_i y_i, \quad (4)$$

$$c_i = (1 - t_i) y_i,$$

$$\text{где } t_i \text{ находится из условия: } \max_{t_i} \{u((1 - t_i) y_i) + v(t_i y_i)\}. \quad (5)$$

То есть, величина налоговой ставки t_i для каждого региона удовлетворяет необходимому условию:

$$-u'((1 - t_i) y_i) + v'(t_i y_i) = 0, \quad (6)$$

где приравнивается предельная полезность от потребления благ к предельной полезности от образования.

Государственная система финансирования образования (ГФ). Противоположностью ЛФ является государственная система финансирования. ГФ предполагает, что все регионы получают одинаковую на душу населения сумму на высшее образование и используют только эти средства. Фактически это эквивалентно системе с одним регионом. Система предполагает распределение финансовых ресурсов поровну между всеми агентами. Расходы на образование составляют пропорциональную часть τ_s доходов, так что:

$$q_i = q = \tau_s \mu, \quad (7)$$

$$c_i = (1 - \tau_s) y_i.$$

Предполагаем, что τ_s предпочитает большинство агентов. Определим условие выбора τ_s каким-либо индивидом:

$$\max_{\tau_s} \{u((1 - \tau_s) y_i) + v(\tau_s \mu)\}, \quad (8)$$

удовлетворяя необходимому условию:

$$-u'((1 - \tau_s) y_i) + v'(\tau_s \mu) = 0. \quad (9)$$

Как видно из (9) при ГФ относительная цена образования изменяется от 1 до y_i/μ , т. е. увеличивается с доходом. Заметим, что индивидуальные предпочтения имеют экстремум в τ_s , гарантируя существование равновесия, которое предпочитается большинством индивидов. Таким образом, равновесная ставка образовательного налога должна удовлетворять (9) для агента с медианным уровнем доходов, то есть, $y_i = \tilde{y}$. Агенты с доходом ниже, чем $\tilde{y}$ предпочтут ГФ систему по сравнению с ЛФ, поскольку получают большие значения q , чем позволяют их низкие доходы. Это, однако, не означает, что такие агенты получают материальный выигрыш при ГФ, так как агент с доходом $\tilde{y}$ довольствуется нормой налога согласно собственным (высоким) предпочтениям, чем, учитывает предпочтения малообеспеченных индивидов. Агенты с медианным доходом $\tilde{y}$, и в силу предполагаемой непрерывности, агенты в некотором интервале вокруг $\tilde{y}$, будут выигрывать материально. Все индивиды с доходом выше, чем средний,

будут проигрывать при ГФ по сравнению с ЛФ, поскольку получают меньше средств, чем позволяют их материальные возможности.

Система фондового финансирования (ФФ). ФФ система – естественный механизм для случаев, когда необходимо гарантировать получение определенного стандартом минимума образования для всех граждан. В этой системе требуемая для регионов налоговая ставка находится на минимально возможном уровне τ_f , и гарантирует базовые расходы на студента – f . Предположим, что ставка τ_f используется для определения размера дотации, так что: $f = \tau_f \mu$. В отличие от ГФ системы, регионы могут увеличивать расходы на образование дальнейшим налогообложением доходов. Обозначив соответствующую ставку налога t_i , получим:

$$\begin{aligned} q_i &= f + t_i y_i = \tau_f \mu + t_i y_i, \\ c_i &= (1 - \tau_f - t_i) y_i. \end{aligned} \quad (10)$$

Так же как и в ГФ, ставка налога τ_f (то есть, уровень дотационной поддержки) выбирается большинством голосов. Этот выбор осуществляется в два этапа. Сначала на федеральном уровне определяется ставка τ_f , а затем регионы выбирают свои t_i . Учитывая широкий интервал изменения федеральной налоговой ставки τ_f , региональная ставка определяется как:

$$\max_{t_i} \{u((1 - t_i - \tau_f) y_i) + v(\tau_f \mu + t_i y_i)\}, t_i \geq 0, \quad (11)$$

удовлетворяя необходимому условию:

$$-u'((1 - t_i - \tau_f) y_i) y_i + v'(\tau_f \mu + t_i y_i) y_i \leq 0, \quad (12)$$

со строгим равенством для $t_i > 0$.

Находим τ_f как предпочитаемую агентами налоговую ставку в зависимости от дохода, то есть:

$$\max_{\tau_f} \{u((1 - t_i(\tau_f) - \tau_f) y_i) + v(\tau_f \mu + t_i(\tau_f) y_i)\}, \tau_f \geq 0, \quad (13)$$

удовлетворяя необходимому условию: $-u' y_i + v' \mu + (-u' + v') y_i t_i' \leq 0$, с учетом (12) имеем:

$$-u'((1 - t_i - \tau_f) y_i) y_i + v'(\tau_f \mu + t_i y_i) \mu \leq 0, \quad (14)$$

со строгим равенством для $\tau_f > 0$. Заметим, если агенты выбирают $\tau_f > 0$ (т. е. $u' y_i = v' \mu$), то (12) выполняется только для $y_i < \mu$. Так, агенты с доходом больше, чем средний, должны иметь $\tau_f = 0$. Подобный аргумент можно использовать для доказательства, что все агенты с доходом ниже, чем средний имеют $t_i = 0$ (при условии $\tau_f > 0$). Интуитивно понятно, что все агенты с доходом ниже среднего предпочитают финансировать образование полностью через гранты (фактически, τ_f для них такая же, как и в ГФ). Это перераспределяет ресурсы от агентов с доходом выше среднего к тем, у кого доходы ниже среднего. Агенты с доходом больше среднего, с другой стороны, предпочитают финансировать образование исключительно посредством регионального налога (т.е., у них $\tau_f = 0$ и тогда t_i такая же, как и в ЛФ). Поскольку для агентов с доходом ниже среднего τ_f такая же, как и в ГФ (и ноль для всех выше среднего), то медианный агент в ФФ имеет доход ниже, чем медианный агент в ГФ. Следовательно, медиана в

ФФ системе - $\tilde{y}_f$ определяется как:

$$F(\mu) - F(\tilde{y}_f) = 0,5. \quad (15)$$

Ясно, что ФФ система дает уровень государственных расходов ниже (т. е., величину грантов) чем ГФ, т. е. $\tau_f < \tau_s$. Это следует из того, что медианный агент ФФ системы имеет доход ниже, чем медианный агент ГФ системы, допуская меньшую ставку налога на средний доход. Таким образом, менее обеспеченные агенты имеют расходы на образование в системе ФФ ниже. Априори однозначно нельзя определить, какая система приводит к выделению больших ресурсов на образование. Для определения, какие агенты будут находиться в равновесном состоянии между грантами и региональными расходами, заметим, что все агенты с доходом ниже, чем $\tilde{y}_f$ предпочтут $t_i=0$. Все агенты с $y_i > \tilde{y}_f$, но меньше, чем некоторый $\hat{y}$, считают τ_f ниже предпочитаемой, тем не менее, не желают дополнить ее ставкой t_i региона (так как для них $u' > v'$). Наконец, все агенты с доходом больше чем $\hat{y}$, предпочтут $t_i > 0$ по (12) со строгим равенством. Уровень доходов $\hat{y}$ определяется как:

$$u'((1 - \tau_f)\hat{y}) = v'(\tau_f \mu), \quad (16)$$

где τ_f определяется по (14) (со строгим равенством) для $y_i = \tilde{y}_f$.

Можно показать [1], что $\hat{y} < \mu$. Какие агенты предпочтут ФФ систему финансирования по сравнению с ГФ и ЛФ? Агенты с доходом ниже $\tilde{y}_f$ (и в некоторой окрестности) предпочтут ФФ перед ГФ. Противоположные предпочтения будут иметь агенты с доходами в некоторой окрестности $\tilde{y}$. Все агенты с доходом больше μ предпочтут ФФ перед ГФ и ЛФ.

Уравнивающая система финансирования с возвратом (УСВ). Неодинаковые ставки региональных налогов в представленных системах финансирования ведут к неравенству в доступности высшего образования. Рассмотрим систему УСВ, в которой налоговая база определяется эндогенно, и все регионы рассчитывают образовательный налог по общей базе (в отличие от системы без возврата). В УСВ каждый регион финансирует образование, облагая налогом собственную базу y_i по некоторой выбранной норме t_i . Суммарные расходы на образование не зависят от региональной налогооблагаемой базы, и определяются уровнем общей налогооблагаемой базы z_R :

$$q_i = t_i z_R. \quad (17)$$

Разность между общей суммой расходов на образование и расходами каждого региона покрывается общефедеральным налогом τ_R . То есть, τ_R должен удовлетворять:

$$\tau_R \mu = \int_i t_i (z_R - y_i) f(y_i) dy_i \quad (18)$$

с потреблением в каждом регионе:

$$c_i = (1 - t_i - \tau_R) y_i. \quad (19)$$

Заметим, что федеральный налог может быть величиной отрицательной, так как регионы с доходом больше, чем z_R (для них $t_i(y_i - z_R) > 0$) способствуют

созданию фондов, потенциально доступных для других регионов. Возникает проблема перераспределения средств этих фондов. Возможен вариант перераспределения средств этих фондов пропорционально доходу y_i . Пусть выбор налоговой ставки t_i не является следствием желания перераспределить доход на потребление, т. е., агенты не выбирают низкое значение налога. Следовательно, полагаем $\tau_R \geq 0$. Как и в случае ФФ системы выбор налоговых ставок осуществляется двухэтапно. На первом этапе, агенты выбирают уровень общей налогооблагаемой базы. На втором этапе, регионы выбирают собственные налоговые нормы. Таким образом, агенты решают следующую проблему максимизации:

$$\max_{z_R, t_i} \{u((1-t_i-\tau_R)y_i) + v(t_i z_R)\} \quad (20)$$

при ограничениях $\tau_R \mu = \int_i t_i (z_R - y_i) f(y_i) di$ и $\tau_R \geq 0$,

удовлетворяя после некоторых преобразований необходимым условиям:

$$-u'((1-t_i-\tau_R)y_i)y_i + v'(t_i z_R)z_R = 0, \quad (21)$$

$$v'(t_i z_R)(-z_R \tau'_R + t_i) \leq 0, \quad (22)$$

где (22) превращается в строгое равенство при $\tau_R \geq 0$.

Первое уравнение дает региональный налог агента для произвольной базы налога. Второе условие дает предпочитаемое значение налогооблагаемой базы агента, удовлетворяя требованию положительности τ_R . Заметим, что (22) предполагает (21) и при вычислении τ'_R используется (18) и (21). Нет гарантии, что предпочтения агентов будут давать один экстремум в z_R . Тем не менее, можно показать, что существует равновесие, определяемое большинством голосов агентов [1]. Для широкого класса спецификаций единственный экстремум относительно z_R такой, что большинство агентов придерживается базы z_R , обеспечивая $\tau_R \geq 0$, будет равен z^* и получается:

$$\int_i t_i (z^* - y_i) f(y_i) di = 0. \quad (23)$$

В [1] показано, что $z^* > \mu$, а также, что: УСВ предпочтительнее для большинства агентов, чем ГФ система; если в равновесии $z_R = z^*$, то УСВ предпочтительнее для большинства агентов, чем ЛФ или ФФ. Хотя большинство агентов предпочитает равновесие $z_R = z^*$ это не то же самое большинство, которое предпочитает z^* в ФФ или ЛФ системе. Заметим, что ФФ система может быть предпочтительнее, чем УСВ для относительно богатых агентов, так как это позволяет им платить налог с собственного дохода (по сравнению с низкой общей налогооблагаемой базой), чтобы получить дополнительные ресурсы на образование по отношению к общему уровню предоставляемых грантов. Агенты с доходом ниже, чем медианный, с другой стороны, могут предпочесть ФФ перед УСВ, несмотря на более низкую налоговую базу и унифицированную ставку, так как федеральная ставка в УСВ может быть слишком велика. Так же из-за величины федеральной ставки в системе УСВ, нельзя доказать, что все агенты с доходом ниже z^* должны предпочесть УСВ локальной системе. В нашей калибровке для широкого интервала значений α равновесие в УСВ модели достигается в $z_R = z^*$ (т. е., $\tau_R = 0$ и имеем (23)). Следовательно, большинство

агентов должны одобрить среди четырех систем финансирования образования УСВ механизм.

Уравнивающая система финансирования без возврата (УСБ). В отличие от предыдущего случая, агенты с доходом больше, чем общая база платят налог с собственного дохода, так, что:

$$q_i = \begin{cases} t_i z_N, & y_i \leq z_N \\ t_i y_i, & y_i > z_N \end{cases}. \quad (24)$$

где z_N – общая налоговая база. Эта система – гибрид между ФФ и УСВ системой. Мы предполагаем, как и в предыдущем случае, что требуемые фонды на образование формируются при федеральном налоге τ_N так, что потребление:

$$c_i = (1 - t_i - \tau_N) y_i \quad (25)$$

и ставка τ_N должна удовлетворять бюджетному ограничению:

$$\tau_N \mu = \int_{y_i < z_N} t_i (z_N - y_i) f(y_i) dy_i. \quad (26)$$

В отличие от предыдущего случая, τ_N является строго положительной величиной для любого $z_N > \underline{y}$, так как агенты с высоким доходом перераспределяют ресурсы на образование, облагая налогом свои доходы, чтобы обеспечить собственное образование. Как и прежде, можно допустить двухэтапный выбор налоговых ставок большинством предпочтений z_N и затем индивидуальный выбор региональной нормы налога. Агенты решают следующую проблему:

$$\max_{z_N, t_i} \{u((1 - t_i - \tau_N) y_i) + v(t_i \max(z_N, y_i))\} \quad (27)$$

$$\text{при ограничении } \tau_N \mu = \int_{y_i < z_N} t_i (z_N - y_i) f(y_i) dy_i.$$

Максимизация по t_i зависит от того, является ли значение z_N большим или меньшим, чем доход агента в регионе. Т.е. необходимые условия экстремума суть:

$$-u'((1 - t_i - \tau_N) y_i) y_i + v'(t_i y_i) y_i = 0, \quad y_i \geq z_N, \quad (28)$$

$$\text{и} \quad -u'((1 - t_i - \tau_N) y_i) y_i + v'(t_i z_N) z_N = 0, \quad y_i < z_N. \quad (29)$$

Однако при максимизации по z_N в общем случае можно получить не один максимум. Даже если функция федерального налога выпукла в z_N , агенты могут иметь локальный максимум в $z_N = \underline{y}$ и в некотором интервале $z_N > \underline{y}$. Таким образом, существование равновесия не гарантируется. Необходимое условие для "внутреннего" максимума для z_N получим после замены (29) на: $v'(t_i z_N) (-\tau'_N y_i + t_i) = 0$, где вычисление τ'_N требует (26), (28) и (29). Легко показать, что τ_N увеличивается с ростом z_N . Можно показать, что большинство агентов предпочтут УСБ систему ЛФ системе. Для одной и той же базы федерального налога $z_N = z_R = z$ ставка федерального налога, требуемая для финансирования образования, больше при УСБ системе, чем при УСВ. Большинство агентов предпочтут УСВ систему перед УСБ при $z_N \geq z_R$, $z_R = z^*$.

2. Эмпирическое сравнение систем финансирования. Проанализируем результаты количественного сравнения пяти рассмотренных систем финан-

сирования образования. Цель состоит в том, чтобы выбрать оптимальную схему финансирования в рамках нашей модели.

Специфицируем распределение доходов индивидов, потребительские предпочтения, а также их возможности по расходам на образование. На основе данных Госкомстата и первичных результатов Российского мониторинга экономического положения и здоровья населения (*RLMS*) за 1995-1996 годы получено распределение доходов населения, представленное в таблице 1.

Таблица 1

Перцентиль	Средний доход, тыс.руб.
0-2	154,2
2-10	327,8
10-20	513,6
20-30	711,0
30-40	921,5
40-50	1185,5
50-60	1452,0
60-70	1786,0
70-80	2397,0
80-90	3562,5
90-98	7059,9
98-100	23635,4

Распределение имеет медиану в 1185,5 тыс. руб., и среднее 2138,1 тыс. руб. Дисперсия натурального логарифма доходов составила 0,822. Мы определили форму модели соотношением (2). Кроме того, дополнительно предположили для ограничения предпочтений агентов $\alpha=\gamma$, то есть, эластичность по доходу равна 1. Мотивацией к этому служат долговременные тенденции в расходах на образование. За 1996-1997 гг. доля расходов на образование в доходе индивидов осталась неизменной. Выберем параметр модели A с учетом "разумной" доли совокупного дохода, расходуемой на образование. Для России по данным *RLMS* доля расходов на образование составляет в среднем 4%. Поэтому

примем $A = 0,04$. При выборе значения α учтем введенное в (2) ограничение $\alpha < 0$. Параметр α фактически представляет собой ценовую эластичность расходов на образование. В обзоре [2] дается диапазон между -2 и -1. Примем $\alpha = -1$. Расчеты проведены с учетом (2) и условий для каждой из систем (4)-(6), (7)-(9), (10)-(16), (17)-(23), (24)-(29). Результаты даны в таблице 2. Подробно дано распределение расходов на образование для различных регионов. Таблица дает полный профиль ресурсов на образование (относительно среднего дохода) региона. Эта информация также представлена на рисунке 1, который иллюстрирует распределение ресурсов образования по группам перцентилей. Кроме того, в табл. 2 указаны: доля совокупного дохода, расходуемого на образование (E/Y); коэффициент вариации расходов среди индивидов (CV); отношение расходов в 95-ом перцентиле к расходам в 5-ом перцентиле (95:5); поперечная эластичность расходов на образование относительно доходов (ε), получаемая как результат регрессии логарифма расходов на образование на константу и логарифм дохода. Значения $z_R = 1,11\mu$, $z_N = 1,35\mu$. Получено $\tau = 0,167$, $\tau_s = 0,137$, $\tau_f = 0,093$, $\tau_N = 0,084$, а также $\tilde{y}_f = 560,00$ тыс. руб., $\hat{y} = 1096,19$ тыс. руб.

Имеется вариация в расходах на образование, как по общей сумме расходов, так и в распределении ресурсов среди агентов. Так, например, система УСБ дает почти в 2 раза больше денежных средств на образование, чем федеральная система. За исключением ГФ системы, которая по определению обеспечивает равные ресурсы всем учащимся, система с наибольшим неравенством - УСБ имеет коэффициент вариации расходов на образование в 9 раз больший, чем УСБ механизм. Заметим, что $\varepsilon=1$ для ЛФ системы. При ЛФ системе гомо-

Таблица 2

Перцентиль	ЛФ	ГФ	ФФ	УСВ	УСБ
0-2	0,0014	0,0156	0,0045	0,0058	0,0073
2-10	0,0029	0,0156	0,0057	0,0085	0,0106
10-20	0,0046	0,0156	0,0082	0,0106	0,0132
20-30	0,0063	0,0156	0,0101	0,0122	0,0153
30-40	0,0082	0,0156	0,0106	0,0138	0,0172
40-50	0,0105	0,0156	0,0132	0,0154	0,0193
50-60	0,0129	0,0156	0,0201	0,0168	0,0211
60-70	0,0159	0,0156	0,0227	0,0183	0,0231
70-80	0,0213	0,0156	0,0269	0,0207	0,0261
80-90	0,0317	0,0156	0,0361	0,0243	0,0383
90-98	0,0627	0,0156	0,0730	0,0311	0,0992
98-100	0,2101	0,0156	0,1355	0,0453	0,5232
<i>E/Y</i>	0,019	0,016	0,029	0,017	0,032
<i>CV</i>	0,54	0	0,44	0,13	1,26
95:5	18,38	1	12,85	3,48	7,14
ε	1	0	0,81	0,42	0,66

тетичные предпочтения подразумевают, что каждый регион распределяет некоторую долю дохода на образование. Поэтому межрегиональное увеличение расходов на образование на 1% подразумевает увеличение доходов на 1%. Это также означает, что при ЛФ коэффициент вариации одинаков для распределения расходов на образование и для распределения доходов между регионами. Результаты в табл. 2 показывают, что ФФ механизм финанси-

рования образования дает высокий уровень ресурсов при существенном неравенстве в их распределении. Отметим, что увеличение образовательных ресурсов не подразумевает увеличение в благосостоянии индивидов. ФФ и УСБ системы достигают большей эквивалентности, прежде всего при высоких значениях расходов: заметим, что для последних 30-ти перцентилей совокупности все три системы (ЛФ, ФФ и УСБ) доставляют в основном одни и те же ресурсы. Однако ФФ обеспечивает существенно большее количество ресурсов в группе малообеспеченных слоев, чем ЛФ, и УСБ обеспечивает существенно большее количество ресурсов, чем ЛФ практически для 70-ти перцентилей распределения дохода. Сравнивая ФФ и УСБ системы, заметим, что УСБ обеспечивает большее количество ресурсов на отрезке до 60-ти перцентилей (рис. 1), а на всем остальном распределении дохода системы эквивалентны. Так что, несмотря на большие расходы по отношению к ЛФ механизму в ФФ и УСБ системах, динамика выравнивания при высоких перцентелях (рис. 1) существенно отличается между двумя системами.

ГФ и УСВ, при сравнении, достигают относительного выравнивания распределений в верхних и нижних перцентелях. В частности, в то время как ГФ обеспечивает меньшее количество ресурсов для образования от 60-го перцентеля распределения дохода, чем любая из других систем, она также дает большее количество ресурсов, чем все другие системы на нижних 30-ти перцентелях. Для УСВ до 70-го перцентеля распределение ресурсов на образование больше, чем при ЛФ системе, принимая во внимание, что для верхних 30-ти перцентилей в основном меньше. При сравнении УСВ и ФФ механизмов, наблюдаем, что, в то время как система ФФ обеспечивает большее количество ресурсов от 50 перцентеля и выше, УСВ опережает ФФ по расходам в нижних 50-ти перцентелях. УСБ, с другой стороны, обеспечивает большее количество

материальных ресурсов для всех групп доходов, чем УСВ и особенно от 80-го перцентиля.

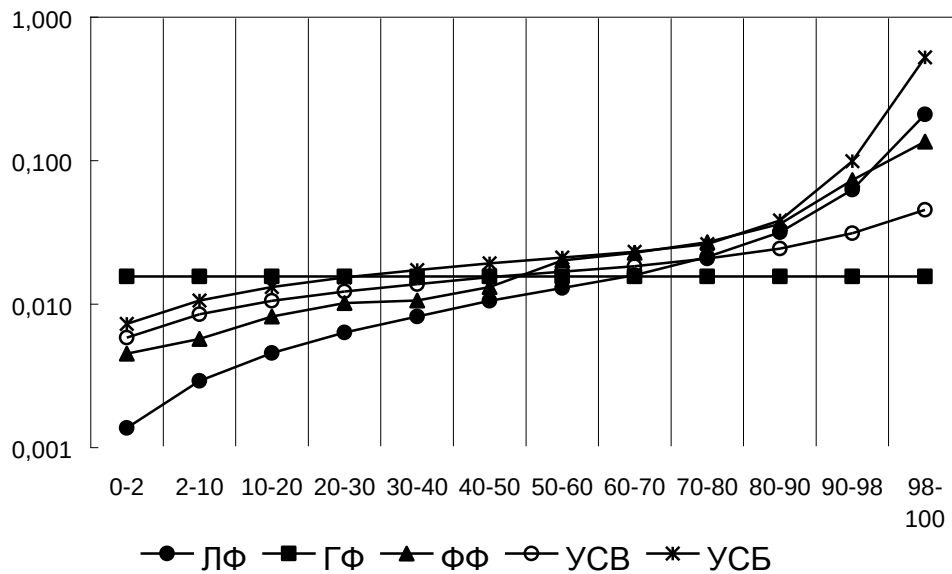


Рис.1. Перцентили распределения финансовых ресурсов на образование (в логарифмической шкале)

Попарное сравнение систем дало результаты, представленные в табл. 3. Из двух систем "победившей" считалась та, за которую "проголосовало" простое большинство индивидов. Таблица 3 показывает, что эмпирические результаты хорошо согласуются с теоретической моделью. Оптимальной является

уравнивающая система финансирования с возвратом. Она в большей степени гарантирует равенство в доступности образования, поскольку дает возможность при самостоятельно определяемой налоговой базе всем регионам

Таблица 3

	ЛФ	ГФ	ФФ	УСВ	УСБ
ЛФ	-	ГФ	ФФ	УСВ	УСБ
ГФ	-	-	ФФ	УСВ	ГФ
ФФ	-	-	-	УСВ	ФФ
УСВ	-	-	-	-	УСВ
УСБ	-	-	-	-	-

получить некоторый гарантированный уровень расходов на образование в силу перераспределения суммарных расходов, не зависящих от региональной налогооблагаемой базы, и определяющихся уровнем общей налогооблагаемой базы z_R .

Литература

1. Fernandez R., Rogerson R. Equity and Resources: An analysis of education finance system // NBER Working Paper Series. – 1999.
2. Bergstrom T., Rubinfeld D., Shapiro P. Micro-Based Estimates of Demand Function for Local Public Expenditure // Econometrica. – 1982. – № 50. – P. 1183-1205.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. ПМ, т. 55692,
e-mail: kor@novoch.ru

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ НАЦИОНАЛЬНОГО ДОХОДА К ЧИСЛУ СПЕЦИАЛИСТОВ С ВЫСШИМ ОБРАЗОВАНИЕМ

Шепелев О.М.

Рост образования в развитых странах, согласно статистическим данным, привел к резкому росту производительности труда и изменению структуры занятости населения – в сфере науки, образования, управления, информатики в США занято около 44% активного населения, в РФ – около 20%.

Новые требования экономики и общества приводят к необходимости учета состояния рынка труда при планировании социально-экономического развития региона.

Поведение экономики области можно проанализировать с помощью учета влияния численности занятых, уровня образования населения, накопленного интеллектуального потенциала, изменения материально-технической базы региона. В настоящее время выработка национального дохода в регионе определяется в большей степени уровнем материализации знаний, чем трудом (L) и капиталом (K):

$$ND_t = ND_{t-1} \cdot K^\alpha \cdot L^\beta \cdot U^\gamma$$

Для оценки зависимости между числом специалистов с высшим образованием, накопленного интеллектуального потенциала и приростом национального дохода введем коэффициент эластичности. Выразим подобную зависимость на примере национального дохода (ND) и числа специалистов. Взяв два временных ряда национального дохода и численности специалистов можно рассчитать отклонения этих показателей по годам:

$$\eta = \frac{\Delta ND(t,i)}{\Delta N(t,i)}$$

Зависимость между объемом производства в i -том секторе экономики $ND_i(t)$ с численностью j -ых специалистов N_{ij} характеризует эластичность математической модели по связям:

$$N_{ij}(t) = ND_i(t) \eta_{ij}$$

$$\ln N_{ij}(t) = \eta_{ij}(t) \cdot \ln ND_i(t)$$

$$\eta_{ij}(t) = \frac{\ln N_{ij}(t)}{\ln ND_i(t)}$$

$$\bar{\eta} = \frac{\sum_t \eta_{ij}(t)}{n}$$

$$N_{ij}(t) = ND_i(t)^{\bar{\eta}}$$

Перейдем к оценке состояния кадров в экономике региона с тем, чтобы сравнить их реальное количество с реальной потребностью. [1] Это позволит оценить динамику удовлетворения потребностей экономики. Для этого используем рекуррентное уравнение баланса:

$$N(t,i) = N(t-1,i) + P(t,i) + Y(t,i)$$

где $N(t-1, i)$ – количество специалистов i -ой специальности на дату $t-1$; $P(t, i)$ – количество подготовленных в течении года t специалистов; $Y(t, i)$ – потери специалистов в течении года (смертность, миграции, текучесть кадров).

Среднегодовую численность населения области рассчитаем на основе формулы:

$$N(t) = N(t_0) \cdot p$$

где $p = \sqrt[n]{\frac{N(t_n)}{N(t_0)}}$ – среднегеометрическое изменение численности населения между датами t_0 и t_n ; $N(t_0)$ – численность населения в базисном периоде.

Численность экономически активного населения выразим через соотношение:

$$N_{\text{эа}}(t) = N(t) \cdot \omega_{\text{эа}}$$

где $\omega_{\text{эа}}$ – доля экономически активного населения в среднегодовой численности.

Качество образования на макроуровне измеряется количеством накопленных населением человеко-лет образования:

$$O_n = \sum_i O_i \cdot n_i$$

где n_i – число индивидов i -ой группы уровня образования; O_i – время обучения.

Отсюда можно выразить средний показатель числа лет обучения:

$$O_c = \frac{O_n}{N_{\text{эа}}}$$

где $N_{\text{эа}}$ – численность экономически активного населения.

Для расчета численности специалистов с высшим образованием используем данные микропереписи о распределении населения по уровню образования:

$$N_{\text{об}} = d_{1000} \cdot N_{\text{эа}}$$

где d_{1000} – доля людей с высшим образованием на 1000 человек.

Распределение образования по разным возрастным группам неравномерно. Для расчета контингента населения g -го возраста с высшим образованием используем пропорции:

$$N_g = N_{\text{об}} \cdot \omega_g$$

где ω_g доля людей g -го возраста в общей численности населения с высшим образованием.

Литература

1. Акперов И.Г. Прогнозирование потребности в специалистах и управление региональной системой образования. – М.: Выс. школа, 1998. – С. 213.

ТГУ им. Г. Р. Державина, 392622, Россия, Тамбов, Интернациональная, 33;

Тел.: (0752) 72-34-40, 72-70-76; Телетайп: 726337 КАДРЫ, факс (0752) 72-90-02;

E-mail: Sletkov@tsu.tambov.ru

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНА

Фофанов О.Б., Ротарь В.Г., Шумский А.А.

В современных условиях, когда крупные компании входят в регионы с целью освоения новых рынков, технологий, ресурсов и т.д., для приобретения или усиления конкурентных преимуществ, очень актуальным становится вопрос оценки научно-технического потенциала региона.

Регион, обозначим этим термином в дальнейшем область, край, автономную республику или округ РФ, представляет собой обособленную часть территории, которая может быть рассмотрена как большая открытая социально-экономическая система [1], которая обладающая следующими основными системными свойствами [2], такими как:

- ✓ наличие цели – обеспечение существования и устойчивого развития территориально обособленного социально-экономического образования, в рамках компромисса между региональными и общегосударственными целями, с одной стороны, и целями отдельных предприятий, организаций, с другой;
- ✓ целостность – реализация мероприятий по достижению цели происходит в рамках единого правового, культурного, социального и экономического пространства региона;
- ✓ относительная обособленность от окружающей среды – нераспространение полномочий органов власти за территориальными границами региона, ограниченное влияние на другие регионы;
- ✓ наличие сложной внутренней структуры, взаимодействие элементов в рамках которой определяется как формальными связями (региональным и федеральным законодательством, исторически сложившимися особенностями социально-экономического развития и т.д.), так и неформальными (личными контактами представителей региональной элиты, средствами массовой информации и т.д.);
- ✓ эмерджентность – регион является субъектом Российской Федерации, т.е. обладает определенными правами и обязанностями в экономической, финансовой и правовой сферах, которыми не располагают элементы более низкого уровня иерархии – город, район, сельский населенный пункт [3], закрепляя таким образом, особые свойства, которые приобретает область в качестве социально-экономической системы.

Принадлежность региона к классу подобных систем позволяет применить элементы системного анализа для оценки научно-технического потенциала региона.

Далее определим термин «потенциал региона» – это обладание определенными свойствами (производственными, трудовыми, инновационными, ресурсно-сырьевыми), которые создают или могут помочь компании в создании конкурентного преимущества. Чем сильнее или уникальнее выражены эти

свойства, тем выше потенциал региона. Например, если в регионе находится значительное число технических вузов, НИИ, академических институтов, то обычно принято говорить о высоком научно-техническом или инновационном потенциале, а наличие значительных запасов нефти, газа, леса и т.д. – о высоком сырьевом потенциале.

На первом этапе рассматривается описание региона в терминах модели «черный ящик» (рис.1), для чего составляется перечень элементов входа и выхода системы, это:

- ✓ люди
- ✓ информация, знания
- ✓ природные ресурсы
- ✓ продукция, услуги
- ✓ финансы.



Рис.1. Описание региона в терминах модели «черный ящик»

Следует отметить, что при тождественности множества элементов на входе и выходе системы (при грубом приближении), деятельность региона серьезно меняет структуру и содержание этих элементов. Например, ввозимые природные ресурсы могут относиться к одной отрасли промышленности (производству строительных материалов), а вывозимые к другой (топливно-энергетический комплекс). Соответственно изучение даже только этих изменений, при отсутствии какой-либо информации о внутренней структуре региона дает определенную информацию о деятельности, как региона, так и его основных элементов, об их возможностях и потенциале, кроме случаев, когда эти элементы работают на исключительно внутреннее потребление.

Однако гораздо более эффективно рассматривать регион, для проведения оценки его научно-технического потенциала, в виде сложной слабоструктурированной системы (рис.2), в составе которой выделены интересующие нас подсистемы:

- ✓ население;
- ✓ природные ресурсы;
- ✓ научно-образовательный комплекс;
- ✓ региональная власть;
- ✓ производственно-технический комплекс;

- ✓ финансы;
- ✓ непроизводственная сфера.

А также определены существенные элементы окружающей среды региона, напрямую влияющие на его научно-технический потенциал.



Рис.2. Системная модель региона

Следующим шагом в оценке научно-технического потенциала региона является изучение каждой из подсистем. Это производится с помощью системы показателей, доступных из различных статистических источников и проводимых ранее исследований, например для оценки подсистемы «население» могут быть использованы показатели:

- ✓ удельный вес городского населения в общей численности населения;
- ✓ население моложе трудоспособного возраста;
- ✓ Население в трудоспособном возрасте;
- ✓ Безработица активного населения;
- ✓ Население с высшим образованием и т.д.

Далее эти показатели ранжируются и интегрируются по подсистемам. Типовой алгоритм подобной оценки научно-технического потенциала региона представлен на рис.3.

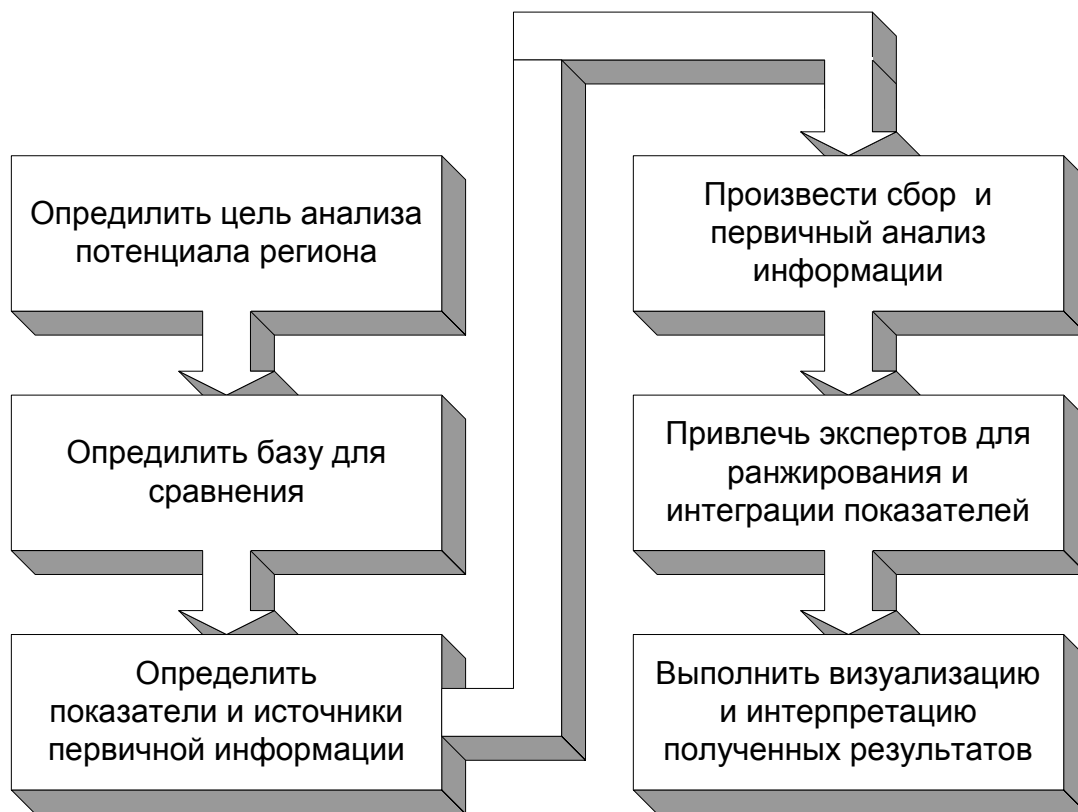


Рис.3. Алгоритм оценки научно-технического потенциала региона

В целом использование системной модели позволяет упорядочить и структурировать алгоритм оценки научно-технического потенциала региона. После чего полученные результаты могут быть использованы для классификации регионов с применением методов кластерного анализа [4], а также выявления взаимного влияния подсистем региона с помощью корреляционного и факторного анализа [5].

Подобные подходы сегодня используются в корпоративных информационных системах, в специализированных отраслевых системах стратегического планирования и в системах поддержки маркетинга и стратегического менеджмента, что еще раз подчеркивает актуальность и важность использования системных моделей для оценки научно-технического потенциала региона.

Литература

1. Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. – М.: Дело, 1999.
2. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа. – Томск: Издательство НТЛ, 1997. – 396 с.
3. Дорогов Н. Обоснование выбора экономической стратегии региона // Проблемы теории и практики управления. – 1998. – № 3.
4. Плюта В. Сравнительный многомерный анализ в эконометрическом моделировании. / Пер. с пол. В.В. Иванова. – М.: Финансы и статистика, 1989.
5. Иберла К. Факторный анализ / Пер. с нем. – М.: Статистика, 1980.

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В АКТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Хачумов С.В.

Механизмы распределения ресурса составляют обширный и чрезвычайно важный с точки зрения практических приложений класс механизмов управления производственными и экономическими системами. При их изучении решаются два основных вопроса - синтеза механизма распределения максимальной эффективности и исследования манипулируемости (гибкости) механизмов планирования.

Пусть система состоит из центра и n активных элементов. Центр владеет R_0 единицами ресурса. Ценность ресурса для i -го элемента определяется его функцией полезности $\phi_i(x_i, r_i)$, где x_i – получаемое им количество ресурса, а r_i – тип АЭ, параметризующий класс допустимых функций полезности. Функция полезности может определять, например, прибыль АЭ от использования ресурса в количестве x_i .

Предположим, что о функции полезности АЭ центр не имеет информации, за исключением той, что она принадлежит некоторому классу однопиковых функций с точкой пика $r_i \in \Omega_i$ и однозначно определяется значением этого параметра, то есть получение ресурса в количестве $x_i = r_i$ доставляет максимум функции полезности i -го АЭ.

Задачей центра является распределение ресурса с целью, например, максимизации суммарной полезности всех элементов

$$\varphi = \sum_{i \in I} \varphi_i(r_i, x_i) \rightarrow \max$$

при ресурсном (балансовом, бюджетном) ограничении: $\sum_{i \in I} x_i \leq R_0$.

Распределение ресурса осуществляется следующим образом. Каждый активный элемент сообщает центру оценку $s_i \in \Omega_i$, $i \in I$, своего типа (параметра своей функции полезности) $\varphi_i(x_i, r_i)$ и получает ресурс в количестве $x_i = \pi_i(s)$, где $\pi(s) = (\pi_1(s), \pi_2(s), \dots, \pi_n(s))$ называется *процедурой (механизмом) распределения ресурса*.

Будем полагать, что Ω_i – является отрезком действительной оси: $\Omega_i = [0, D] \subset R^1$, $i \in I$, $0 < D < +\infty$. В качестве ограничения D можно выбрать, например, имеющееся в распоряжении центра количество ресурса R_0 .

На процедуру распределения ресурса наложим следующие ограничения:

1. Функция $\pi_i(s)$ непрерывна по всем переменным и строго монотонна по s_i для всех $s \in [0, D]^n$, $i \in I$.

2. Будем полагать, что $\sum_{i \in I} r_i > R_0$ (гипотеза дефицитности) и весь ресурс распределяется полностью, то есть: $\sum_{i \in I} x_i = R_0$.

3. Каждая группа активных элементов может получить любое количество ресурса, меньше того, что она уже получила:

$$\forall s \in \Omega, \forall W \subseteq I, \forall x_i \leq \pi_i(s), i \in W \exists s_W \in \Omega_W: x_W = \pi_W(s_W, s_{I \setminus W}), \text{ где } \Omega_W = \prod_{j \in W} \Omega_j^i.$$

4. Если количество ресурса, распределяемого между АЭ из некоторого подмножества $W \subseteq I$, увеличивается, то каждый АЭ получает количество ресурса, не меньшее прежнего.

Данная задача относится к классу задач нелинейного программирования, поскольку она имеет нелинейную целевую функцию. Для ее решения, в зависимости от вида функций, входящих в целевую и ограничений на тип переменных могут быть применены различные подходы, в том числе:

а) Полное отсутствие информации

Рассматривается задача распределения ресурса между АЭ, не связанными между собой за исключением ограничения на общее число распределяемого ресурса.

$$\varphi = \sum_{i=1}^N f_i(r_i, x_i) \rightarrow \max$$

В данной постановке функции полезности считаются неизвестными. Можно только предполагать, что эти функции, как и ранее, являются выпуклыми. Каждый АЭ сам запрашивает свой ресурс в количестве x_i , а получает его в количестве r_i в соответствии с выбранной стратегией распределения ресурса. Наиболее часто ограничиваются способом пропорционального (линейного) распределения [1,2] в соответствии с поступившими запросами и имеющимся у центра количеством ресурса R_0 . В результате имеем:

$$r_i = \frac{x_i \cdot R_0}{\sum_{i=1}^N x_i}.$$

Данное распределение имеет следующие недостатки:

1. Оно не обеспечивает реального максимума общей целевой функции, т.к. неизвестны истинные значения целевых функций АЭ.
2. Может приводить к неправильному распределению из-за выдачи АЭ неверных (завышенных) запросов.

Могут применяться и другие подходы, в зависимости от типа применяемых переменных.

Литература

1. Бурков В.Н., Ириков В.А. Модели и методы управления организационными системами. – М.: Наука, 1994. – 270 с.
2. Новиков Д.А., Петраков Ф.Н. Курс теории активных систем. – М.: СИНТЕГ, 1999.
3. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем. Состояние и перспективы. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 128 с.

*Институт программных систем РАН 152021, г. Переславль-Залесский, м. Ботик,
тел. (08535)98030, E-mail: vmh@vmh.botik.ru*

УДК 330.115

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЭКОНОМИКЕ

Алиев Р.Г., Крюкова И.Г.

В современных условиях производства экономико-математические методы и прежде всего модели становятся важнейшим инструментом совершенствования хозяйственного механизма, что связано с возможностью предприятий самостоятельно принимать экономические и хозяйственные решения, определять перспективы развития и структуру производства. Объектом для построения моделей является экономический процесс, например, рациональное использование ресурсов, оптимизация транспортных перевозок и т.д.

Экономико-математическая модель – математическое описание исследуемого экономического процесса или объекта, отражает его закономерности в абстрактном виде с помощью математических соотношений. Можно выделить три основных этапа проведения экономико-математического моделирования:

- первый этап предполагает постановку цели и задачи исследования, проведение качественного описания объекта в виде экономической модели;
- второй этап - формирование математической модели изучаемого объекта, осуществление выбора методов исследования, проведение программирования модели на ЭВМ, подготовка исходной информации;
- третий этап – основной, осуществление анализа математической модели, реализованной в виде программ для ЭВМ, обработка и анализ полученных результатов.

Процедура экономико-математического моделирования социальных и экономических процессов заменяет дорогостоящие и трудоемкие натуральные эксперименты расчетами, при использовании экономико-математических методов достаточно быстро и дешево производится на ЭВМ сравнение многочисленных вариантов планов и управленческих решений. В процессе реализации модели определяется наилучший ассортимент конечной продукции, обосновываются объемы производства по отраслям с учетом наиболее полного удовлетворения сырьевых потребностей и реализации продукции в непереработанном виде, устанавливается необходимый объем сырья, закупаемого вне предприятия, обосновывается распределение капитальных вложений по основным направлениям. В результате отбираются наиболее оптимальные варианты [1].

Литература

1. Исследование операций в экономике: Учебн. пособие для вузов / Под ред. проф. Н.Ш. Кремера. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997. – С. 16-17.

УДК 681.3

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Хренов А.А.

В основе лежит макроэкономическая модель круговорота ресурсов. Основные классы модели, поведение которых необходимо моделировать - домо-

хозяйства и предприятия.

Как домохозяйство, так и предприятие представляют собой достаточно сложную систему. Поэтому, первоначально, основные классы представлены как некие унифицированные блоки, поведение которых не зависит от факторов связанных с конкретной группой домохозяйств и предприятий.

В классах реализованы основные функции:

- для домохозяйств
 - прирост населения
 - потребительская корзина (объем минимального потребления)
- для предприятий
 - время производства
 - необходимое сырье

Рынки представлены в виде складов, в которых накапливается либо непосредственно ресурсы, либо необходимость в них со стороны потребителя этих ресурсов. Таким образом, рынок труда накапливает «трудодни», либо заявки на трудодни в случае повышенного спроса.

В поведение классов при столкновении интересов на рынках ресурсов и благ заложены 2-е основные теории рыночных отношений (неоклассическая, кейнсианская)

При анализе состояния рынков средства данного блока делится на две части, после чего одна из них распределяется по статьям расхода в соответствии с одной из теорий, а другая – в соответствии с другой. Долю влияния той или иной теории можно изменять путем изменения пропорции деления средств.

На следующем этапе развития системы моделирования предполагается поочередно выделять из унифицированных блоков модели специфические блоки, которые будут действовать параллельно. При этом выделенные блоки будут описывать некоторые особые, наиболее значительные группы (предприятия отдельных отраслей, отдельные социальные группы населения), а унифицированные – прочих субъектов макроэкономических отношений. В развитие системы предполагается дополнить модель такими классами, как внешний мир и государство. Целью развития системы является наиболее близкое приближение к реальным процессам экономики.

Наполнение системы моделирования различными механизмами позволяющими изменять основные параметры модели, позволит проводить макроэкономические исследования типа «что - если».

624130 Свердловская обл. г. Новоуральск, ул. Свердлова 16 - 28, Хренову, e-mail: alhr@mail.ru

УДК 519.86

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Яковлева Е.В.

Математическая модель в экономике, как правило, строится для того, чтобы по заданным начальным данным спрогнозировать технические показатели. Однако, для того, чтобы управлять сложными экономическими процессами,

происходящими на реальном предприятии, необходимо решать противоположные по смыслу проблемы. То есть, исходя из требуемого значения производственного показателя, получать значения определяющих его параметров. Проблемы такого рода разрешает задача, которую мы назовем обратной (по аналогии с обратными задачами в геофизике [1]). Здесь математическая модель строится для того, чтобы активно управлять процессом, стремясь к оптимальному результату. Являясь задачей управления производством, обратная задача принципиально отличается от прямой:

1. В прямой задаче решение существует, если есть заданное управление. Но существует ли управление, достигающее заранее заданного результата? Оказывается, что не всегда. Тогда решение обратной задачи не существует.
2. Если решение обратной задачи существует, то оно может быть не единственным. Один и тот же результат может быть достигнут разными способами и среди них нужно выбрать оптимальный, т.е. ввести принцип отбора.
3. Даже если принцип отбора введен, задача может быть неустойчивой, т.е. небольшие вариации в итоговом состоянии системы могут привести к существенно большим изменениям значений управляющих параметров.

Обратная задача в символическом виде может быть записана следующим образом: $\mathbf{A}(X_1, X_2, \dots, X_n; T) = Y$, где $X_i, i=1, 2, \dots, N$ – управляющие параметры системы; $Y = \{Y_i, i=1, 2, \dots, M\}$ – параметры состояния системы, T – внешние параметры системы, неподдающиеся управлению в рамках заданной модели, но влияющие на результат. $\mathbf{A}$ – оператор прямой задачи, задачи исходной модели этого процесса.

Решение всякой количественной задачи обычно заключается в нахождении «решения» y по заданным «исходным данным» x , $y = f(x)$.

Пусть x и y – элементы метрических пространств X и Y с расстояниями между элементами или метриками $\rho_X(x_1, x_2)$, $\rho_Y(y_1, y_2)$, $x_1, x_2 \in X, y_1, y_2 \in Y$.

Метрика обычно определяется постановкой задачи.

Пусть определено понятие «решения» и каждому элементу $x \in X$ поставлен в соответствие единственный элемент $y \in Y$:

$$y = f(x). \quad (1)$$

Задача определения решения $y = f(x)$ из пространства Y по исходным данным $x \in X$ называется устойчивой на пространствах (X, Y) , если $\forall \varepsilon > 0$ найдется $\delta(\varepsilon) > 0$:

$$\text{из } \rho_X(x_1, x_2) \leq \delta(\varepsilon) \Rightarrow \rho_Y(y_1, y_2) \leq \varepsilon,$$

где $y_1 = f(x_1)$, $y_2 = f(x_2)$, $x_1, x_2 \in X, y_1, y_2 \in Y$.

Задача (1) называется *корректно поставленной* [2] на паре метрических пространств X и Y , если выполняются условия:

1. $\forall x \in X \exists y \in Y$;
2. решение единственно;
3. задача устойчива на X и Y .

Задачи, не удовлетворяющие перечисленным требованиям называются *некорректно поставленными*.

Функцию, определенную на X со значениями в Y , называют оператором,

действующим из X в Y ($X \rightarrow Y$) и обозначают

$$y = Ax, \quad (2)$$

где $x \in X$, $y \in Y$.

Пусть оператор A известен точно, а левая часть уравнения (2) известна с точностью δ , т.е. вместо точного значения y_T известен элемент $\tilde{y}$ и число δ :

$$\rho_Y(y, \tilde{y}) \leq \delta \text{ или } \|y - \tilde{y}\| \leq \delta.$$

Найдем $x_\delta \in X$: $X_\delta \rightarrow X_T$ при $\delta \rightarrow 0$.

Этот элемент $\tilde{y}$ называется приближенным решением уравнения $\tilde{y} = Ax$.

Элементы $x \in X$, удовлетворяющих условию

$$\|Ax - \tilde{y}\| \leq \delta \quad (3)$$

называются *сопоставимыми* по точности с исходными данными $(\tilde{y}; \delta)$.

Пусть Q_δ – совокупность всех таких элементов $y \in Y$.

Все элементы класса Q_δ можно брать в качестве приближенного решения уравнения (2). Но необходим признак отбора возможных решений. Для этого необходимо использовать дополнительную информацию о решении.

Из всех решений выберем тот, который минимизирует данный функционал $\Omega(x) = \|Fx\|$. Тогда задача (3) запишется в следующем виде:

$$\begin{cases} \|Ax - \tilde{y}\| \leq \delta \\ \Omega(x) \rightarrow \min \end{cases} \quad (4)$$

Функционал $\Omega(x) \rightarrow \min$ доопределяет решение до единственного.

В соответствии с правилом множителей Лагранжа задача (4) эквивалентна следующей: $\|Ax - \tilde{y}\| + \alpha\Omega(x) \rightarrow \min$, (α выбирается по принципу невязки).

Обратные задачи экономики являются неустойчивыми, поэтому задачу (4) перепишем следующим образом:

$$\begin{cases} \|Ax\| + \alpha\Omega(x) \rightarrow \min \\ \Omega(x) \rightarrow \min \end{cases}$$

Условие $\Omega(x) \rightarrow \min$ делает задачу устойчивой и может представлять собой некоторую алгоритмическую процедуру обеспечения устойчивости, например, за счет использования регуляризующих свойств итерационных процессов.

$$\begin{cases} Ax = y \\ \|Fx\| \rightarrow \min \end{cases} \quad (5)$$

Показано [1], что решением задачи (5) будет: $x = F^{-1}F^{*-1}A^*(Ax - y)$.

Обратные задачи с неединственным решением необходимо решать в два этапа:

1. построить класс, который обеспечивает содержательность решения,

2. решить задачу:
$$\begin{cases} Ax = y \\ x = x_0 + F^{-1}F^{*-1}A^*\phi, \phi = Ax - y. \\ \Omega(x) \rightarrow \min \end{cases}$$

Задача (4) является регуляризованной постановкой обратной задачи.

Рассмотрим практическое применение методики решения обратных задач в экономике на примере ОАО Коминетфегеофизика (КНГФ). КНГФ выполняет заказы нефтегазовых фирм на предмет информации о параметрах нефтегазовых пластов: каковы дебит пластов, коллекторные свойства, мощность, глубина залегания др. Использование этой информации нефтегазодобывающими предприятиями повышает эффективность поиска, разведки и добычи углеводородного сырья. Для построения математической модели предприятия были собраны статистические данные. В качестве параметра состояния системы Y была выбрана годовая прибыль КНГФ. Управляющими параметрами системы X являются – унифицированный параметр Q – количество элементарных единиц информации, проданной предприятием, себестоимость; уровень добычи нефти тех предприятий, которые обслуживаются ОАО КНГФ. T – стоимость энергоносителей на внешнем рынке.

Математическая модель данного предприятия представляет собой регрессионную модель, где связь между управляющими параметрами и параметрами состояния системы определяется в виде многомерной регрессии, а A представляет собой матрицу размерности $N \times M$. Здесь N – размерность управляющих параметров X , M – размерность параметров, характеризующих состояние системы Y .

Выводы: Многие задачи оптимального планирования в экономике являются неустойчивыми или некорректно поставленными. Поэтому использование для их решения специальных методов, а именно методов решения обратных задач является необходимостью. Появляется возможность прогнозирования характера изменения параметров в зависимости от планируемых изменений и выработке на базе этого текущих и долгосрочных программ деятельности предприятия.

Литература

1. Кобрунов А.И. Теоретические основы решения обратных задач геофизики. – Ухта, 1995. – 226 с.
2. Тихонов А.И., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986. – 288 с.

УДК 681.3

К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Аксенов К.А., Клебанов Б.И.

Предприятие представляет собой достаточно сложную систему. Так как его деятельность зависит от множества внешних и внутренних факторов.

Поведение деятельности предприятия можно условно разделить на две части:

- Поведение, направленное на настоящее (использование существующих мощностей для получения прибыли, удовлетворение потребностей имеющих клиентов-потребителей).
- Поведение, направленное на будущее (реагирование на изменение тех-

нологий производства, модернизация бизнес-процессов с целью улучшения или поддержания конкурентоспособности предприятия, выпуск новых товаров).

В общем случае можно выделить следующие крупные подсистемы предприятия:

- Подсистема стратегического управления.
- Производственная подсистема.
- Подсистема управления производством.
- Подсистема управления финансами.
- Подсистема реализации продукции.
- Подсистема организации складского хранения.

Упрощенно модель поведения предприятия на начальных этапах можно свести к поведению предприятия относительно циклов производства. В дальнейшем, расширив имеющиеся блоки и добавив подсистему стратегического управления, функциями которой являются увеличение (уменьшение) производственных мощностей, диверсификация новых видов продукции, выход на новые рынки.

Любое производственное предприятие имеет один или несколько бизнес-процессов. Бизнес-процессы характеризуются производственными циклами. Поведение ориентированное на настоящее напрямую связано с циклами производства. Существует пять базовых типов производственных систем [1]:

- Непрерывная;
- Массовая \ конвейерная;
- Серийная;
- Индивидуальная;
- Проектная.

К динамическим бизнес-процессам на предприятии относят:

- Управление заказами и сбытом;
- Управление запасами и закупками;
- Календарное планирование и управление производством.

Организация перечисленных бизнес-процессов определяется целями и задачами предприятия и зависит от конкретных видов выпускаемой продукции и оказываемых услуг. Вместе с тем, перечисленные бизнес-процессы в современных системах настолько сильно взаимосвязаны, что процессы обработки заказов клиентов, производства, закупок, и сбыта рассматриваются фактически как единый бизнес-процесс. Описание процессов позволяет точно представить цели, исследуемые характеристики (в том числе динамические) и конечные результаты каждого вида деятельности. Бизнес-процессы определяют прохождение потоков работ независимо от иерархии и границ подразделений, которые их выполняют, и представляют последовательность взаимосвязанных операций. Модель бизнес-процесса должна отражать как направление рабочих потоков, так и бизнес-правила обработки событий, в зависимости от которых выполняются операции [2].

Алгоритм описания поведения предприятия с целью дальнейшей опти-

мизации, базирующийся на производственном цикле:

1. Описание технологического процесса без привязки к конкретным производственным мощностям (идеальный тех. процесс).

2. Описание реального технологического процесса с учетом использования существующих производственных мощностей и привязки (относительно времени) к конкретным исполнителям.

3. Анализ реального технологического процесса: а) поиск узких мест; б) оценка стоимости процесса; в) оценка себестоимости продукции; г) сопоставление с целями руководства – снижение / наращивание мощностей.

4. Учитывая результаты, полученные на третьем этапе, моделирование будущего бизнес-процесса.

5. Анализ модели будущего процесса. Оценка себестоимости будущей продукции и затрат на реорганизацию производства.

Модель бизнес-процесса позволит:

- Определить вероятность срыва (срыва) бизнес-процесса.
- Учесть и оценить риски.
- Определить временные характеристики цепочек работ.
- Оптимизировать использование ресурсов в различных бизнес-процессах, минимизировав издержки производства и обращения.

На основе модели поведения предприятия может быть построена система принятия решений. Данный подход будет использован в Интернет-системе макроэкономических исследований. В основу интернет-системы закладывается модель круговорота ресурсов. Основные классы модели, поведение которых необходимо моделировать - домохозяйства и предприятия.

Литература

1. Вильям Дж. Стивенсон. Управление производством. – М., 1999. – 900 с.
2. Тельнов Ю.Ф. Интеллектуальные информационные системы в экономике. – М.: МЭСИ, 1998. – 174 с.

620014 г. Екатеринбург, ул. Ленина 28, ВРК, Аксенову, e-mail: wiper99@mail.ru

УДК 33.001.57

ОСОБЕННОСТИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Пыряев В.В., Фоменко Н.М.

В настоящее время имитационное моделирование охватывает различные стороны жизнедеятельности человека. Опыт моделирования производственных систем также велик. Однако, в силу разнообразия встречающихся на производстве проблем, задач и возникающих при их решении ситуаций, арсенал формализации, математического описания и имитационного моделирования процесса, появилась возможность использовать при их сравнении с результатами экс-

периментов прямые замеры неразрушенных рисок. В условиях плоского шлифования гладкой поверхности процесс взаимодействия абразивного зерна с обрабатываемой деталью как правило, подразделяется на следующие условные участки траектории: 1) участок трения, 2) участок уплотнения, 3) участок резания. В соответствии с этими участками учитывается три вида воздействия зерна на поверхность детали: истирание, пластическое вытеснение, сдвиг металла.

Различные литературные источники при упоминании глубины резания абразивным зерном, указывают: 1) результаты экспериментов, проведенных с применением оправки и закрепленного в ней единичного зерна, причем глубина резания в основном зависит от вертикальной подачи, 2) уравнения для толщины слоя, снимаемого одним зерном шлифовального круга и основное уравнение шлифования, в которых при большом количестве учитываемых факторов решающее влияние на глубину резания зерном оказывает фактическое рас- что в первоначальный нулевой момент времени рабочие, оборудование не работают и не работали, детали, партии деталей не обрабатывались и находятся в ожидании обработки, порядок выбора деталей из очереди и их обслуживание заранее установлен, что не соответствует реальному положению дел в ходе производственного процесса.

Руководитель действует в постоянно изменяющейся обстановке, рассматривая и разрешая одну ситуацию за другой для достижения поставленных целей при решении проблем. Некоторые параметры управления не могут быть заданы в виде исходных данных или начальных условий.

Руководителю в любой момент времени желательно иметь модель объекта управления, на которой можно было бы провести эксперименты и получить информацию по различным вариантам предполагаемых действий, что оказывало бы помощь в принятии решений.

Имитационное моделирование в реальном масштабе времени имеет ряд особенностей.

В отличие от существующих моделей, в имитационной модели, имитирующей возможные варианты решений руководителя, необходимо:

- устанавливать первоначальным моментом времени моделирования – момент времени первого события на объекте управления следующего за моментом времени, когда руководитель должен принять решение;
- установить множество вариантов решений при выборе, при распределении (при выдаче заданий) и выполнении работ, формализовать их в виде приоритетов в многоуровневую систему, позволяющую применять приоритеты как в отдельности, так в любом сочетании;
- устанавливать различные варианты длительности моделирования: на какой-то отчетный период, до завершения выполнения всех работ и др.
- иметь текущую информацию о заказах, о состоянии оборудования, рабочих, деталях на момент времени первого события;
- предусмотреть интегрирование базы данных работы производственных структурных подразделений с базой данных автоматизированной системы управления (АСУ) предприятием.

Часть информации при имитационном моделировании в реальном мас-

штабе времени в момент использования модели для принятия решения вводится руководителем, другая часть поступает из единой базы данных АСУ предприятия.

На производственный процесс большое влияние оказывает техническое состояние оборудования. Для поддержания оборудования в работоспособном состоянии в соответствии с его эксплуатационными характеристиками разрабатывается график обслуживания и ремонта оборудования, который периодически корректируется с учетом различных факторов. Руководителя производственного подразделения интересует как повлияет срок изменения начала ремонта на выполнение того или иного заказа, на производственную программу и показатели деятельности его объекта управления.

По данной проблеме при моделировании производственного процесса рассматривается несколько вариантов решений: ремонт выполнять или строго по графику, или после обработки очередной партии, или после выполнения всего заказа. Для учета этих вариантов вводится оператор сравнения очередного момента начала ремонта с моментом начала по графику, моментом окончания технологической операции на данном станке над очередной партией деталей, заказа.

Кроме того, оборудование выходит из строя в случайные моменты времени, со случайным временем обслуживания и ремонта. Для учета этого обстоятельства в имитационной модели предусматривается моделирование случайных величин по различным законам распределения. Это дает руководителю возможность рассматривать при принятии решения результаты экспериментов с различной интенсивностью выхода из строя оборудования и с различной продолжительностью ремонта.

347360 г.Волгодонск, ул. Ленина 98, ВИФ ЮРГТУ(НПИ), каф. ЭиУП, т. 2-52-37.
e-mail: fnata@econ.vdonsk.ru

УДК 9(2)30–21

МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ НА ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНУЮ ПОДГОТОВКУ СПЕЦИАЛИСТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Назаров Д.М.

Подготовка специалистов включает два основных этапа: предпрофессиональный – в учреждениях общего среднего образования и профессиональный – в учреждениях начального, средне-специального и высшего образования.

В рамках реформирования системы образования осуществляется переход от традиционной к непрерывной концепции образования для эффективной подготовки профессиональных кадров посредством создания образовательных объединений. Комплексы типа «Школа–вуз–промышленное предприятие», как подсистемы образовательного объединения, в силу своей оптимальности в ко-

ординатах «ресурсоемкость–качество–время» представляют наибольший интерес с экономической точки зрения.

В 1992 году в городе Нижнем Тагиле был создан образовательный комплекс «Политехническая гимназия– Нижнетагильский технологический институт Уральского государственного технического университета– Нижнетагильский металлургический комбинат». где базовым звеном предпрофессионального этапа подготовки является школа нового типа – Политехническая гимназия.

Для эффективного использования вкладываемых средств в развитие до- профессионального образования нами исследовано понятие профессионализма, как категории управленческой науки и построена математическая модель процесса подготовки.

Формализация понятия профессионализм проведена на основе теории нечетких множеств. Разработана уровневая дифференциация понятия профессионализм и построена функция принадлежности (по методу дерева целей) , позволяющая определить соответствие между показателями качества подготовки и компонентами профессионализма.

Показано, что при получении образования возможны несколько стратегий, причем для любой из них инвариантом и началом является предпрофессиональная подготовка. Эффективность той или иной стратегии определялась по правилу

$$P = (V, R, U),$$

где: V – минимальный временной интервал реализации стратегии; R – затраченные ресурсы, которые оценивались по бальной системе – каждому элементу стратегии, полагавшимися для простоты равнозначными ставился в соответствие 1 балл; U – уровень квалификации специалиста (1 – начальный; 2 – средний; 3 – высший практический; 4 – высший теоретический).

Достижение основной цели – повышение профессионализма всех субъектов образовательного процесса, прежде всего, определяется имеющимися ресурсами. Под ресурсами понимаются: материальные, информационные, людские, временные. Связь между ними задается формулой:

$$R = \sum_{i=1}^5 R_i ,$$

где: R_1 - материальные ресурсы; R_2 - информационные ресурсы; R_3 - людские ресурсы; R_4 - временные ресурсы; R_5 - финансовые ресурсы.

Все виды ресурсов приводятся к одной размерности в денежном эквиваленте.

Предложена методика расчета необходимых финансовых средств для обеспечения заданного уровня качества обучения. Числовая характеристика, полученная при этом, служит оценкой необходимых ресурсов.

Вводятся следующие переменные:

E_i – максимальное число уроков, выдаваемое учителем в месяц по i -у предмету;

T_i – часовой тариф i -го учителя;

V_i – коэффициент оплаты труда учителя с учетом категории;

P_i – количество учащихся, обучаемых в i -м учителем;

S_{0k} – количество уроков, необходимых по программе на изучение k -й темы;

S_{ik} – фактическое количество уроков, затраченное i -м учителем на изучение k -й темы;

P_{ir}, P_{ip}, P_{it} – количество учащихся, обучаемых i -м учителем и достигших в результате обучения репродуктивного, продвинутого и творческого уровня.

W_i – коэффициент качества обучения учащихся i -м учителем определялся по формуле:

$$W_i = \frac{(P_{ir} + \alpha \cdot P_{ip} + \beta \cdot P_{it})}{P_i} \cdot \frac{S_{0k}}{S_{ik}},$$

где α, β – коэффициенты значимости уровней обучения.

Норматив финансирования учебного процесса подсчитывался, как

$$F = \sum_{i=1}^N T_i \cdot E \cdot B_i,$$

где N – количество учителей, задействованных в учебном процессе.

Окончательная формула для расчета затрат имеет вид:

$$R = \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^N \left(\frac{(P_{ir} + \alpha \cdot P_{ip} + \beta \cdot P_{it})}{P_i} \cdot \frac{S_{0k}}{S_{ik}} \cdot \frac{N_j}{N} \cdot T_i \cdot E_i \cdot B_i \right)$$

Таким образом, моделирование затрат на предложенной формализации понятия профессионализма позволяет не только оценить уровень ресурсов, требуемых для достижения поставленных целей, но и наметить пути оптимизации процесса предпрофессиональной подготовки.

УДК 657.1.001.571

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Климашина А.В., Петрова Е.О., Яхонтова Ю.А., Дмитриевский Б.С., Крылова Е.Ю.

В данном исследовании было произведено построение модели бухгалтерского учета на промышленном предприятии с помощью программного продукта *Brwin 2.5*. Модель представляет собой многоуровневую декомпозицию процессов по осуществлению бухгалтерского учета на рассматриваемом предприятии. Декомпозиция процессов модели основывается на выделении блоков, из которых состоит работа бухгалтера. Целью моделирования является изучение и документирование процесса бухгалтерского учета на предприятии, что необходимо для дальнейшей автоматизации. Уровень детализации модели обеспечивает понимание отдельных операций, выполняемых бухгалтером, таких как выписка приходного кассового ордера, формирование ведомости и т.п.

Формирование сложных периодических регистров бухгалтерского учета,

таких как журналы-ордера или кассовая книга, представлено в виде одного процесса, а правила и особенности формирования описаны в свойствах процесса (в виде определения процесса и примечания). За область моделирования принята работа бухгалтерии; такие объекты, как склад, банк, предприятия-контрагенты являются внешними по отношению к данной модели и показаны в виде так называемых внешних ссылок на диаграммах DFD модели. Все операции, производимые сотрудниками бухгалтерии, описаны в модели и являются внутренними; операции над документами, производимые в других подразделениях или на других предприятиях, считаются внешними. Первая декомпозиция системы состоит из трех процессов.

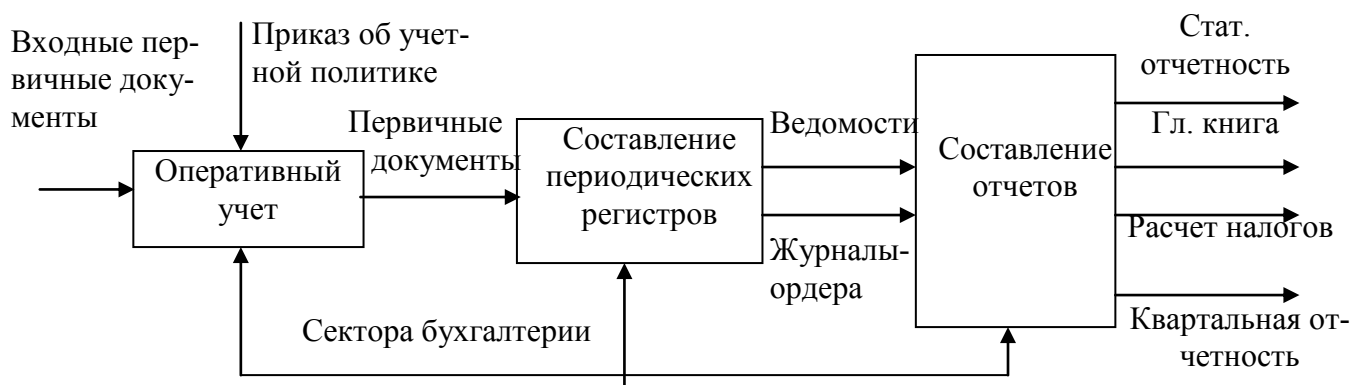


Рис.1

В процессе оперативного учета происходит обработка входных первичных документов, а также создание собственных. Процесс составления периодических регистров бухгалтерского учета включает формирование журналов-ордеров, ведомостей и некоторых других регистров. Результатом процесса составления отчетов является информация, предоставляемая внутренним и внешним пользователям, на основании которой происходит принятие решений.

392000 г. Тамбов, ул. Советская 106, ТГТУ, кафедра ИПУ, т.72-91-87

УДК 658.1.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФИНАНСОВО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Знобищев Д.В., Пятанова Н.И., Крылова Е.Ю., Дмитриевский Б.С.

В рамках проведенного обследования системы управления производственного предприятия с применением программного средства Platinum BPwin построена модель информационных потоков, охватывающих основные процессы и информационные потоки цикла функциональных процессов, необходимые для выполнения всех условий по заключённым договорам в рамках года:

1. Планирование и составление отчетов. Составление и утверждение номенклатурных и финансовых планов на месяц, квартал и год, а также экономических отчетов о выполненной работе квартального и месячного периодов. Базовой информацией для этого процесса (входящие потоки) являются договора,

заключенные в предыдущий период, а также отчеты цехов о выполненной работе за месяц и данные о состоянии договоров с заказчиками ("Свод данных по договорам с заказчиками" и "Задолженности заказчиков перед предприятием"). Процесс выполняется на основании двух регламентирующих документов (потоки управления):

- типовые методические рекомендации по планированию, учёту и калькулированию себестоимости,
- положение о составе затрат по производству и реализации продукции (работ, услуг) включённых в себестоимость продукции, и о порядке формирования финансовых результатов, учитываемых при налогообложении прибыли.

В результате формируются документы (выходные потоки), которые представляют собой управляющие потоки для остальных процессов, т.е. выявляется функциональная взаимосвязь между процессами.

2. Закупка. Обеспечение своевременной закупки и передачи необходимого качества материально-технических ресурсов (МТР) на склад. Потоки управления - планы производства на год, квартал и месяц.

3. Производство. Выполнение утверждённого плана выпуска продукции по объёму и качеству посредством эффективного использования МТР. Входной поток - требование на получение МТР, выходной поток - акт приемки продукции. Поток управления - план производства на месяц.

4. Учет трудовых затрат. Деятельность по первичному учету работ и составлению документации, регламентирующей использование трудовых ресурсов на предприятии. Входной поток – сводки из бухгалтерии, а выходной – штатное расписание.

5. Продажа. Деятельность по формированию договорной документации и передачи продукции заказчику. Входные потоки - исходный документ от заказчика и акт приемки продукции, выходные потоки – отчёты, содержащие информацию о выполнении этапов договоров.

392000 г. Тамбов, ул. Советская 106, ТГТУ, кафедра ИПУ, т.72-91-87

УДК 331.108.26.001.57

МОДУЛЬ ВЫБОРА ПОВЕДЕНИЯ СОТРУДНИКА

Сербиновский Б.Ю., Колпаков С.В.

Под управлением персоналом на производстве мы понимаем комплекс управленческих воздействий (принципов, методов, средств и форм) на интересы, поведение и деятельность работников в целях максимального использования их потенциала, включая эффективное использование в процессе производства товара всех основных производственных факторов: труда, предпринимательских способностей, средств производства, предметов труда.

Мы используем следующий функциональный состав основных элементов кадровой политики (рис. 1).



Рис.1. Элементы кадровой политики и плана роста сотрудника

При разработке кадровой политики и системы управления персоналом мы, прежде всего, опираемся на функциональный и индивидуальный подходы, рассматривая управление как совокупность этапов и процессов, через которые реализуются функции управления, а также отказываемся от строгой последовательности этапов и отдельных процессов, ориентируясь на индивидуальные особенности работника и конкретную управленческую ситуацию.

Построение строгой последовательности прохождения этапов элементов политики представляется затруднительным т.к. реализация индивидуального подхода при подготовке специалиста с требуемыми характеристиками, предполагает создание для каждого сотрудника индивидуального плана роста. Существует множество комбинаций построения кадровой политики в отношении сотрудников. Рассмотрим несколько схем управления персоналом.

1. При постановке задачи прогнозирования будущей потребности предприятия в сотрудниках и удовлетворения этой потребности, состав кадровой политики и порядок прохождения его представлен на рис.2. Элементы, входящие в блок 4 могут строиться в различной последовательности, а некоторые элементы могут исключаться.



Рис.2. Обеспечение персоналом

2. В случае необходимости повышения квалификации уже работающего персонала с целью увеличения эффективности работы схему управления персо-

налом можно представить на рис.3.

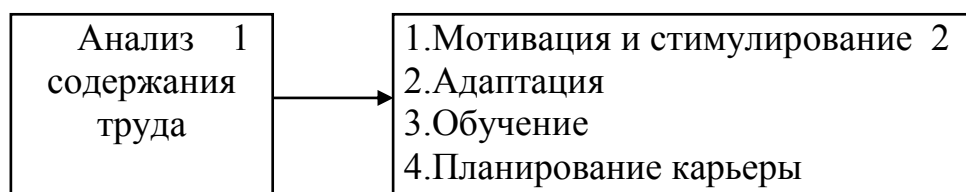


Рис.3. Повышение эффективности работы персонала

Одним из факторов влияющих на эффективность подготовки персонала является личная заинтересованность людей в повышении собственного уровня подготовки, который, в свою очередь, оказывает влияние на размер заработной платы и карьеру. При выборе варианта поведения человек использует метод, оценки основанный на вычислении заработной платы, которую он может получить, пойдя по одному из двух путей: 1) - повышать квалификацию; 2) - работать продолжать работать, используя имеющиеся знания. Таким образом, мы выражаем предпочтение какому-либо пути через суммарную заработную плату, которую человек получит за N лет. Метод не учитывает морально-психологической значимости какого-либо пути. Так же не учитываются всевозможные случайные. Для объективности оценки материальной стороны вопроса все денежные величины берутся на момент t_0 - время принятия решения, таким образом, учет инфляции должен быть сделан при задании исходных данных.

Предпочтения, связанные с морально-психологической стороной выбора, могут быть учтены путем увеличения или уменьшения заработной платы, если мы введем "денежный эквивалент" моральной составляющей, которую можно оценить экспертным путем или на основании результатов социологических опросов.

Данная математическая модель проблемы использует специально разработанную для данной работы модель карьеры человека, в частности зарплаты человека в функции времени.

Модель карьеры человека.

Будем считать, что с течением времени t человек будет получать зарплату, равную

$$W = a^2t + bt + c . \quad (1)$$

Выражение (1) является уравнением параболы. В нем a , b - коэффициенты, определяющие скорость роста карьеры; c - минимальная зарплата, она равна зарплате, которую получит человек в момент трудоустройства.

Коэффициенты a и b - отвечают за скорость роста зарплаты человека, обусловленные как повышением стажа, так и переходом на новые (более высокие) должности. В любой организации $a, b \geq 0$. При больших значениях a говорят о вертикальной карьере (быстром росте), а при $a=0$ и $b \neq 0$ говорят о монотонном профессиональном росте. Зарплата, которую человек получит в чистом виде за период $(t_0=0; t_1=T)$, будет выражаться интегралом

$$S = \int_0^T (at^2 + bt + c)dt = \frac{aT^3}{3} + \frac{bT^2}{2} + cT. \quad (2)$$

Что человек может сделать с этими деньгами? Существует два варианта. Первый - он сразу их тратит целиком. Второй - он часть тратит, часть отдает в банк под процент p . Будем считать, что человек действует по второму варианту и он тратит деньги тоже по квадратичному закону, то есть его затраты в момент времени t составляют

$$E = dt^2 + dt + f. \quad (3)$$

Основным условием существования человека является $a \geq d$, $b \geq d$, $c \geq f$. При невыполнении этого условия человек остается без денег. После определенных расходов у человека остается денег

$$L = S - E. \quad (4)$$

Эти деньги по нашей модели человек отдает под процент p , насчитываемый за каждый интервал времени. Мы считаем, что процент начисляется каждый год по геометрической прогрессии. Мы предполагаем, что человек каждый месяц заводит счет на остатки от зарплаты, заводя каждый месяц новый счет и что заведение нового счета абсолютно бесплатно. Средства, которые человек снимет через K периодов будут выражаться по формуле:

$$Y = \left(L \cdot \left(1 + \frac{p}{100} \right) \right)^K. \quad (5)$$

Будем считать, что при нецелом K сумма достаточно близко аппроксимируется выражением (5). Вообще, порядок выплаты зависит от условий контракта с банком.

Рассмотрим вариант финансирования в течение времени, когда человек не работает, он берет средства без процентов.

Считаем, что человек начинает принимать решение в момент времени $t=0$.

1. Вариант – работать не повышая квалификации

Входные данные:

a_1, b_1, c_1 - параметры работы, на которую человек устраивается.

d_1, e_1, f_1 - параметры расходов человека.

t_{01} - время устройства на работу. Если $t_{01} > 0$, считаем, что до начала работы человек потребляет по закону $E=f_{01}$ (то есть одну и ту же сумму). Сумму потом он отдает без учета ставки процента. Считаем t_{01} - номер месяца, с которого человек зачислен на работу.

Также считаем, что человек тратит на курсы по обучению. Пусть он затрачивает на курсы в сумме Q_1 денег до начала получения зарплаты. Считаем, что он проходит их либо на свои, с условием последующего возвращения. В любом случае, деньги за курсы он отдает ("выщипывает") из собственных расходов, то есть его расходы постоянно подчиняются (2), независимо от того, какая часть из них заплачена за курсы, а какая - потрачена на личные нужды.

Сумма денег E_1 , которую человек отдаст, будет выражаться как

$$E_1 = f_{01} \cdot (t_{01} + 1) + Q_1.$$

Тогда зарплата, которую он получит за N месяцев, будет выражаться вели-

чиной I_1

$$I_1 = \frac{a_1 - d_1}{3 \cdot (N - t_{01})^3} + \frac{b_1 - e_1}{2 \cdot (N - t_{01})^2} + (c_1 - f_1) \cdot (N - t_{01}).$$

Итоговую сумму денег M_1 , которой человек будет обладать через N месяцев, будет выражается формулой

$$M_1 = I_1 - E_1 M. \quad (6)$$

Данная формула справедлива при любом $t \geq t_{01}$. (Деньги, заплаченные за курсы, мы сразу учитываем). Формула (6) показывает, сколько денег будет иметь человек.

2. Вариант - учиться, потом работать

Входные данные

a_2, b_2, c_2 - параметры работы, на которую человек устраивается.

d_2, e_2, f_2 - параметры расходов человека.

t_{02} количество месяцев, через которое человек устроился на работу после окончания обучения. Данная величина может иметь отрицательное значение (человек начал работать, ее обучаясь).

t_{12} - количество месяцев, через которое человек начинает учиться (начало семестра).

Расходы на дополнительные курсы, обучение задаются в виде множества S_{2i} , где i -абсолютный номер месяца, в который произведен i -ый расход. Также задается месяц t_{e2} , в который человек заканчивает делать расходы на курсы и образование, не включая платы за ВУЗ. Также задается постоянная величина f_{02} , имеющая аналогия с f_{01} - постоянными затратами.

Задана продолжительность учебы в единицах интервалах, за каждый из которых требуется заплатить в конце интервала. Итак, U - количество интервалов, l - длина интервала в месяцах, W - оплата, производимая в конце каждого интервала. Плата за все месяцы, которые человек не работает, будет выражаться следующим образом:

$$C_2 = f_{02} \cdot (t_{12} + t_{02} + 1) + \sum S_{2i} + W \cdot U.$$

Первый член данной сумм - постоянные расходы. Второй - расходы на курсы и дополнительное обучение. Третий - оплата за обучение в ВУЗе.

Тогда зарплата I_2 , которую он получит за N месяцев, будет выражаться величиной

$$I_2 = \frac{a_2 - d_2}{3 \cdot (N - t_{12} - t_{01})^3} + \frac{b_2 - e_2}{2 \cdot (N - t_{12} - t_{02} - 1)^2} + (c_2 - f_2) \cdot (N - t_{12} - t_{02} - 1).$$

Итоговую сумму денег M_2 , которой человек будет обладать через N месяцев, будет выражается формулой

$$M_2 = I_2 - E_2.$$

Литература

1. Спивак В.А. Организационное поведение и управление персоналом. – СПб: Питер, 2000. – 416 с.

346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ),
ФГиСЭО, каф. экономической теории, тел.(86352)55426, e-mail: serbinovskiy@mail.ru

МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Сербиновский Б.Ю., Мирошник И.С.

Комплексная оценка хозяйственной деятельности представляет собой ее характеристику, полученную в результате комплексного исследования, т. е. одновременного и согласованного изучения совокупности показателей, отражающих все (или многие) аспекты хозяйственных процессов, и содержащую обобщающие выводы о результатах деятельности производственного объекта на основе выявления качественных и количественных отличий от базы сравнения (плана, нормативов, предшествующих периодов, достижений на других аналогичных объектах, других возможных вариантов развития).

Для того чтобы комплексная оценка была действенным орудием хозяйственного управления, необходимо разрабатывать практические методы ее конструирования, которые можно было бы использовать в ежедневной работе.

Комплексная оценка служит инструментом учета, анализа и планирования; индикатором научно-технического состояния хозяйственного объекта в изучаемой совокупности; критерием сравнительного оценивания коммерческой деятельности предприятий и их подразделений, а также показателем эффективности принятых ранее управленческих решений и полноты их реализации; основой выбора возможных вариантов развития производства и показателей ожидаемых результатов в будущем: стимулятором производства.

В настоящее время, к сожалению, существуют препятствия как методологического, так и организационного характера тому, что бы комплексная оценка удовлетворяла этим требованиям. Поэтому нередко возникают ситуации, когда полученные тем или иным приемом обобщающие оценки производственно-хозяйственной деятельности не соответствуют экономической действительности или на практике не оправдывают усилий, затраченных на сбор и обработку данных.

При малом числе оцениваемых параметров и относительно небольшом количестве объектов балансовые комиссии как основные звенья на предприятиях, занимающиеся обобщением результатов работы, удачно справляются с поставленными перед ними задачами выявления комплексной оценки. При увеличении количества объектов и особенно показателей критериев оценки решение задачи усложняется. Теоретически следует, что надо оценивать достижения предприятий или их подразделений по одному какому-либо показателю, синтезирующему все стороны деятельности этого объекта. Однако сложность производственно-хозяйственной деятельности не позволяет выделить из числа обобщающих результативных показателей какой-либо один в качестве основного.

Задача сводится к определению комплексной оценки хозяйственной деятельности на основе системы показателей с агрегированием различных приемов качественного и количественного анализа. При этом эффективность производственно-хозяйственной деятельности одного хозяйственного объекта может

сравниваться с эффективностью деятельности других объектов. В данном случае принято говорить о превращении комплексной оценки в сравнительную комплексную оценку производственно-финансовой деятельности. Причем саму процедуру комплексной сравнительной оценки можно типизировать и расчленять на следующие относительно самостоятельные этапы: конкретизация целей и задач комплексной оценки; выбор исходной системы показателей; организация сбора исходной информации; расчет и оценка значений частных показателей (мест, балльных оценок, коэффициентов по исходным показателям и т.д.); обеспечение сравнимости оцениваемых показателей (определение коэффициентов сравнительной значимости); выбор конкретной методики, т. е. разработка алгоритмов программ расчета комплексных сравнительных оценок; расчет комплексных оценок; экспериментальная проверка адекватности комплексных, обобщающих оценок реальной экономической действительности; анализ и использование комплексных сравнительных оценок.

Осуществление разных этапов построения комплексных оценок связано со многими нерешенными проблемами, например, при выборе целей оценки, определении системы оцениваемых показателей и коэффициентов их сравнительной значимости, а также с затруднениями при разработке вычислительного алгоритма. Становится ясно, что конкретные значения обобщающих оценок определяются не только трудовым вкладом коллективов исследуемых хозяйственных объектов, но во многом зависят от совершенства проведения отдельных этапов построения комплексных оценок. По этой причине их нахождение и использование требуют пристального внимания и существенного совершенствования.

Для получения обобщающих комплексных оценок можно применять различные методы сведения различных показателей в единый интегральный показатель.

Сведение ряда показателей в единый интегральный показатель позволяет определить отличие достигнутого состояния от базы сравнения в целом по группе выбранных показателей и, хотя оно не дает возможности измерить степень отличия, позволяет сделать однозначный вывод об улучшении (ухудшении) результатов работы за анализируемый промежуток времени. Однако конструирование интегрального показателя не означает, что для оценки используется лишь он один. Напротив, интегральный показатель предполагает исследование системы показателей, лежащих в основе оценки, а выводы, полученные только на базе интегрального показателя, носят лишь ориентировочный характер, выполняют вспомогательную (хотя и важную) роль определения характера изменений (отличий) в результатах хозяйственной деятельности в целом по всем показателям. И именно потому, что интегральный показатель дает существенную дополнительную информацию для объективной оценки результатов деятельности производственного объекта, необходимо разрабатывать и совершенствовать методы построения интегрального показателя. Ряд таких детерминированных методов, уже разработанных и успешно используемых при подведении итогов работы коллективов и их структурных подразделений, приведен ниже.

Интегральный показатель комплексной оценки получается методом

сумм, т. е. суммированием фактических значений, или же рассчитывается для каждого производственного объекта по формуле

$$K_j = \sum_{i=1}^n x_{ij}^{\phi} / x_{ij}^{\sigma},$$

где x_{ij}^{ϕ} , x_{ij}^{σ} — соответственно фактическое и базисное значения i -го показателя на j -м производственном объекте; $i=1,2,\dots,n$, $j=1,2,\dots,m$

Необходимым условием правильной оценки при использовании интегральных показателей, полученных по приведенной выше формуле, является однонаправленность исследуемых показателей, т.е. увеличение (уменьшение) значения любого частного показателя расценивается как улучшение результатов хозяйственной деятельности, а соответственно уменьшение (увеличение) значения частного показателя — как ухудшение результатов деятельности производственного объекта. Однонаправленность частных показателей позволяет ранжировать производственные объекты по возрастанию (убыванию) значений интегрального показателя.

Оценка результатов хозяйственной деятельности по методу сумм может строиться по различным частным показателям и не только в сравнении с планом, но и предыдущими периодами (оценка динамики) и с эталонными значениями показателей по группе производственных объектов.

Недостатком метода сумм является возможность высокой оценки результатов по интегральному показателю при значительном отставании по какому-либо частному показателю, которое покрывается за счет высоких достижений по другим частным показателям. В определенной степени этот недостаток может быть ликвидирован, если наряду с единым интегральным показателем рассчитывать два дополнительных показателя, отражающих отдельно сумму положительных и сумму отрицательных отклонений значений частных показателей от базы сравнения:

$$K_j^+ = \sum_{i=1}^n x_{ij}^+;$$

$$K_j^- = \sum_{i=1}^n x_{ij}^-; j=1,2,\dots,m,$$

где $x_{ij}^+ = \{x_{ij}^{\phi} / x_{ij}^{\sigma}, \text{если } -x_{ij}^{\phi} \geq x_{ij}^{\sigma}; 0, \text{если } -x_{ij}^{\phi} < x_{ij}^{\sigma}; x_{ij}^- = \{x_{ij}^{\phi} / x_{ij}^{\sigma}, \text{если } -x_{ij}^{\phi} < x_{ij}^{\sigma}.$

Метод геометрической средней предполагает расчет коэффициентов для оцениваемых показателей, таких, чтобы $0 < a_{ij} < 1$. За единицу принимается значение, соответствующее наиболее высокому уровню данного показателя.

Обобщающая оценка получается в виде коэффициента:

$$K_j = \left[\prod_{i=1}^n a_{ij} \right]^{\frac{1}{n}}; j=1,\dots,m$$

Этот метод целесообразно применять при относительно малом числе оцениваемых показателей и в случае, если большинство их значений близко к единице.

В некоторых случаях применим метод коэффициентов, когда оценка получается умножением соответствующих коэффициентов. Этот метод практически не отличается от метода средней геометрической:

$$K_j = \prod_{i=1}^n a_{ij} ; j=1, \dots, m$$

Метод суммы мест предполагает предварительное ранжирование всех цехов по отдельным показателям. Каждому показателю соответствует новый параметр s_{ij} определяющий место каждого среди других по i -му показателю. Составляется таблица баллов $\{s_{ij}\}$, а на основе этой матрицы рассчитывается конкретное значение обобщающей оценки:

$$K_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} s_{ij} ; j=1, \dots, m$$

Следует отметить, что применение методов сумм, суммы мест, геометрической средней возможно только в случае однонаправленности влияния всех оцениваемых параметров на эффективность производства. В противном случае при расчете показателя комплексной оценки в качестве критериев берутся обратные к исходным величинам показателя.

Основой метода расстояний является учет близости объектов по сравниваемым показателям к объекту-эталону. Важно правильно определить эталон. За эталон может быть принят условный объект с максимальными элементами по всем показателям:

$$x_{i,m+1} = \max(x_{ij}), \quad i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$$

В некоторых случаях типичным объектом считается такой, значения показателей которого равны средним арифметическим уровням показателей в изучаемой совокупности. Однако в совокупности экономических объектов, где преобладают асимметрические распределения, среднее арифметическое в качестве характеристики типичного, эталонного объекта утрачивает свое значение.

Иногда предлагается использовать дополнительно в качестве эталона 100%-ное выполнение плана по всем показателям, указывая при этом на нежелательность, как недовыполнения, так и перевыполнения плана.

Расчет комплексной оценки проводится по формуле евклидова расстояния от точки эталона до конкретных значений показателей оцениваемых объектов. Перед конкретными расчетами, когда элементами расстояния являются несоизмеримые единицы показателей, проводится нормирование путем деления значений показателей x_{ij} на значения показателя эталонного объекта $x_{i,m+1}$. Для каждого объекта рассчитывается расстояние до эталона по следующей формуле:

$$K_j = \left[\sum_{i=1}^M \left(1 - \frac{x_{ij}}{x_{i,m+1}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Упорядочивая значения K по возрастанию, получаем комплексное ранжирование хозяйственных объектов, причем наименее удаленный от точки эталона объект получает наивысшую оценку (первое место) и т. д.

Необходимо обращать внимание на обоснованность расстояний между значениями показателей конкретного цеха и эталона без учета того, что отдельные стороны деятельности оказывают неодинаковое влияние на эффективность производства. При таких условиях, на отдельные показатели можно смотреть

как на равноправные, имеющие одинаковую важность. Для того чтобы отдельным показателям придавать тот или иной вес и получать экономически более обоснованное расстояние, целесообразно использовать коэффициенты сравнительной значимости. Предлагаем, применяя метод расстояний, использовать выраженные целыми числами коэффициенты, существенно отличающиеся друг от друга, ибо чувствительность метода к изменениям коэффициентов a , является незначительной.

Методы стохастической комплексной оценки. В дополнение к ранее рассмотренным используется метод двумерного шкалирования, позволяющий учитывать, кроме абсолютных значений показателей и степени варьирования, механизм влияния отдельных факторов на результаты деятельности. Этот метод по содержанию является, как бы мостом между детерминированным и стохастическими методами, поскольку имеет характерные черты для обеих групп.

Во многих случаях задачу построения обобщающих оценок хозяйственной деятельности можно успешно решать, используя экспертно-статистические методы и метод компонентного анализа.

В первом случае самостоятельное значение имеет обобщающая оценка $\varphi(x)$, характеризующая выполнение предприятием поставленных перед ним целей, выраженных через частные показатели эффективности.

Задание целевой функции

$$\varphi_x = \sum_{i=1}^n c_i x_{ij}; j=1, \dots, m,$$

дает возможность интегрально оценить различные стороны деятельности с конечной целью их оптимизации.

Литература

1. Вёйе Г. Дернинг У. Введение в общую экономику и организацию производства. – Красноярск: КТУ, 1995. – 509 с.
2. Ванинский А.Я. Факторный анализ хозяйственной деятельности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 179 с.
3. Калина А.В. Организация и оплата труда в условиях рынка (аспект эффективности): Учебно-методическое пособие. – К.: МАУП, 1997. – 300 с.
4. Петухов Р.М. Оценка эффективности промышленного производства: Методы и показатели. – М.: Экономика, 1994. – 191 с.
5. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: Учебное пособие. – Минск: Экоперспектива, 1998. – 498 с.

УДК 658.32.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧИСЛЕНИЯ И РАСЧЕТА ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ

Ли О.А., Дмитриевский Б.С.

Учет труда и заработной платы является одним из наиболее трудоемких и ответственных участков работы бухгалтера. Целью моделированию данной системы является представление системы в виде отдельных блоков, их взаимосвязей между собой и с внешней средой.

Областью моделирования является отдел расчетная часть и бухгалтерия. Все другие отделы предприятия считаются внешними.

У модели начисления и расчета заработной платы входными величинами является информация, влияющая на размер заработной платы, выходными - отчеты, ведомости, которые поступают в другие отделы бухгалтерии.

Модель начисления и расчета заработной платы можно условно разделить на четыре части: расчет заработной платы, выплата заработной платы, депонирование заработной платы, учет заработной платы в бухгалтерии.

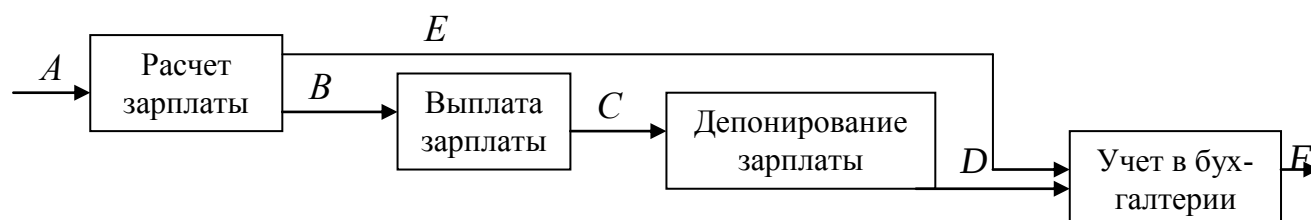


Рис.1:

А- входные документы (табель учета рабочего времени, штатное расписание, приказы отдела труда, договоры, ведомость доплат цехов, больничные листы и т.д.), В- платежная ведомость для выплаты заработной платы, С- журнал депонированной заработной платы, D- информация о депонировании зарплаты в бухгалтерии, Е- отчеты (расчетные листы для каждого сотрудника, платежная ведомость для выплаты заработной платы, ведомость с разбивкой по темам затрат и сотрудникам, ведомость с разбивкой по темам затрат и подразделений и т.д.), F- выходная информация.

Расчет заработной платы происходит по каждому сотруднику. После компьютерной обработки информация преобразовывается из простых начислений и удержаний в платежную ведомость. Кассир получает платежную ведомость из расчетной части и на основании ее выдает деньги из кассы.

Информация по депонированной заработной плате регистрируется в ведомости, где указываются: остатки на текущий период по каждому сотруднику и текущая задолженность предприятия перед работником.

Вся проделанная работа по расчету, выплате, депонированию заработной плате должна отразиться в бухгалтерии. Это привело к появлению четвертого и последнего блока модели.

392000 г. Тамбов, ул. Советская 106, ТГТУ, кафедра ИПУ, т.72-91-87

УДК 613.15

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПЛАНИРОВАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сурина Н.А., Пигунова О.В.

Развитие методов математического моделирования и использование компьютерных технологий в исследованиях по аграрной экономике, а также использование результатов этих исследований в производственной практике сельскохозяйственных предприятий на различных уровнях управления в отрасли сельского

хозяйства является одним из приоритетных направлений применения математических методов и задач в экономике агропромышленного комплекса. Важной особенностью развития предприятия является обязательность ежегодного прохождения этапа перспективного планирования, с тем, чтобы своевременно реагировать на изменяющиеся условия. Одним из этапов решения данной задачи является правильно рассчитанная урожайность. Существует множество подходов к расчетам урожайности: с использованием экспертных оценок, элементов расчетного-конструктивного метода, статистико-экономических группировок, экстраполяции, экономико-математического моделирования.

Для построения модели урожайности необходимо провести правильный отбор факторов, включаемых в модель. В сложном переплетении экономических явлений учесть влияние всех факторов практически невозможно. Не все факторы можно измерить количественно, поэтому необходим отбор наиболее существенных при абстрагировании от остальных.

Число факторов не должно быть слишком большим, так как в этом случае возникают сложности, связанные с взаимным влиянием факторов друг на друга.

Включаемые в модель факторы не должны находиться между собой в функциональной или близкой к ней связи, нельзя включать факторы, один из которых является частью другого. Для того, чтобы провести правильный отбор факторов, включаемых в модель, необходимо, прежде всего проанализировать корреляционную матрицу, включающую парные и частные коэффициенты корреляции, и критерий существенности.

Используем следующие факторы:

y – урожайность, ц/га;

x_1 – качество земли в баллах;

x_2 – количество внесенных удобрений на 1 га, ц д.в.;

x_3 – фондооснащенность растениеводства, тыс. руб.;

x_4 – затраты труда на 1 га, чел-час.;

x_5 – удельный вес культуры в структуре посевных площадей, %.

Расчеты произведены на персональном компьютере.

Анализ корреляционной матрицы показал, что в полученной выборке наиболее тесная связь существует между урожайностью и качественной оценкой земли (коэффициент корреляции равен $-0,802$), менее тесная между урожайностью и внесением удобрений ($0,431$), другие факторы оказывают меньшее влияние на вариацию результата.

УДК 613.15

ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТРЕНДОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Пигунова О.В.

Развитие и применение методов математического моделирования экономических процессов позволяет обеспечить не только обработку и качественный анализ информации, но и сделать необходимые прогнозные расчеты тен-

денций, складывающихся в АПК. Решение прогнозных задач возможно прежде всего на основе создания и исследования экономико-математических моделей. Точность прогноза и период, в течении которого корреляционная связь между результатами прогноза и фактическими параметрами деятельности предприятия, достаточно сильная, зависит, в первую очередь, от адекватности экономико-математических моделей реальным условиям хозяйственной деятельности.

Чаще всего для анализа тенденций изменения и прогноза развития результативных показателей аграрного производства используют трендовые модели, в которых в качестве зависимой переменной выступает результативный признак, а качестве независимой переменной - фактор времени. Такое математико-статистическое сглаживание динамических рядов бывает очень полезным, когда имеются данные достаточно большего временного интервала 10-20 лет. Однако надо иметь в виду, что получение прогнозов на основе больших отрезков времени не всегда оправдано, поскольку процессы интенсификации и совершенствования хозяйственного механизма на разных этапах развития экономики идут неодинаковыми темпами, что оказывает соответствующее влияние на изменение результативных показателей. Например, выравнивание динамического ряда урожайности озимой пшеницы зерновом подкомплексе АПК северо-западной зоны Тарасовского района Ростовской области за двадцатилетний период с 1978 по 1997 гг. показало; что наблюдалось ежегодное снижение урожайности озимой пшеницы в среднем на 5,5 ц/га. При этом, если в среднем за год с 1978 по 1987 гг. урожайность снижалась всего на 2,3 ц/га, то во второй половине с 1986 по 1995 год отмечалось ее падение в среднем 7,5 ц/га. Это говорит о том, что для прогнозов на ближайшие 5 лет при сохранении существующего хозяйственного механизма в АПК целесообразнее использовать динамический ряд последнего десятилетия, так как надежность прогнозов снижается по мере увеличения динамического ряда.

На основе этих моделей можно получить некоторые экономические характеристики, которые невозможно исчислить традиционными методами. Это - дополнительный продукт фактора, кривые затрат - выпуска, производственный коэффициент эластичности, предельную норму заменяемости, пути увеличения выхода продукции.

УДК 65.012.2

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОСТАНОВОЧНЫХ РЕМОНТОВ ХИМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Карташов А.С., Егорова Е.С.

Рассматривается система для решения задач планирования остановочных ремонтов объектов химических производств. Остановочный ремонт - это планово-предупредительный ремонт технологической системы, предприятия, производства, цеха или отдельного объекта, осуществление которого возможно только при условии полной остановки и прекращения выпуска продукции дан-

ной технологической схемой, предприятием, производством, цехом.

Выделим наиболее часто решаемые задачи при планировании остановочного ремонта: а) нахождение минимального времени выполнения остановочного ремонта при отсутствии ограничений на трудовые ресурсы; б) нахождение минимального времени выполнения работ остановочного ремонта при наличии ограничений на трудовые ресурсы; в) разработка плана работ остановочного ремонта по критерию суммарных затрат. Некоторыми из результатов решения перечисленных задач являются фиксированное время выполнения ремонта и ежедневная занятость ремонтного персонала в виде карты проекта ремонта. Далее решаются подзадачи оптимального распределения ресурсов при заданном времени выполнения проекта.

Для решения этих экономических задач, а также подзадач оптимального распределения ресурсов была разработана «Система оперативного планирования остановочных ремонтов объектов химических производств». Рассматриваемая система включает в себя четыре подсистемы: сбора и обработки исходных данных; планирования и управления; снабжения запасными частями; выдачи документации.

Конечным продуктом действия системы является выявление и мобилизация резервов времени и материальных ресурсов, скрытых в нерациональной организации производственных процессов; осуществление управления проектом с прогнозированием и предупреждением возможных сбоев в ходе выполнения проекта; улучшение технических показателей проекта; повышение эффективности управления в целом при четком распределении ответственности между руководителями разного уровня и ответственными исполнителями.

Использование разработанной системы дает возможность спланировать требуемый ремонт, найти оптимальные сроки его проведения, при ограниченных производственных ресурсах, рассчитать затраты на ремонт, а также осуществлять оперативный контроль за ходом ремонтных работ.

Значительная гибкость системы позволяет использовать её не только для планирования капитальных и остановочных ремонтов химических производств, но и для планирования тех работ, которые можно представить в виде сетевой модели, т.е. практически на любых производствах и предприятиях.

УДК 001.891.573(1-924.86)(470.62)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОБИОЦЕНОЗОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Матвиенко В.Ю.

Оценка продуктивности агроэкосистемы и, в первую очередь, зерновых агробиоценозов является важнейшей частью информационного обеспечения современного сельскохозяйственного производства. Полученные данные служат основой для оценки экономического потенциала территории, оценки качества использования земель, оптимизации процесса производства, переработки и

потребления продукции растениеводства, управления рынком зерна и пропорционального развития сопутствующих отраслей хозяйства.

Реализацию этой задачи целесообразно осуществлять путем использования современных методов и технических средств сбора и обработки информации. При этом наиболее перспективным методом сбора данных является аэрокосмическая съемка контролируемой территории, обеспечивающая высокую достоверность материала, оперативность и экономичность процесса его сбора и обработки, оптимальные формы выходной информационной продукции. Эффективность этого метода существенно возрастает при его использовании в режиме мониторинга агресурсов, в частности, посевов зерновых колосовых культур, занимающих на территории степной зоны Краснодарского края свыше 70% общей площади сельхозугодий.

Продуктивность агробиоценозов в конечном итоге выражается через урожайность сельскохозяйственных культур, поэтому задачи оценки их продуктивности сводится, наряду с текущей оценкой состояния, к прогнозированию урожайности основного компонента агробиоценоза – сельскохозяйственной культуры. В нашем случае ею является озимая пшеница – основная зерновая культура на Кубани. Прогнозирование урожайности должно основываться на системном изучении совокупности экологических взаимосвязей и компонентов агробиоценоза, выделении определяющих факторов его развития, текущей оценки состояния и наличии специализированного математического расчетного аппарата. Основой последнего должна быть математическая модель развития сельскохозяйственной культуры, степень адекватности которой реальному объекту должна удовлетворять требованиям достоверности прогнозных данных. Поскольку развитие реального объекта сопряжено с изменением его биологических параметров и значения агроэкологических факторов при прогнозировании урожайности необходимо учитывать модели продуктивности, разрабатываемые для каждой из основных фаз развития культуры, то есть практически прогноз строится на основе банка моделей, образующего обобщенную модель урожайности, определяемую предшествующими моделями развития в хронологической последовательности, соответствующей фазам развития культуры и продолжительности ее вегетации.

Для прогнозирования урожайности озимой пшеницы в степной зоне края использовались регрессионные, регрессионно-корреляционные и корреляционно-регрессионные модели, различающиеся набором учитываемых агроэкологических показателей и результативностью прогноза. Модели регрессии включают агрометеорологические показатели вегетации статистического характера с учетом параметров текущего года и среднесуточной урожайности. Невысокая точность прогноза, рассчитываемого по этим моделям, объясняется тем, что они не учитывают биологического и фитосанитарного состояния культуры на конкретной территории. Регрессионно-корреляционные модели дополнительно включают параметрические показатели продуктивности (фитомасса, количество генеративных органов, вес формирующихся зерен и пр.), определяемые при наземных учетах на контрольных полях, но они верны именно для этих весьма ограниченных территорий и не допускают возможности надежной

экстраполяции прогнозных данных в пространстве.

Наиболее перспективными представляются корреляционно-регрессионные модели, которые, совмещая положительные стороны предыдущих типов моделей, качественно повышают результативность прогноза за счет внесения корректировок, обусловленных текущим фитосанитарным состоянием культуры, то есть информации о природно-антропогенных воздействиях, определяющих современное ее состояние и последующее развитие. Эта информация формируется на основе данных аэрокосмического мониторинга агроресурсов и позволяет (в составе математических моделей) повысить достоверность прогноза, осуществить в более ранние сроки, обеспечить широкую пространственную экстраполяцию прогнозных данных и в итоге – повысить управленческую экономическую эффективность математического прогнозирования урожайности.

Технологические аспекты прогнозирования на основе математических (применение к компьютерной технике, оригинальное программно-математическое обеспечение, использование мониторинговой информации и геоинформационных технологий) позволяют адаптировать разработанную методику прогноза урожайности озимой пшеницы в систему дистанционного (аэрокосмического) мониторинга земель и экосистем Краснодарского края.

Литература

1. Научные основы мониторинга земель Российской Федерации / Под. ред. А.Н. Каштанова. – М.: АПЭК, 1992. – 70 с.
2. Свисюк И.В. Погода, интенсивная технология и урожайность озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 226 с.
3. Трахов Э.Н., Булгаков Э.С., Исаулова С.С. и др. Прогнозирование урожайности озимой пшеницы с использованием материалов аэрофотосъемки // Исследования земли из космоса. – 1992. – № 5. – С. 102-106
4. Матвиенко В.Ю. Биология развития озимой пшеницы и роль факторов окружающей среды для формирования урожая // Сб. научных трудов Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки. – 2000. – Т. 4. – С. 35.

350049, г. Краснодар, ул. Ставропольская 149, Кубанский государственный университет, кафедра математического моделирования, 699-578, e-mail: mvu@mail.kubsu.ru

УДК 626.8 519.86

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЮ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Барышникова Е.В.

В процессе расчёта показателей экономической эффективности инвестиционных проектов используются такие труднопрогнозируемые факторы, как показатели инфляции, планируемые объёмы сбыта и многие другие. В связи с этим целесообразным является применение так называемого сценарного подхода. Сценарный подход подразумевает проведение альтернативных расчётов с

данными, соответствующими различным вариантам развития проекта. Такой подход широко используется в имитационном моделировании. Применение имитационной модели для оценки эффективности строительства или реконструкции оросительных систем позволит рассмотреть множество альтернативных вариантов, практически мгновенно получить результаты расчёта их эффективности используя известные компьютерные программы.

Нами была разработана имитационная модель жизненного цикла реконструируемой оросительной системы для проверки гипотезы о целесообразности повышения уровня мобильности строительных организаций. Реализация модели осуществлялась на ПЭВМ с использованием автоматизированной системы планирования и анализа эффективности инвестиционных проектов Project Expert.

В основе системы Project Expert лежит имитационная модель денежных потоков. Это позволяет построить модель реализации проекта реконструкции оросительной системы (ОС) и проиграть варианты ведения сельхозпроизводства на орошаемых землях в различных условиях, в соответствии с различными сценариями.

Динамическая имитационная модель позволяет создать модель проекта, с максимальной достоверностью имитирующую реальную операционную деятельность сельскохозяйственных производителей на орошаемых землях.

Формирование показателей в имитационной модели происходит в соответствии с методами финансового и инвестиционного анализа, общепринятыми в международной деловой практике. Используемые в системе Project Expert методы полностью соответствуют «Методическим рекомендациям по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования», утвержденным Госстроем, МинЭкономики, Министерством финансов России 31.03.94г.[1]

Последовательность процедур по вводу и обработке данных в процессе использования имитационной модели денежных потоков приведена далее (рисунки 1).

Оценка затрат и результатов при оценке эффективности проекта реконструкции ОС при осуществлении строительства подрядными организациями с разным уровнем мобильности выполняется в пределах расчетного временного периода: от начала финансирования проектно-изыскательских работ до окончания эксплуатации оросительной системы, т.е. ее жизненного цикла.

В ходе исследований поведения модели жизненного цикла и для повышения надежности оценки показателей эффективности расчеты проводились при различных вариантах значений исходных данных.

Для проверки влияния уровня мобильности на сокращение продолжительности реконструкции в качестве объектов-представителей рассмотрены участки реконструкции оросительных систем в трёх хозяйствах. Параметры этих участков, условия сельскохозяйственного производства, состав и объёмы работ по реконструкции являются характерными для орошаемых хозяйств Ростовской области и Ставропольского края, степной части Краснодарского края. В качестве исходных использованы материалы рабочих проектов реконструкции, разработанных проектными институтами ЮжГИПРОВОДХОЗ и

СЕВКАВГИПРОВОДХОЗ. Основные технико-экономические показатели участков реконструкции приведены в таблице 1.

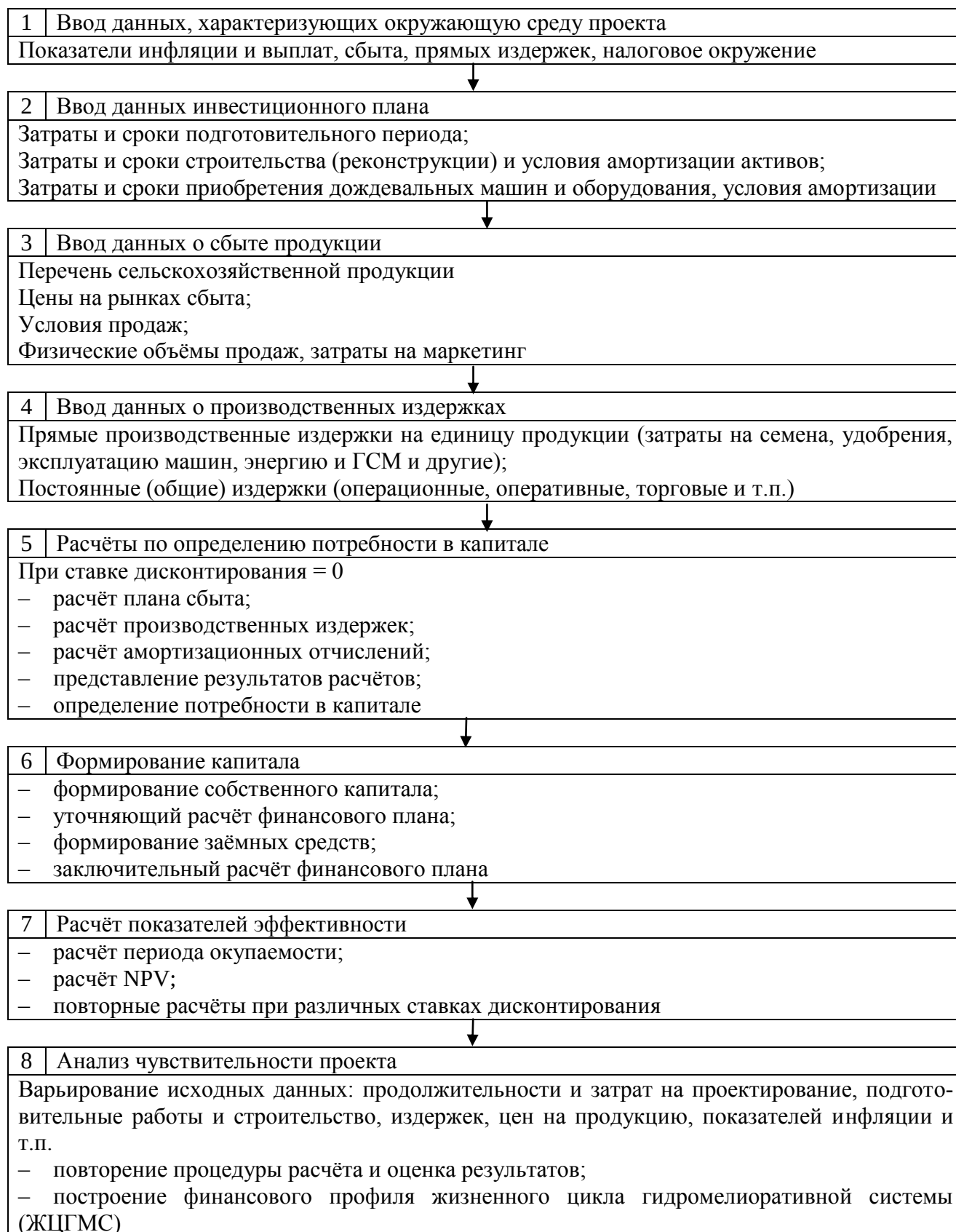


Рис. 1. Последовательность процедур расчета имитационной модели

Состав, объёмы производства, урожайности сельскохозяйственных культур и продукции животноводства, принятые в имитационной модели, представлены в таблице 2, валовые объёмы продаж, издержки производства с/х продукции и распределение инвестиций в период строительства и освоения приведены в таблице 3.

Таблица 1

Основные показатели объектов - представителей

Наименование хозяйства	Площадь реконструируемого участка, га	Стоимость реконструкции, тыс. руб.	Продолжительность по проекту, мес.		Вид севооборота
			строительства	освоения	
АО "Рассвет", Мартыновского р-на Ростовской обл.	1188	30800	34	24	Зерново-кормовой
АО "Егорлыкское" Сальского р-на Ростовской обл.	980	23538	20	24	Зерново-кормовой
ЗАО "Родина" Ипатовского р-на Ставропольского края	328	37396,2	32	36	Зерново-кормовой

Таблица 2

Объёмы поставок и издержки производства по АО "Рассвет"

Список продуктов	Объём поставок, т по годам							Цена, тыс.руб/т	Издержки производства, тыс.руб./т
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006-2019		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ячмень и многолетние травы	116,2	387,2	329,1					0,92	0,79
Многолетние травы	132,0	44,0	374,0					1,25	1,0
Кукуруза на силос и пожнивные	528,0	1760,0	1496,0					0,45	0,22
Кукуруза на зерно (богара)	132,0	440,0	374,0					1,5	0,89
Озимая пшеница				343,0	1249,5	1396,5	1470,0	1,25	0,87
Ячмень				160,1	583,1	651,7	686,0	0,95	0,83
Кукуруза на зерно				513,3	1870,0	2090,0	2200,0	1,6	0,85
Кукуруза на зелёный корм				2333,3	8500,0	9500,0	10000,0	0,58	0,35
Травы на сено	33,33	45,0	40,0	365,9	1332,8	1489,6	1568,0	0,8	0,5
Мясо					23,33	85,0	95,0	36,0	30,5
Молоко				32,5	50,0	60,0	120,0	5,5	5,42

Таблица 3

Валовые объёмы продаж, издержки и инвестиции

Показатели	Годы						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006-2015
ЗАО «Родина»							
1.Валовый объём продаж, тыс.руб.	27154,3	27154,3	27154,3	29955,3	40460,	48504.	53893,3
2.Производственные издержки, тыс.руб.	18000,0	18000,0	18000,0	22000,0	22000,0	22000,0	33000,0
3.Инвестиции, тыс.руб.	13207,0	15174,4	9042,1	81,67	81,67	54,44	
АО «Рассвет»							
1.Валовый объём продаж, тыс.руб.	2600,8	2801,2	11765,0	18578,3	21362,5	22045,5	24172,4
2.Производственные издержки, тыс.руб.	1941,5	1905,7	7316,0	12199,7	14113,4	14658,8	15944,7
3.Инвестиции, тыс.руб.	14490,4	15231,6	5353,6	50,89			
АО «Егорлыкское»							
1.Валовый объём продаж, тыс.руб.	439,3	8442,4	10130,9	11256,6	11256,6	11256,6	11256,6
2.Производственные издержки, тыс.руб.	404,0	1658,0	1658,0	1658,0	1658,0	1658,0	1658,0
3.Инвестиции, тыс.руб.	22876,8	5719,2					

В результате расчётов с помощью имитационной модели по программе Project Expert были определены основные параметры жизненного цикла оросительных систем после их реконструкции, таблица 4.

Таблица 4

Результаты расчёта показателей ЖЦГМС

Наименование участка реконструкции	Величина капитала инвестированного в реконструкцию, тыс. руб.		Период расчёта, лет	Продолжительность строительства, мес.		Срок окупаемости, мес.	
	$Y_M \rightarrow \min$	$Y_M \rightarrow \max$		$Y_M \rightarrow \min$	$Y_M \rightarrow \max$	$Y_M \rightarrow \min$	$Y_M \rightarrow \max$
ЗАО «Родина»	37396.2	39396.3	16	32	28	62	52
АО «Рассвет»	30800.0	35000.0	20	34	28	111	108
АО «Егорлыкское»	23538.0	28596.0	30	20	15	58	54

Как видно из таблицы 4, при высоком уровне мобильности строительной организации обеспечивается сокращение срока окупаемости инвестиций в реконструкцию. При этом срок окупаемости зависит, прежде всего, от показателей производства на орошаемых землях и объёма инвестиций, а не от величин

ны сокращения срока строительства.

Независимо от ставки дисконтирования, срок окупаемости затрат при осуществлении реконструкции строительной организацией с высоким уровнем мобильности ($U_m \rightarrow \max$) короче, чем при условии выполнения работ с большей продолжительностью, но с меньшим объемом инвестиций.

Таким образом, сокращение продолжительности реконструкции экономически целесообразно при условии наращивания производства на введенных орошаемых землях. Срок окупаемости инвестиций сокращается за счет дополнительной прибыли, получаемой от реализации дополнительной сельхозпродукции, производимой на реконструированных орошаемых участках.

Для большей наглядности представим графическое отображение показателя окупаемости (рисунок 2) в виде временной модели.

Применение представленных временных моделей, составленных с использованием программного продукта Project Expert, позволяет получить наглядное представление о динамике затрат и результатов при реализации различных вариантов реконструкции оросительных систем и сделать обоснованный выбор.

Для окончательного выбора варианта инвестиционно-строительного проекта рассчитываются показатели экономического эффекта. В таблице 5 представлены результаты расчета экономического эффекта заказчика и подрядчика при ставке дисконтирования – 10%.

Таблица 5

Показатели экономического эффекта

Объект	Инвестиции, тыс. руб.	Срок окупаемости, мес.	Продолжительность строительства, мес. (лет)	Экономический эффект заказчика, тыс. руб.				Экономический эффект подрядчика, тыс. руб.		
				Дополнительная прибыль	Потери от замораживания средств	Всего	NPV	Потери от незавершенного производства	Сокращение накладных расходов	Всего
ЗАО "Родина"	37396.2	64	32 (2.7)		1809		91314	1224,9		
	39396.3	62	28 (2.3)	6303.4	1942	4361	98896	1418,6	437,4	243,7
АО "Рассвет"	30800	183	34 (2,8)		1513		5570	981,5		
	35000	182	28(2,3)	3762,5	1738	2024	5631	1228,1	468,7	222,1
АО Егорлыкское"	23538	68	20(1.7)		1268		53437	1078.4		
	28596	65	15(1.25)	4053.5	1544	2509	55062	1161,3	1527	1494,1

По результатам расчетов, представленных в таблице, можно сделать вывод о том, что повышение мобильности строительных подразделений экономически выгодно строительной организации, т.к. оно позволяет сократить продолжительность строительства, что является обычно неизменным условием получения заказа и компенсации дополнительных затрат, связанных с повышением мобильности.

Повышение мобильности строительных организаций экономически выгодно и заказчику, т.к. сокращается продолжительность инвестиционного цикла, а дополнительные затраты на повышение мобильности компенсируются за счет

досрочного ввода объектов в эксплуатацию и получения дополнительной прибыли.

Таким образом, повышение мобильности не противоречит экономическим отношениям между участниками строительства и способствует повышению эффективности мелиоративного строительства и его роли в совершенствовании материальной базы сельскохозяйственного производства.

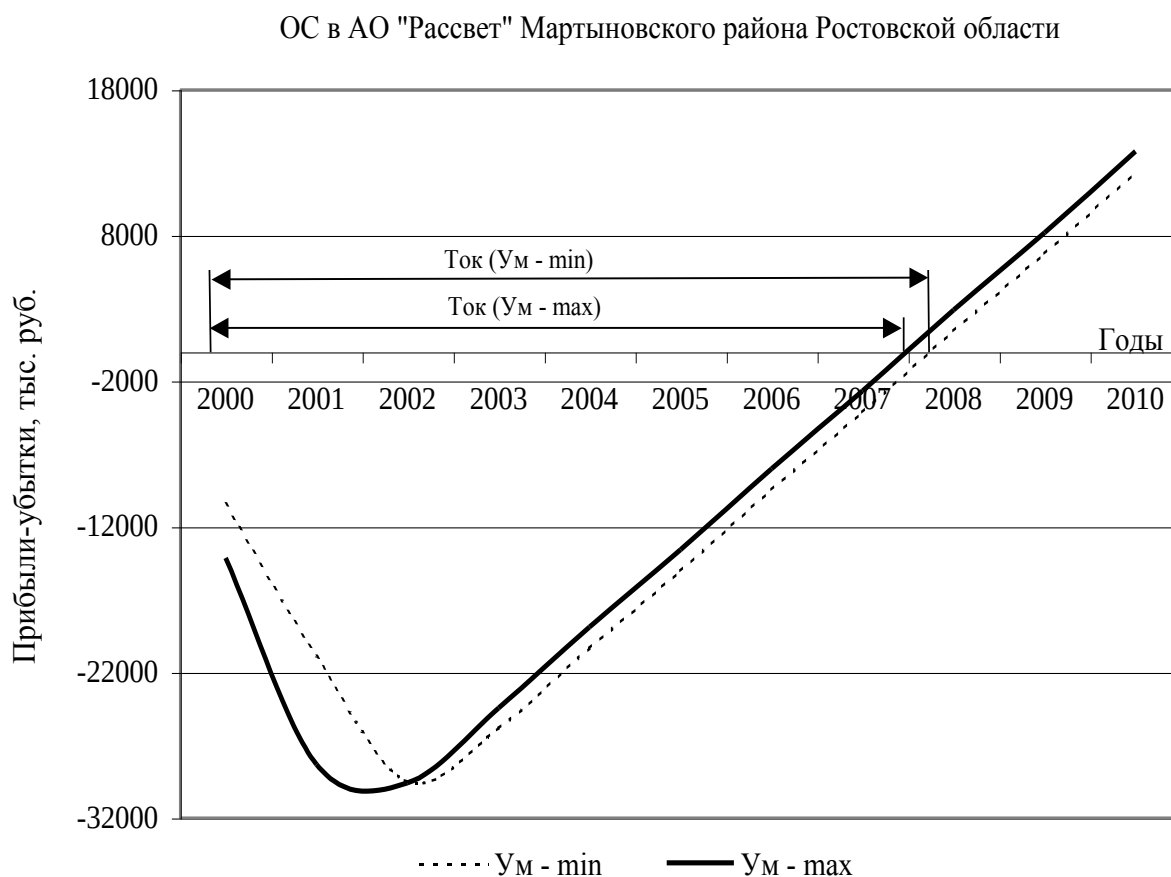


Рис.2. Сопоставление сроков окупаемости инвестиций при реконструкции ОС организациями с различным уровнем мобильности

Литература

- Идрисов А.Б., Карташев С.В., Постников А.В. Стратегическое планирование и анализ эффективности инвестиций. 2-е издание. – М.: Изд. дом «Филин», 1997. – 272 с.

346428 г. Новочеркасск, ул. Пушкинская 111, НГМА, каф. высшей математики, т. 55-7-08.

СОДЕРЖАНИЕ

Арженовский С.В. Математическое моделирование финансовой системы высшего образования	4
Шепелев О.М. Оценка чувствительности национального дохода к числу специалистов с высшим образованием.....	13
Фофанов О.Б., Ротарь В.Г., Шумский А.А. Применение системной модели для оценки научно-технического потенциала региона	15
Хачумов С.В. Подходы к решению задачи распределения ресурсов в активных системах	19
Алиев Р.Г., Крюкова И.Г. Использование математических моделей в экономике	21
Хренов А.А. Система моделирования социально-экономического развития	21
Яковлева Е.В. Математическое моделирование в задачах управления производством..	22
Аксенов К.А., Клебанов Б.И. К вопросу о моделировании деятельности предприятия.....	25
Пыряев В.В., Фоменко Н.М. Особенности имитационного моделирования работы производственных структур подразделений предприятий в реальном масштабе времени...	27
Назаров Д.М. Моделирование на основе теории нечетких множеств для оптимизации затрат на предпрофессиональную подготовку специалистов промышленных предприятий	29
Климашина А.В., Петрова Е.О., Яхонтова Ю.А., Дмитриевский Б.С., Крылова Е.Ю. Построение модели бухгалтерского учета промышленного предприятия.....	31
Знобищев Д.В., Пятанова Н.И., Крылова Е.Ю., Дмитриевский Б.С. Моделирование процессов финансово-хозяйственной деятельности предприятия.....	32
Сербиновский Б.Ю., Колпаков С.В. Модуль выбора поведения сотрудника.....	33
Сербиновский Б.Ю., Мирошник И.С. Методы комплексной оценки деятельности предприятия и эффективности производства.....	38
Ли О.А., Дмитриевский Б.С. Моделирование начисления и расчета заработной платы	42
Сурина Н.А., Пигунова О.В. Математическое моделирование в планировании сельскохозяйственного производства	43
Пигунова О.В. Точность прогноза при использовании трендовых моделей.....	44
Карташов А.С, Егорова Е.С. Экономические аспекты сетевого планирования остановочных ремонтов химических объектов	45
Матвиенко В.Ю. Математическое моделирование продуктивности агробиоценозов степной зоны Краснодарского края	46
Барышникова Е.В. Применение имитационного моделирования для оценки эффективности инвестиций в строительство и реконструкцию мелиоративных систем.....	48

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства
Материалы международной научно-практической конференции
Часть 2

Технический редактор: Чебанов И.Р.

ЛР № 020417 12.02.1997 г. Подписано в печать 08.05.2001 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.

Печ. л. 3,5. Тираж 100 экз. Заказ 01/12.

Учебно-производственный центр «Набла»
Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)
346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ.
ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

Материалы
международной научно-практической
конференции

11 апреля 2001 года
г. Новочеркасск

Часть 3

Новочеркасск 2001

УДК 519.688
ББК 22.18 в6
М 74

Организаторы конференции:

Министерство образования Российской Федерации;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Горбатенко Н.И., профессор (РФ) – председатель;
Бахвалов Ю.А., профессор (РФ);
Вурмус Г., профессор (ФРГ);
Загороднюк В.Т., профессор (РФ);
Йегер Г., профессор (ФРГ);
Калленбах Е., профессор (ФРГ);
Ланкин М.В., доцент (РФ) – зам. председателя;
Никитенко Н.Ф., профессор (РФ);
Плаксин В.А., доцент (РФ);
Савельев М.В., профессор (РФ);
Чернов В.Н., профессор (РФ).

Редакционная коллегия:

Горбатенко Н.И. – ответственный редактор;
Плаксин В.А. – зам. ответственного редактора;
Ланкин М.В.

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы междунар.
науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 11 апреля 2001 г.: В 8 ч. / Юж.-Рос.
гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2001. –
Ч. 3. – 56 с.
ISBN 5-88998-266-4

Тексты докладов помещены в сборник, включающий 8 частей. Часть 3 содержит доклады о математическом моделировании социальных и экономических процессов, а также статьи, посвященные физическому моделированию в науке и технике и учебно-методическим вопросам преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 519.688 :[303.09+33+378]

ISBN 5-88998-266-4

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2001
© Авторы, указанные в оглавлении, 2001

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) — крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные международные научно-технические контакты, — выступил инициатором проведения ряда международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе INTERNET.

В апреле 2001 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие представители вузов Москвы, Минска, Тирасполя, Санкт-Петербурга, Тулы, Днепропетровска, Новгорода, Екатеринбурга, Тамбова, Владикавказа, Омска, Томска, Новочеркасска и других городов России и ближнего зарубежья. На конференцию представлено 164 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из восьми частей. Каждая часть содержит материалы по одному или нескольким научным направлениям.

Первая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию в строительстве.

Во вторую часть вошла первая половина статей о математическом моделировании социальных и экономических процессов.

Третья часть содержит вторую половину докладов о математическом моделировании социальных и экономических процессов, а также статьи, посвященные физическому моделированию в науке и технике и учебно-методическим вопросам преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Четвертая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию технологических процессов.

Пятая часть содержит статьи о математических моделях в энергетике, электромашиностроении, химии и металлургии.

В шестую часть вошли доклады, посвященные математическим моделям в медицине, биологии и экологии, а также математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем.

Седьмая часть включает доклады, освещающие общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений.

Восьмая часть содержит статьи о математических моделях в теплотехнике и гидравлике, в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, и с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

СИНТЕЗ МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ

Лобанов М.М., Быков С.Н.

Процесс оценки конкурентоспособности продукции подразумевает выявление величины бюджетных возможностей потенциального потребителя и производственных возможностей продуцента. Бюджетные возможности накладывают ограничения на пространство потребностей, преобразование которого реализуется через оператор бюджетных ограничений

$$p_{(t)} \xrightarrow{q_1} p^I(t, \Omega^I) \quad (1)$$

Оператор бюджетных ограничений $q_1(S_1^0, \nu_1^0, \mu_1^0, t)$ отражает реальную покупательную способность бюджета потребителей и ограничивает ее величинами: S_1^0 – номенклатура известной потребителю продукции, ν_1^0 – возможный объем потребления соответствующей продукции, μ_1^0 – цена товара определенного качества. Тогда структура бюджетно-ограниченного пространства потребностей имеет вид

$$p^I(t, \Omega^I) = \{p_1^I(t, \Omega^I), \dots, p_k^I(t, \Omega^I)\} \quad (2)$$

Пространство производственных возможностей W ограничивается дефицитом всех видов ресурсов и недостаточно высоким уровнем развития производства продукции в момент времени t . Преобразование точек этого пространства в ограниченное пространство производства осуществляется через оператор производственных ограничений

$$w_{(t)} \xrightarrow{q_2} w^I(t, \Omega^I) \quad (3)$$

Оператор производственных ограничений $q_2(S_2^0, \nu_2^0, \mu_2^0, t)$ отражает потенциальные возможности производителя и ограничивает пространство величинами: S_2^0 – номенклатура выпускаемой продукции, ν_2^0 – объем производства, μ_2^0 – себестоимость продукции. Структура пространства производственных возможностей будет иметь вид

$$w^I(t, \Omega^I) = \{w_1^I(t, \Omega^I), \dots, w_m^I(t, \Omega^I)\} \quad (4)$$

Композиция операторов $(q_1 \circ q_2)$ преобразует исходное пространство W^I и P^I в новое подпространство Ψ , которое предлагаем назвать «полем конкурентоспособности». Это пространство образовано пересечением бюджетно-ограниченного пространства W^I и производственно-ограниченного пространства P^I , что позволяет синтезировать ряд эконометрических моделей для оценки и управления конкурентоспособностью продукции по любой экзогенной переменной (цене и качеству). Например, целевая функция расширения поля конкурентоспособности выглядит

$$Z_{(t)}^\Psi = \min [P_{(t)} \cap W_{(t)} - P_{(t)}^I \cap W_{(t)}^I] \quad (5)$$

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ НА ОСНОВЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Тащиян Г.О., Быков С.Н.

Разработана экономическая модель процесса оценки конкурентоспособности продукции на основе показателя «значимость социального эффекта». Модель представляется в виде многомерной функции социально-экономических факторов (критериев-коэффициентов)

$$Зсэ = f(Cв; Ун; Ио; Он; Пн; Гн)$$

Критерий «Масштаб социального воздействия» (**Св**) предусматривает шесть уровней качества, изменяет свои значения в диапазоне 1-12 баллов. Минимальную оценку получает продукция, удовлетворяющая потребности жителей одного города. Максимальную оценку получает продукция, которая удовлетворяет потребности населения всего мира.

Критерий «Уровень удовлетворения потребностей» (**Ун**) предусматривает пять уровней качества, изменяет свои значения в диапазоне 2-10 баллов, показывает уровень удовлетворения потребностей по иерархической пирамиде А.Маслоу. Минимальную оценку получает продукция, которая удовлетворяет потребности в самовыражении. Максимальную оценку получает продукция, которая удовлетворяет физиологические потребности.

Критерий «Уровень интенсивности общения» (**Ио**) предусматривает пять уровней качества, изменяет свои значения в диапазоне 0-10 баллов. и показывает интенсивность общения при использовании продукции.

Критерий «Обучаемость пользователя» (**Он**) предусматривает пять уровней качества, изменяет свои значения в диапазоне 1-8 баллов и показывает степень необходимости подготовки и обучения пользователя при использовании продукции.

Критерий «Степень психологической нагрузки» (**Пн**) предусматривает пять уровней качества, изменяет свои значения в диапазоне 0-10 баллов. Минимальную оценку получает продукция, которая вызывает недопустимую психологическую перегрузку пользователя. Максимальную оценку получает продукция, которая вызывает существенные положительные эмоции.

Критерий «Назначение продукции по группам населения» (**Гн**) предусматривает пять уровней качества, изменяет свои значения в диапазоне 1-10 баллов. Данный критерий показывает принадлежность продукции к той или иной социальной группе населения.

ПОСТРОЕНИЕ РАВНОВЕСНОЙ МОДЕЛИ ПОИСКА ЭФФЕКТИВНОГО СОБСТВЕННИКА

Дулин А.Н., Кушнир И.Б.

В текущих условиях отсутствия особого интереса зарубежных инвесторов к крупным инвестиционным предложениям шахтерского региона и относительной финансовой слабости отечественных коммерсантов (как потенциальных инвесторов, сравнительно высоко оценивающих перспективы развития города), целесообразно сменить ориентацию инвестиционной стратегии. Речь пойдет о проблеме реализации «замороженных» инвестиционных проектов по объектам, не востребованным крупными инвесторами, о повышении эффективности управления доходностью объектов недвижимости, находящихся в муниципальной собственности с существенным увеличением поступлений в бюджет города и с решением социально значимых задач.

Проведенный анализ причины и следствия при помощи диаграммы Ишикава [1], представлен на рисунке 1. Составляющие диаграмму линии и слова, представляют собой взаимоотношения между следствием и его причинами.

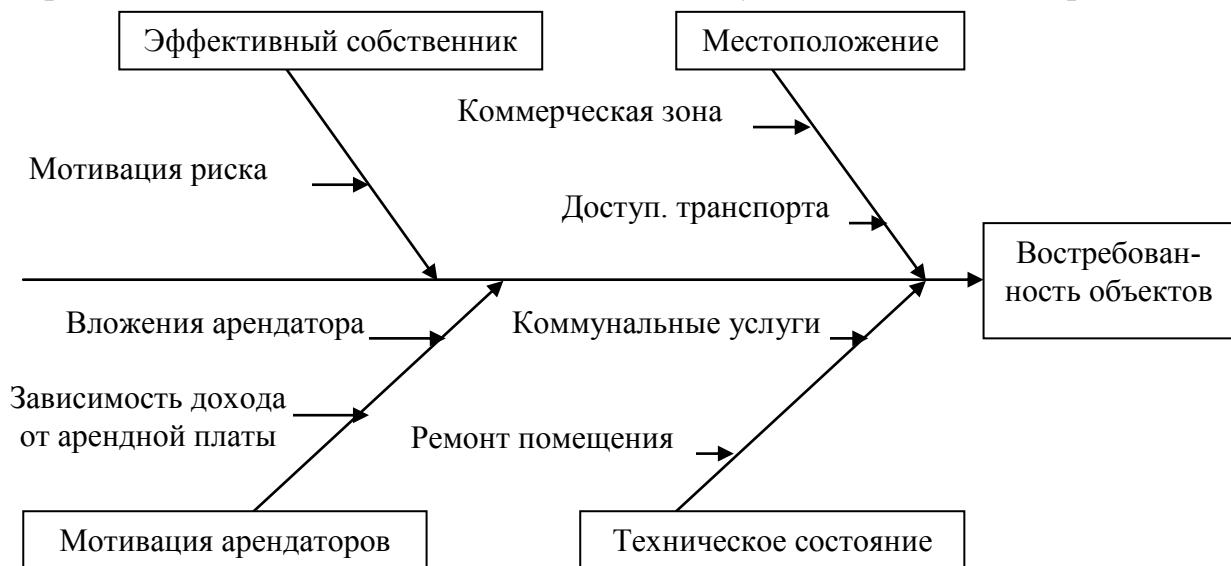


Рис.1. Диаграмма Ишикава

Как видно из рисунка 1 категориями, которые имеют наибольшую вероятность того, что именно они вызвали потенциальную корневую причину, являются местоположение и техническое состояние объектов. Однако нам известны случаи простоя помещений в центре города (часть подвала по ул. Победа Революции), а так же выкуп полуразрушенного здания в отдаленном от центральной коммерческой зоне в поселке ш. Майская (в последствии в нем был организован рыбцех). Подобные факты заставляют обратить внимание на проблему эффективного управления и мотивации потенциальных арендаторов.

Управление недвижимыми объектами, находящимися в муниципальной собственности занимается специально созданная при администрации города структура – Комитет по управлению имуществом (КУИ). Выступая одним из

активных участников рынка недвижимости, КУИ сохраняет бюрократический аппарат в управлении: руководствуясь мотивом получения прибыли в то же время детально следует разработанными правилами и предписаниями, установленными властью вышестоящего органа. За годы существования КУИ сложился определенный отработанный механизм работы с арендаторами. Порядок сдачи объектов в аренду не давал сбоев, пока в их портфеле находились коммерчески выгодные объекты. Однако, прошедшая волна приватизации изъяла из управления подобные объекты. Оставшиеся же требовали более агрессивного управления, но муниципальные управляющие продолжали выполнять предписанную им инструкциями **выжидательность в управлении**. Если раньше арендаторы «записывались в очередь» для заключения договоров, то теперь появились более прискорбные списки из простаивающих объектов. Однако привлечение бюджетных средств на развитие коммерческой недвижимости, создаст отток от социально значимых объектов – больницах, школах, детских садах и т. д. Вот почему, направляя полученную от управления прибыль в бюджет, КУИ ограничен в ее получении обратно с целью проведения каких либо улучшений на управляемых объектах. Ведь если не ограничить муниципальных управляющих бюрократическими средствами, это может привести к бюджетному расточительству. Следовательно, критерием «хорошего» бюрократического управления является строгое соблюдение набора правил. Его основной целью является не эффективность как таковая, а эффективность в рамках соблюдения определенных правил.

Наиболее удачным применением коммерческого управления недвижимыми объектами муниципальной собственности на наш взгляд является институт трастового (доверительного) управления [5]. В рамках общего права траст – сложная система отношений, при которой учредитель траста наделяет своими правами управляющего, который должен управлять имуществом в пользу третьего лица – выгодоприобретателя. При этом считается, что каждый из участников отношений траста в определенном объеме имеет правомочия собственника. В гражданском праве нет прямого аналога трастовому управлению собственностью. Так договор доверительного управления «не влечет перехода права собственности на него к доверительному управляющему»[2]. Иными словами, учредитель доверительного управления не перестает быть собственником, что делает актуальным вопрос о специальной защите прав и интересов доверительного управляющего, особенно по инициативе учредителя.

Как известно, при отсутствии четко установленных прав собственности на ресурс его использование связано с возникновением отрицательных **внешних эффектов** или **экстерналий** [3,4,5]. Вместе с тем теория прав собственности признает, что никакие права собственности не могут быть полностью определены и абсолютно защищены, поскольку их спецификация не является бесплатной. Поэтому точность спецификаций зависит от баланса выгод и издержек, связанных с установлением и защитой различных видов прав собственности.

Построим динамическую модель обмена в закрытой экономической системе. Эту задачу можно сформулировать следующим образом распределить m прав собственности между n собственниками такое, чтобы каждый из собствен-

ником максимизировал свою функцию полезности, если известно начальное распределение собственности у собственников. Есть одно благо – некий объект N , приносящий доход Q . Оптимизируем спецификацию прав собственности при обмене между муниципальным (M) и доверительным (D) управляющими. Ситуация представляет собой так называемый ящик Эджворта [4,5] (рисунок 2), только со специальной интерпретацией. Здесь речь идет не об обмене обычными

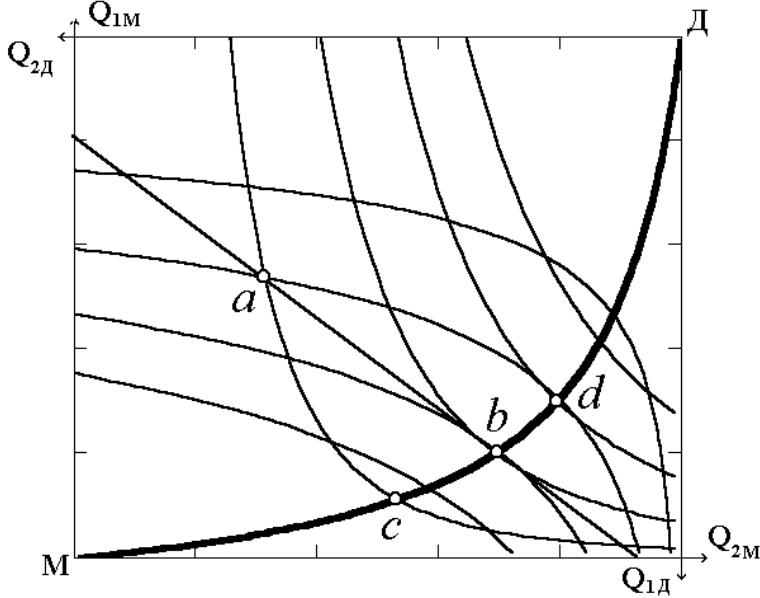


Рис.2. Диаграмма Эджворта

(«физическими») благами, а об обмене правами. Границы диаграммы Эджворта соответствуют постоянным количествам прав Q_1 Q_2 , находящихся в распоряжении управляющих M и D .

Если цены на права могут изменяться, то результат обмена правами не определен, точка равновесия может лежать на участке cd контрактной кривой $McbdD$.

Если же цены на права постоянны, то задача о равновесии обмена имеет решение, соответствующее точке b на контрактной кривой. При этом время на обмен не ограничено, так что любой обмен завершается на контрактной кривой.

В работе рассмотрена задача определения динамики обмена ресурсами во времени. При этом интенсивность обмена зависит от разности между оценкой ресурса и ценой на ресурс. Оценкой ресурса управляющим называется предельная норма замещения этого ресурса базисным (в качестве базисного ресурса мы выбирали деньги). В работе рассмотрен случай, когда зависимость потока ресурса от его оценки линейна:

$$\frac{\partial Q_{ij}}{\partial t} = q_i = \alpha_i (\pi_{ij} - p_i). \quad (1)$$

Оценка базисного ресурса потребителями равна 1. Цена p на ресурс определяется из равенства потоков ресурса $q_1 = q_2$. Для функций полезности, заданных в виде:

$$U_M = Q_{1M} Q_{2M} \quad U_D = Q_{1D} Q_{2D}, \quad (2)$$

получаем:

$$p = - \frac{\beta_M Q_{2M} Q_{1D} + \beta_D Q_{2D} Q_{1M}}{\beta_M Q_{1D} Q_{2D} + \beta_D Q_{1M} Q_{2M}}. \quad (3)$$

При условии, что общее количество прав фиксировано:

$$Q_{1A} + Q_{1B} = Q_1^{\wedge} \quad Q_{2A} + Q_{2B} = Q_2^{\wedge}, \quad (4)$$

выражение для цены на ресурс принимает вид:

$$p = - \frac{\beta_M Q_{2M} (Q_1^{\wedge} - Q_{1M}) + \beta_D Q_{2D} (Q_2^{\wedge} - Q_{2M})}{\beta_M Q_{1D} (Q_1^{\wedge} - Q_{1M}) + \beta_D Q_{1D} (Q_1^{\wedge} - Q_{1M})}. \quad (5)$$

Подставляя найденную цену в (1) и обозначая

$$\alpha = \frac{\beta_M \beta_D}{\beta_M + \beta_D}, \quad (6)$$

получаем:

$$\begin{aligned} q_1 &= \alpha(\pi_{1M} - \pi_{1D}) \\ q_2 &= \beta(\pi_{1M} - \pi_{1D}) \end{aligned} \quad (7)$$

Уравнения (7) являются системой дифференциальных уравнений, которые, вместе с начальными условиями, определяют процесс обмена товарами во времени. Следует отметить, что цена на ресурс не является постоянной, а зависит от запасов ресурсов потребителей. Дифференциальные уравнения позволяют определить траекторию обмена на диаграмме Эджворта.

С использованием программы MathCad рассчитаны траектории обмена для различных начальных условий при функциях полезности, заданных в виде:

$$U_M = Q_{1M}Q_{1D} \quad U_D = Q_{2M}Q_{2D} \quad (8)$$

Таким образом, первоначальное распределение прав собственности совершенно не влияет на управление, так как в конечном счете каждое из правомочий окажется в руках у собственника, способного предложить за него наивысшую цену на основе наиболее эффективного использования данного правомочия. Отвлекаясь от понятия трансакционных [3,4,5] издержек, сделаем вывод о важности собственно спецификации прав собственности на ресурс, а не конкретной формы, которую она принимает. С этой точки зрения непринципиально, кто получил право владения на первом этапе реформы собственности. В конечном счете - это право получит действительно самый заинтересованный в нем эффективный собственник.

Литература

1. Белых Л.П. Формирование портфеля недвижимости. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 264 с.
2. Гражданский кодекс Российской Федерации. Часть 2. – М.: Инфра-М, 1996. – 352 с.
3. Капелюшников Р. Экономическая теория прав собственности. – М: ИМЭМО, 1990. – С. 22-23.
4. Нуриев Р.М. Основы экономической теории: Микроэкономика: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 1996. – 447 с.
5. Олейник А.Н. Институциональная экономика: Учебное пособие. – М.:ИНФРА-М, 2000. – 416 с.

346500 г.Шахты, ул. Шевченко 147, ЮРГУЭС, каф. Информатика, т. 2-98-05
e-mail: ibkush@aport2000.ru

УДК 631.671.001.57

МОДЕЛИ "РИСК - ДОХОД" ПРИ ОЦЕНКЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Игнатъев В.М.

Производство на орошаемых землях описывается значительным числом показателей, которые характеризуют его с учетом влияния рынка, погодных условий, земельных и водных ресурсов. Учёт основных показателей является актуальным при оценке эффективности производства. Количество показателей,

характеризующих хозяйственное водопользование, согласно нормативным "Указаниям ..." равно 21 [1]. После снижения числа показателей системы методами, описанными в [2], остается система, состоящая из 10-11 показателей [3].

Предлагается построить модель для оценки эффективности водопользования в хозяйстве или модель для упорядочения хозяйств по степени эффективности проведения орошаемого земледелия. Оценивание хозяйств можно провести с помощью системы оставшихся после снижения размерности системы показателей методом главных компонент [3]. Пусть число рассматриваемых хозяйств равно n , а число оставшихся презентабельных показателей - m . С помощью метода главных компонент можно построить показатели (компоненты), которые будут являть линейной комбинацией исходных показателей. Множество m показателей образует точки, которые характеризуют водопользование в каждом хозяйстве. Эта компонента (линия) при прохождении через множество точек N будет располагаться на минимальном расстоянии от этих точек. Первые компоненты с очень высокой достоверностью характеризуют хозяйства, а число первых k компонент позволит создать скрытую систему показателей, которые будут идентифицировать водопользование в хозяйстве.

Для оценки водопользования в хозяйстве на положительный эффект необходимо исходную систему показателей x_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, "рандомизировать на доход". Для этого показатели, значение которых желательно иметь максимальными, в j -ом столбце преобразуются по следующей формуле:

$$a_{ij} = (x_{ij} - \min x_{ij}) / (\max x_{ij} - \min x_{ij}), \quad (1)$$

где минимальные и максимальные значения показателей в j -ом столбце.

Показатели, значение которых желательно иметь минимальными, вычисляются по следующей формуле: $a_{ij} = \min x_{ij} / x_{ij}$. (2)

Значение всех полученных показателей a_{ij} будут принадлежать отрезку $[0,1]$ и принимать значение вероятности "дохода". Если на матрице A , "рандомизированной на доход" построить главные компоненты, то они дадут упорядочение значений эффективности водопользования в хозяйствах на отрезке $[1,-1]$. Первые k компонент при подстановке показателей водопользования могут оценивать каждое хозяйство k скрытыми показателями. Переместив начало координат в наименьшие точки, получим только положительные значения скрытых показателей. Учитывая ортогональность компонент $l_i, i = \overline{1, k}$, можно получить значение расстояния от начала координат до точки, характеризующей хозяйство, по следующей формуле: $F_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^k l_i^2}$. (3)

Для оценки водопользования в хозяйствах на отрицательный эффект необходимо исходную матрицу показателей x_{ij} "рандомизировать на риск". Показатели с желательным минимальным эффектом (например, затраты), риск которых желательно иметь максимальным, вычисляются по следующей формуле:

$$b_{ij} = (x_{ij} - \min x_{ij}) / (\max x_{ij} - \min x_{ij}). \quad (4)$$

Показатели b_{ij} , риск которых желательно иметь минимальным (например, эффективность, фондоотдача), преобразуются по формуле, аналогичной формуле (2). Для матрицы B , "рандомизированной на риск", можно построить k

скрытых компонент. Преобразуем значения компонент в положительные значения, неравные нулю. Тогда критерий риска F_2 для каждого хозяйства, будет рассчитываться по формуле, аналогичной формуле (3). Эффективным обобщённым критерием модели оценки хозяйства F будет отношение критерия F_1 к критерию F_2 . Критерий F модели "риск-доход" необходимо максимизировать.

Все показатели рандомизированных матриц A и B принимают значения $[0,1]$, то есть они принадлежат m -мерному кубу со стороной, равной единице. Наилучшим вариантом на успех для матрицы A является точка C с показателями, равными единице. Расстояние от любой точки, которая характеризует водопользование в хозяйстве, до наилучшей точки определяется по формуле расстояния:

$$S_i = \sqrt{\sum_{j=1}^k (1 - a_{ij})^2}. \quad (5)$$

Критерий (5) необходимо минимизировать. Вариантом с наибольшим риском для матрицы B также является точка C с показателями, равными единице. Расстояние от любой точки, которая характеризует риски водопользования в

хозяйстве, до точки C определяется по формуле:
$$D_i = \sqrt{\sum_{j=1}^k (1 - b_{ij})^2}. \quad (6)$$

Чем больше значение критерия (6), тем меньше риска при проведении водопользования в i -ом хозяйстве. Отношение критерия S_i к критерию D_i позволяет усугубить риск и образует критерий R модели "риск - доход", значение которого минимизируется.

Используя исходные данные для хозяйств Миусской оросительной системы Ростовской области, приведённые в статье [4], просчитаем все предлагаемые критерии и результаты расчёта занесём в таблицу 1.

Таблица 1

Значения критериев для хозяйств Миусской оросительной системы

Хозяйства	F_1	F_2	F	S	D	R
1	2,243	1,383	1,622	1,417	2,718	0,512
2	1,133	2,068	0,548	2,593	1,757	1,476
3	2,437	0,850	2,867	1,828	2,645	0,691
4	2,108	1,680	1,254	1,774	2,625	0,676
5	1,439	2,721	0,529	2,436	1,884	1,293
6	1,277	2,848	0,448	2,875	1,130	2,545

Для расчёта критериев F_1 и F_2 использовались четыре скрытых компоненты ($k = 4$), которые характеризуют хозяйство с достоверностью в 99%. Для критерия F модели "риск - доход" по скрытым показателям при упорядочении значений критерия F по возрастанию получается следующая последовательность $\pi_F = (3, 1, 4, 2, 5, 6)$. Для критерия R модели "риск - доход" по расстоянию до оптимальной точки при упорядочении значений по убыванию получается последовательность $\pi_R = (1, 4, 3, 5, 2, 6)$. Критерии F_1 и S могут использоваться в модели расчета типа "доход" и дают такие упорядочения соответственно $\pi_{F1} = (3, 1, 4, 5, 2, 6)$ и $\pi_S = (1, 4, 3, 5, 2, 6)$. Критерии F_2 и D в моделях типа "риск"

дают упорядочения $\pi_{F2} = (3, 1, 4, 2, 5, 6)$ и $\pi_D = (1, 3, 4, 5, 2, 6)$. Анализ этих последовательностей указывает на возможность разбиения хозяйств на две группы хозяйств $(1, 4, 3)$ и $(2, 5, 6)$, которые можно назвать хорошими и плохими.

Введение весовых коэффициентов значимости каждого показателя исходных данных с помощью методов экспертных оценок позволит использовать модели при частичной определённости показателей хозяйственного водопользования.

Предлагаемые модели с критериями F, F_1, F_2, S, D, R использовались при сравнении и оценке эффективности водопользования в орошаемых хозяйствах [4,5], а также при оценке рисков хозяйственного водопользования [6].

Применение описанных выше моделей "риск - доход" для оценки эффективности позволяет сравнивать водопользование в однотипных хозяйствах [7], оценивать результаты водопользования за различные интервалы времени [3], анализировать и выбирать эффективные показатели водопользования для группы рассматриваемых хозяйств [5].

Литература

1. Указания по оценке эффективности планирования водопользования в хозяйствах / Под ред. В.И. Ольгаренко. – Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1989.
2. Игнатьев В.М. Уменьшение числа показателей системы // Мелиорация антропогенных ландшафтов. – Новочеркасск: НГМА, 1998. – Т. 5. – С. 98 – 104.
3. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
4. Волосухин В.А., Игнатьев В.М. Моделирование. Оценка эффективности хозяйственного водопользования. – Новочеркасск: НГМА, 1999. – 60 с.
5. Игнатьев В.М., Шевченко В.П. Производственная функция эффективности хозяйственного водопользования // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Общественные науки. – 2000. – № 3. – С. 45-48.
6. Игнатьев В.М. Моделирование рисков хозяйственного водопользования // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2000. – № 2. – С. 18-20.
7. Игнатьев В.М. Сравнение эффективности хозяйственного водопользования / Плодородие почв и управление его составляющими. – п. Персиановка: Донской ГАУ, 2000. – С. 89-95.

НГМА, г. Новочеркасск. Тел. (862-52) 5-55-48. E-mail: ybd@ngma.novoch.ru

УДК 657.32.001.57

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ТОРГОВЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ

Лукошин А.В., Дмитриевский Б.С.

Одной из важнейших задач управления финансово-хозяйственной деятельности является задача управления торговыми операциями. Вопросы, связанные с учетом прихода, хранения и продажи товаров, представляют интерес для эффективного управления. Данные вопросы возникают в режиме реального времени, что накладывает на ответы определенные условия по оперативности.

Построение модели является первым шагом для решения задачи. Первая

и самая общая диаграмма модели состоит из одного процесса под названием «Бухгалтерский учет». Входными величинами для этого объекта являются первичные документы, выходными – регламентированные отчеты, в качестве управляющих воздействий выступают законодательные акты и приказ об учетной политике предприятия, механизм, реализующим бухгалтерский учет, являются сектора бухгалтерии.

Первый уровень декомпозиции показывает основные модули модели.

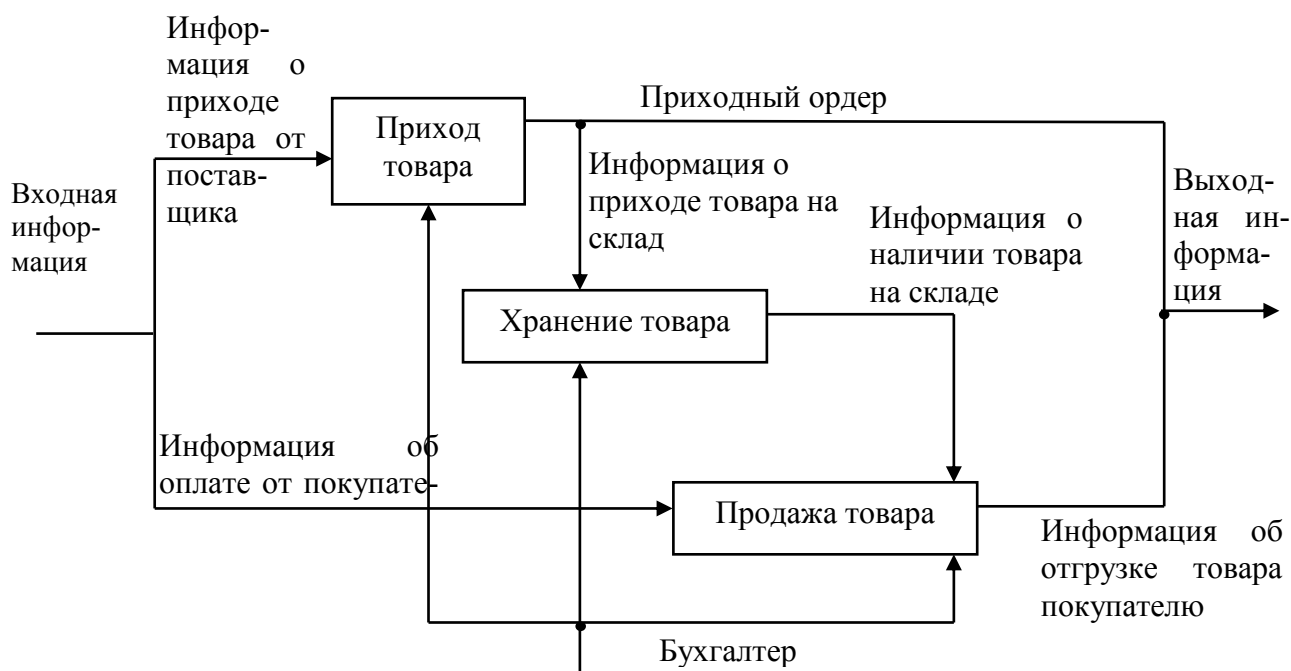


Рис.1

Модель описывает управление торговым предприятием, не трогая никаких операций кроме тех, которые связаны с торговлей, позволяет выявить недостатки организации даже там, где функциональность кажется очевидной. Детализация до нижних уровней обусловлена задачей поиска недостатков и неточностей в ведении учета операций.

Объекты моделирования: оптовая и розничная торговля как компоненты бухгалтерского учета.

392000 г. Тамбов, ул. Советская 106, ТГТУ, кафедра ИПУ, т.72-91-87

УДК 614.254.3:519.86; 677

О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ БАНКОВСКО-ФИНАНСОВЫХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ИГР

Бойченко Л.П., Витович Е.А.

В банковско-финансовых приложениях исследования операций встречаются операции, в которых участвуют несколько групп (сторон), например, два банка преследующих различные цели. При этом характерно то, что ни одна

из сторон не может полностью определить и контролировать ход событий. Ситуация, в которой могут участвовать банки с несовпадающими интересами, является конфликтной (например, конкурентная борьба за рынки сбыта и сферы влияния и т.п.). Часто в конфликтной ситуации стороны преследуют прямо противоположные цели. Формальным аппаратом исследования конфликтных ситуаций, как известно, является теория игр. Игра - и есть формализованная модель реальной конфликтной ситуации.

Нами были проведены исследования на возможность применения теории игр с целью формализации различных ситуаций для достижения определенной цели. Мы рассматривали элементы теории только антагонистических игр. При этом определяли оптимальную стратегию для игрока-банка - такую стратегию, которая при многократном применении обеспечивала бы данному игроку-банку максимально-возможный средний выигрыш (например, прибыль). При выборе этой стратегии учитывалось, что конкурент сделает все возможное, чтобы помешать достижению максимального выигрыша (например, прибыли), но при этом не учитывались элементы риска, ошибки каждого из игроков-банков. При решении данной задачи точно исполнялся основной принцип теории игр: "Выбирай свое поведение так, чтобы оно было рассчитано на наихудший для тебя образ действий противника!".

Учитывая реальные ситуации, которые не подпадают под детерминированные игры, мы рассматривали моделирование их на играх в смешанных стратегиях. Такое рассмотрение задачи было продиктовано следующим вопросом: "Нельзя ли каким-либо способом обеспечить средний выигрыш больше нижней чистой цены игры независимо от образа действий конкурента?". Выбор стратегии каждого банка при личном ходе определяется их вероятностями и, следовательно, исход игры должен оцениваться с помощью математического ожидания. Действительно, появление выигрыша a_{ij} возможно в случае, если банк А выбрал стратегию A_i (вероятность такого выбора равна P_i), а банк В - B_j (вероятность такого выбора равна Q_j). Поскольку выбор стратегий А и В есть независимые случайные события, то вероятность совместного появления этих событий (то есть получения выигрышей a_{ij}), будет определяться произведением их вероятностей $P_i Q_j$. Математическое ожидание $M[P, Q]$ выигрыша банка А при смешанных стратегиях Р и банков А и В соответственно будет, в таком случае, равно сумме произведений величин выигрышей a_{ij} на вероятности их появления и может быть выражено формулой:

$$M[P, Q] = \sum \sum a_{ij} * P_i * Q_j$$

Учитывая, что всякая конечная игра имеет по крайней мере одно решение - либо в области чистых, либо в области смешанных стратегий. Причем, если банк А, применяя свою смешанную стратегию Р, рассчитывает получить наименьший выигрыш, то он будет стремиться выбрать стратегию Р такой, чтобы этот наименьший выигрыш был как можно большим, то есть его выбор определяется формулой:

$$\max_P \min_Q M[P, Q]$$

Банк В, рассчитывая на максимальный проигрыш, будет выбирать свою

смешанную стратегию такой, чтобы это проигрыш был наименьшим, то есть:

$$\min_Q \max_P M[P, Q]$$

Согласно основной теореме теории игр - теореме о минимаксе последние два выражения всегда имеют одну и ту же величину λ , равную цене игры:

$$\max_P \min_Q M[P, Q] = \min_Q \max_P M[P, Q]$$

При этом $\alpha \leq \lambda \leq \beta$, то есть применение смешанной стратегии, действительно, позволяет банку А (а также и В) получить гарантированный выигрыш (проигрыш для В) не менее чистой нижней цены игры α (не более чистой верхней цены игры β для стороны В). Если выигрыш обладает тем свойством, что для всех остальных возможных смешанных стратегий Р и Q имеет место неравенство: $M[P, Q_0] \leq M[P_0, Q_0] \leq M[P_0, Q]$ то стратегии P_0 и Q_0 называются смешанными стратегиями сторон А и В соответственно, а число $M[P_0, Q_0]$ ничто иное, как цена игры λ . Пара оптимальных смешанных стратегий и определяет решение игры, называемое стратегической седловой точкой.

Литература

1. Бойченко Л.П., Туманова О.Н. Экономико-математические методы и модели. Учебное пособие. – Ухта, 1999. – 124 с.

169300 г. Ухта, республика Коми, ул. Первомайская 13, Ухтинский государственный технический университет, каф. Прикладной математики информатики, т. 1-26-55 ,
e-mail pmi@uii.sever.ru

УДК 331.221:658.325

КОНЦЕПЦИЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО СТРАХОВОГО ТАРИФА ДЛЯ СТРАХОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

Павленко Е.А., Сербиновский Б.Ю.

Страхование основных фондов является одним из способов снижения ущерба, нанесенного предприятию в результате неблагоприятного события. Так владелец оборудования, зданий и сооружений платит за свою уверенность в том, что в случае свершения аварии, выхода из строя оборудования он сможет восстановить процесс производства, покрыть убытки и не останется банкротом. В рыночной экономике, на наш взгляд, следует подходить к вопросу страхования оборудования как с позиции интересов страхователя, так и страховщика и искать эффективное компромиссное решение при установлении страхового тарифа.

Гипотеза о поиске эффективного страхового тарифа включает следующие предположения:

- 1) возможен такой страховой тариф, который выгоден для страхователя и страховщика;
- 2) приемлемая или оптимальная величина страхового тарифа может устанавливаться из условия, что страхованию подлежит часть стоимости основных фондов;

- 3) размер страхового тарифа зависит от степени риска;
- 4) максимальная страховая сумма по любому из возможных рисков не может быть выше страховой (действительной) стоимости застрахованной единицы основных фондов.

В связи с этим предлагается оценить технологический риск, выполнить расчет страхового тарифа, установить при каком риске стоит страховать оборудование, чтобы это было выгодно и владельцу, и страховой компании, стоит ли страховать объект по полной стоимости.

Показатель риска важен для обеих сторон. Отбор рисков – меры страховщика по целенаправленному формированию сбалансированного и прибыльного страхового портфеля посредством приема на страхование объектов определенного рода и уклонения от приема на страхование других объектов. Анализ и оценку технологического риска удобно производить при помощи дерева отказов или марковской модели. Первый удобен, когда в виде системы, состоящей из множества элементов, представлен один объект, второй – когда имеется система, состоящая из нескольких однотипных элементов (система с резервированием).

Сумму, которую страхователю необходимо заплатить страховщику, будем считать инвестициями, направленными на получение полезности в виде страховой суммы, которую он может получить при свершении страхового события. Выгодность страхования удобно определить при помощи метода сравнительного учета затрат. Суть его состоит в том, что объект инвестиций (в данном случае – страхование) абсолютно (относительно) выгоден, если его издержки (т.е. сумма страховых взносов) ниже затрат при альтернативе отказа от инвестирования. Другой способ, позволяющий более конкретно определить стоит ли страховать оборудование или нет, заключается в разработке экономико-математической модели, в которой в качестве целевой функции выступает сумма страховых взносов. Модель имеет вид задачи целочисленного программирования:

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max,$$

$$\sum_{j=1}^n A_{0j} x_j \leq K,$$

$$x_j \in \{0;1\}; j = 1, \dots, n.$$

где x_j – бинарная переменная, значение которой определяет, будет ли застрахован j -й объект ($x_j = 1$) или нет ($x_j = 0$) для всех альтернатив. c_j – страховая сумма j -го объекта, A_{0j} – размер возможного ущерба или стоимость j -го объекта, K – стоимость страхового капитала, установленная страховой компанией; n – количество объектов, подлежащих страхованию.

Возможно, что риск, рассчитанный самим владельцем объекта страхования, будет слишком высоким и, соответственно, страховой тариф будет превышать тарифы страховых компаний. В таком случае следует распределить риск между несколькими страховщиками или страховать объект по неполной стоимости.

В случае взаимодействия страховщика и страхователя мы имеем дело с за-

дачей, требующей выполнения двух противоречивых критериев: страховая премия для страховщика и страховая сумма для страхователя должны быть максимальными. Данную задачу можно разрешить при помощи метода Парето (рис.1).

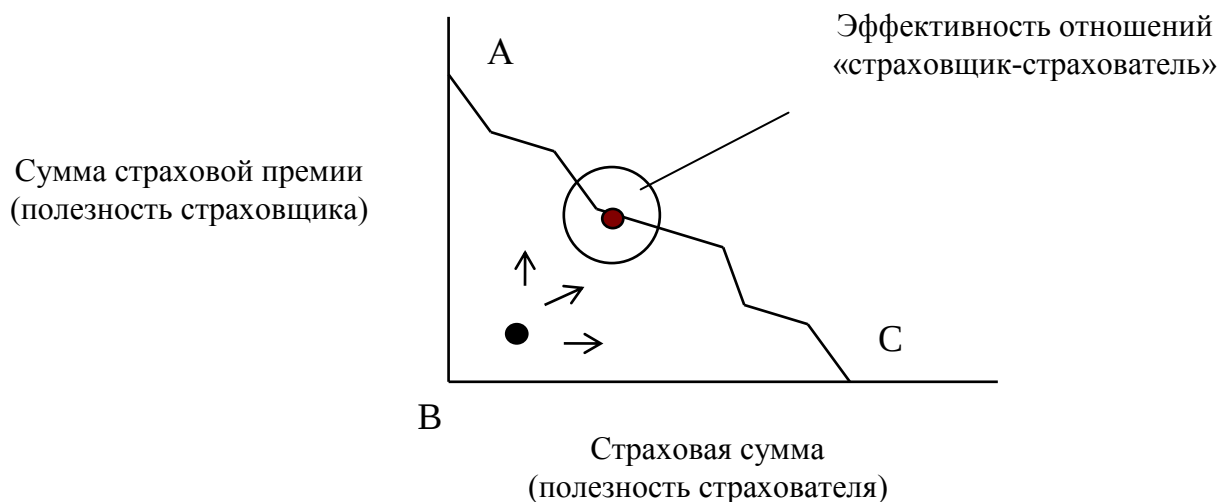


Рис. 1. Оптимизация отношений «страховщик-страхователь»

Ресурсы системы определены оптимально по Парето, когда никто не может улучшить положение без того, чтобы в результате для кого-то оно не ухудшилось. В точке А все ресурсы системы принадлежат страховщику, в точке В – страхователю. Перемещая точку внутри области ABC к границе AC, можно улучшить положение одного из участников системы. Вне этой области не может быть достигнут оптимум вследствие ограниченности ресурсов участников. При движении из точки А в точку С имеет место компромисс, найти который можно при помощи метода уступок или метода идеальной точки.

УДК 336.6 (075)

РЫНОЧНАЯ СТОИМОСТЬ ФИРМЫ. МАКСИМИЗАЦИЯ РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ ФИРМЫ КАК ЦЕЛЬ ЕЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ

Бенсон Я. Е., Зудов Е.Г.

Мы рассмотрели все возможные виды стоимости фирмы, дали их основные характеристики и определили влияющие на их оценку качественные факторы. Представили структурно-логическую схему видов стоимости фирмы, провели классификацию подходов и методов ее оценки в зависимости от информационного обеспечения. Это позволило нам найти решение основной задачи нашего исследования – определение стоимости фирмы с целью купли-продажи, верхней и нижней границ рыночной цены, наиболее вероятной рыночной цены фирмы – цены равновесия.

Цель оценки, интересы и возможности обеих сторон сделки купли-продажи, для которых проводится оценка фирмы определяют не только вид стоимости, которую нужно определить, но и выбор соответствующего подхода

и метода. Мы считаем, что для оценки рыночной стоимости стабильно функционирующей отечественной фирмы, которая останется действующей в ближайшей перспективе, и активы которой свободно обращаются на фондовом рынке:

1. Со стороны спроса с целью покупки целесообразно использовать:

- метод имущественного подхода – метод скорректированной балансовой стоимости для оценки восстановительной стоимости и нижней границы рыночной цены, дешевле которой покупатель не сможет купить данную фирму;
- методы доходного подхода для определения инвестиционной стоимости и верхней границы рыночной цены, дороже которой покупатель не захочет купить данную фирму.

2. Со стороны предложения с целью продажи в наибольшей степени подходят:

- метод имущественного подхода – метод ликвидационного баланса для оценки ликвидационной стоимости и нижней границы рыночной цены, дешевле которой продавец не захочет продать свою фирму;
- методы доходного подхода для определения фундаментальной стоимости и верхней границы рыночной цены, дороже которой продавец не сможет продать свою фирму.

3. Для определения наиболее вероятной рыночной цены фирмы при наличии соответствующей информационной базы оптимальным является метод рыночного подхода – метод рынка капиталов. Наиболее вероятная рыночная цена стабильно функционирующей отечественной фирмы в сложившихся экономических условиях - обоснованная рыночная стоимость, оценкой которой служить рыночная стоимость пакета обыкновенных акций.

На данном этапе перехода нашей страны к рыночной экономике методы имущественного и доходного подходов применимы формально, что является следствием:

- отсутствия цивилизованного рынка недвижимости и подержанного оборудования, морального и физического износа основных фондов компаний, превышения количества основных фондов компаний оптимального уровня, нестабильности российской экономики (для методов имущественного подхода);
- нестабильного финансового состояния фирм, низкой степени достоверности имеющейся информации; низкой степени надежности прогнозов по экономическим, политическим и социальным аспектам, неразвитой системой страхования сделок, слаборазвитой рыночной инфраструктурой (для методов доходного подхода).

Практическим является метод рынка капиталов – метод рыночного подхода – но и тот применим только в том случае, если на рынке капиталов нет ограничений и какой-либо дискриминации в установлении цен на ценные бумаги фирмы, то есть в полной мере действует принцип “спрос – предложение” (рынок эффективен). В этом случае оценка рыночной стоимости фирмы не является субъективной оценкой частного эксперта-оценщика, а служит объективной оценкой стоимости фирмы фондовым рынком в целом.

Метод рынка капиталов в полной мере отвечает основным принципам оценки стоимости фирмы, принятым на Западе и гарантирующим ее обосно-

ванность, достоверность и объективность, а именно: принципам альтернативности, замещения, будущих преимуществ, большей производительности, изменчивости, наилучшего и наиболее эффективного использования собственности, конкуренции.

В условиях начала стабилизации российской экономики и включения цивилизованных рыночных механизмов все большее число управленцев высшего звена приходят к осознанию того, что принятие любого решения должно опираться на точный расчет и количественную оценку последствий. Эффективное управление в рамках фирмы предполагает наличие определенной цели и приоритетов ее развития. Это дает возможность оценить эффективность того или иного управленческого решения.

Что является признаком успешного управления фирмой? Нетрудно сформулировать целую систему целей: выживание фирмы в условиях конкурентной борьбы; избежание банкротства и крупных финансовых неудач; лидерство в борьбе с конкурентами; максимизация рыночной стоимости фирмы; приемлемые темпы роста экономического потенциала фирмы; рост объемов производства и реализации; максимизация прибыли; минимизация расходов; обеспечение рентабельной деятельности и т. д. Приоритетность той или иной цели по-разному объясняется в рамках существующих теорий организации бизнеса.

Наибольшее распространение в последние годы на Западе получила теория максимизации рыночной стоимости фирмы (точнее, обоснованной рыночной стоимости). В случае, если для определения рыночной стоимости фирмы используют только курсовую стоимость акций ее неконтрольного пакета - теория максимизации рыночной стоимости собственного капитала (точнее, рыночной стоимости обыкновенных акций фирмы).

В рамках этой теории:

- объективным критерием эффективности управления фирмой и ее деятельности служит курсовая стоимость акций ее неконтрольного пакета;
- максимизацию рыночной стоимости собственного капитала фирмы можно рассматривать как основную цель ее деятельности;
- любое финансовое решение, обеспечивающее в перспективе рост цены акций, должно приниматься владельцами фирмы и/или управленческим персоналом.

Мы считаем, что успех данного подхода объясняется следующим:

1. Рыночный курс акций является сконцентрированной оценкой ее стоимости всеми участниками рынка ценных бумаг, при этом исходят:

- из прибыли на акцию в прошедшем, настоящем и будущих периодах;
- периода получения прибыли;
- длительности ее получения и степени риска;
- дивидентной политики данной фирмы;
- объемов производства и сбыта и других факторов, оказывающих влияние на рыночный курс ее акций.

2. Рыночный курс акций выполняет роль индикатора:

- степени эффективности деятельности фирмы - он показывает насколько хорошо руководство фирмы управляет ею от имени держателей акций;

- степени эффективности управления фирмой - он показывает насколько хорошо руководство фирмы находит компромисс между интересами акционеров и положением фирмы;

3. Не смотря на то, что рыночный курс акций служит несовершенной мерой благосостояния акционеров, на данном этапе, он является самым доступных способов его оценки.

Проведенный анализ финансовых статистических и временных рядов ежедневных доходностей акций крупнейших российских эмитентов, таких как Иркутскэнерго, ЛУКОЙЛ, Мосэнерго, Норильский никель, РАО ЕЭС России, Ростелеком, Сбербанк, Сургутнефтегаз, Татнефть, Газпром, показал:

- по отношению к финансовым бумагам этих компаний рынок можно считать эффективным;
- в качестве критерия эффективности управления и деятельности использовать рыночные курсы их фондовых активов;
- принцип максимизации рыночной стоимости акций этих компаний должен лежать в основе всех принимаемых решений;
- основная цель, которую желательно преследовать руководителям этих компаний, – максимизация их рыночной стоимости.

622000 Свердловская обл., г. Нижний Тагил, Красногвардейская, 59, НТИУГТУ-УПИ,
тел. (3435)25-65-00, факс. (3435)25-63-11, nti@ntfupi.rcupi.e-burg.su

УДК 330.115

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ФОНДОВОГО РЫНКА И ПРОГНОЗИРУЕМОСТЬ ЦЕН ЕГО АКТИВОВ. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ЕЖЕДНЕВНЫХ ДОХОДНОСТЕЙ АКТИВОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ФОНДОВОГО РЫНКА

Бенсон Я.Е., Зудов Е.Г.

В основу предлагаемых однопериодных статистической и динамической моделей доходностей активов заложена концепция эффективного рынка капиталов. Можно дать два тождественных определения эффективного рынка капиталов:

1. Рынок является эффективным по отношению к определенной информации, если, используя эту информацию, нельзя принять решения о покупке или продаже ценных бумаг, позволяющие получить отличную от нормальной прибыль, или сверхприбыль. На таком рынке курс ценной бумаги будет хорошей оценкой ее инвестиционной стоимости. Инвестиционная стоимость представляет собой стоимость бумаги на данный момент с учетом перспективной оценки уровня цены спроса на нее и доходов по ней в будущем, рассчитанную хорошо информированными и способными аналитиками, которая может быть рассмотрена как справедливая стоимость бумаги. Отсюда второе определение.

2. Эффективный рынок – это такой рынок, на котором цена на каждую

ценную бумагу всегда равна ее инвестиционной стоимости. Другими словами, на таком рынке каждая ценная бумага в любое время продается по своей справедливой стоимости. Следовательно, все попытки найти ценные бумаги с неверными ценами оказываются тщетными.

С формальной точки зрения понятие эффективности должно рассматриваться по отношению и в зависимости от характера получаемой рынком и его участниками информации. Принято различать следующие три вида доступной информации и, соответственно, три степени эффективности: информация, содержащаяся в прошлых значениях цен (слабая степень эффективности); информация, содержащаяся не только в прошлых значениях цен, но и в публично доступных источниках – газетах, бюллетенях, телевидении и т. д. (средняя степень эффективности); вся информация для общего пользования и частная (сильная степень эффективности). В дальнейшем, под эффективностью рынка подразумевается его слабая эффективность. На слабо эффективном рынке инвесторы должны ожидать получение только нормальной прибыли и нормальной ставки доходности по своим инвестициям, принимая решение о покупке или продаже ценных бумаг на основе динамики курсов за прошедший период.

Предположим, для того чтобы рынок был эффективен и на нем работали модели доходности необходимо наличие на рынке достаточно большого числа сделок или объемов сделок по конкретной ценной бумаге, в следствии чего, действия отдельного продавца или покупателя не повлияют на цену данного актива. Отберем бумаги только тех эмитентов, для которых можно считать эти требования приемлемыми. Под эффективностью российского фондового рынка будем подразумевать не эффективность рынка в целом, а эффективность рынка по отношению к конкретной ценной бумаге или группе ценных бумаг, удовлетворяющих этим требованиям.

Концепция эффективного рынка на языке стохастической финансовой математики воплощена в том, что нормированные цены на таком рынке описываются мартингалами относительно некоторой меры, эквивалентной исходной вероятностной мере.

Предположим, что единицей измерения времени является один торговый день. Тогда на эффективном рынке в момент времени i инвестора должны интересовать не абсолютные изменения цены актива $\Delta S_i = S_i - S_{i-1}$, а относительные - $\rho_i = \Delta S_i / S_{i-1}$. Величину ρ_i называют случайной однодневной процентной спот-ставкой или ежедневной доходностью актива. Мы доказали, что если рынок эффективен, тогда относительно потока доступной информации $\{F_i\}_{i \geq 0}$ σ -алгебр, где события из F_i интерпретируют как информацию о прошлых и текущих ценах, доступную наблюдению до момента времени i включительно, $E(\rho_i | F_{i-1}) = r_i$, где r_i – текущая безрисковая однодневная процентная спот-ставка или ожидаемая ежедневная норма прибыли.

Из последнего равенства следует, что для ежедневных доходностей активов эффективного рынка должны работать следующие модели:

1. *Статистическая модель.* Если рассматривать ρ_i как независимые ре-

ализации случайной величины ρ , где ρ – ежедневная доходность фондового актива, тогда величина ρ_i должна содержать детерминированную составляющую $r_i = r$, учитывающую возможный доход от вклада в безрисковый актив, и стохастическую составляющую ε_i , учитывающую отклики рынка на цене актива: $\rho_i = r + \varepsilon_i$. Причем $E\varepsilon_i = 0$ и $D(\rho_i) = D(\varepsilon_i)$.

2. *Динамическая модель.* В терминах случайных процессов, процесс ρ_i разбивается на систематическую составляющую r_i и ε_i – случайные отклонения от нее: $\rho_i = r_i + \varepsilon_i$, где $r_i = r(i)$ – неслучайная функция момента времени, ε_i – случайная величина с математическим ожиданием $E(\varepsilon_i | F_{i-1}) = 0$ и дисперсией $D(\varepsilon_i | F_{i-1}) = D(\rho_i | F_{i-1})$ (для условного распределения), или ε_i – случайная величина с математическим ожиданием $E\varepsilon_i = 0$ и дисперсией $D\varepsilon_i = D\rho_i$ (для безусловного распределения).

Анализ статистических рядов ежедневных доходностей акций 10 крупнейших российских эмитентов, таких как Иркутскэнерго, ЛУКОЙЛ, Мосэнерго, Норильский никель, РАО ЕЭС России, Ростелеком, Сбербанк, Сургутнефтегаз, Татнефть, Газпром, составленных по итогам биржевых торгов на ММВБ и ММБ на момент закрытия с октября 1999 г. по декабрь 2000 г. и опубликованных в центральной газете “Коммерсант”, позволяет нам сделать следующие заключения:

- статистическая модель эффективного рынка принимается для 50% эмитентов, таких как Иркутскэнерго, РАО ЕЭС России, Сбербанк, Татнефть, Газпром;
- причем для 40% из них, таких как РАО ЕЭС России и Сбербанк, гипотеза о нормальном законе распределения ежедневных доходностей фондовых активов согласуются с опытными данными, а гипотеза о лапласовском законе распределения - для 60% эмитентов, таких как Иркутскэнерго, Татнефть и Газпром;
- для статистического ряда ежедневных доходностей акций РАО ЕЭС России статистическую модель желательно отвергнуть и провести проверку соответствующего финансового временного ряда на условно-гауссовскую динамическую модель;
- для эмитентов выборки, таких как, например, Газпром, для статистических рядов распределения ежедневных доходностей которых работает статистическая модель, есть основание предположить, что для соответствующих финансовых временных рядов работает безусловно-гауссовская или безусловно-лапласовская динамическая модель;
- есть основание финансовые временные ряды ежедневных доходностей тех эмитентов, для статистических рядов ежедневных доходностей которых статистическая, следовательно, и безусловная динамическая модель были отвергнуты, проверить на условную динамическую модель. Среди них, например, ЛУКОЙЛ, Мосэнерго, Норильский никель, РАО ЕЭС России (см. выше), Ростелеком, Сургутнефтегаз. Мы доказали, что в этом случае можно говорить об условно-гауссовских и условно-лапласовских динамических моделях.

Мы показали, что в рамках условной динамической модели эффективно-го рынка уравнение для ρ_i можно считать уравнением ARMA(1, 1) процесса, которое будет иметь вид: $\rho_i = \alpha_0 + \alpha_1 \rho_{i-1} + \varepsilon_i - \alpha_3 \varepsilon_{i-1}$, где $r_i = \alpha_0 + \alpha_1 \rho_{i-1}$ – изменяющаяся во времени оценка ожидаемой однодневной нормы прибыли. Отсюда следует, что прогнозируемость финансовых временных рядов ежедневных доходностей (следовательно, и цен) финансовых активов является следствием эффективности рынка.

Если для исследуемого финансового временного ряда ежедневных доходностей гипотеза об условно-гауссовской динамической модели согласуется с опытными данными, то линейная ARMA(1, 1) модель должна давать неплохие прогнозы – точечные (и, тем более, интервальные) оценки ожидаемой доходности, по крайней мере, на следующий день. С помощью линейной ARMA(1, 1) модели для безусловно-гауссовских динамических моделей мы можем получить только неплохие интервальные оценки ожидаемой доходности. Для безусловно- и условно-гауссовских динамических моделей ежедневных доходностей неплохие интервальные оценки ожидаемой доходности дают гауссовские модели прогнозирования.

Анализ финансовых временных рядов ежедневных доходностей акций Газпрома с января 1999 г. по август 2000 г. и РАО ЕЭС России с ноября 1998 г. по июнь 2000 г., составленных по итогам торгов в РТС на момент закрытия и состоящих из 400 наблюдений, показал:

- что, действительно, для временного ряда ежедневных доходностей акций РАО ЕЭС России имеет место условно-гауссовская динамическая модель;
- для временного ряда ежедневных доходностей акций Газпрома имеет место безусловно-гауссовская динамическая модель. Что, с одной стороны, подтверждает предположение, полученное при анализе статистического ряда, о безусловности динамической модели, с другой стороны – дает основание утверждать, что отклонение от гауссовской модели связано с недостаточными объемами или недостаточным количеством сделок по данной ценной бумаге, которое имеет место при торговле на бирже (в нашем случае, на МФБ);
- при прогнозировании ежедневных доходностей акций Газпрома и РАО ЕЭС России гауссовские модели прогнозирования неплохо работают как для безусловно- так и для условно-гауссовских динамических моделей;
- линейная ARMA(1, 1) модель дает неплохие точечные оценки только для ожидаемой доходности акций компании РАО ЕЭС России, финансовый временной ряд ежедневных доходностей которой удовлетворяет условно-гауссовской динамической модели;
- качество прогнозов ожидаемых ежедневных доходностей активов является косвенным доказательством эффективности отечественного фондового рынка по отношению к данным бумагам.

Более того, анализ статистических и временных рядов ежедневных доходностей показал:

- что оценки ожидаемой ежедневной нормы прибыли для всех эмитентов оказались почти равными нулю. Это говорит о том, что доходы по фондовым ак-

- тивам в исследуемом временном интервале обеспечивались в основном изменениями рыночных курсов акций, определяемых спросом и предложением;
- в рамках этих моделей историческая информация о доходах может быть основанием для оценки неопределенности, связанной с получением будущих доходов, и, отсюда, может быть основой для расчета будущих рисков;
 - выбор того или иного метода получения оценки ожидаемой нормы прибыли и риска, связанного с ее получением, зависит не только от предполагаемого теоретического распределения, но и принимаемой модели;
 - оказалось, что для всех эмитентов риски почти равны, что говорит об одинаковых ожиданиях инвесторов относительно всех интересующих нас фондовых активов.

Таким образом, анализ финансовых статистических и временных рядов ежедневных доходностей акций крупнейших российских эмитентов, таких как Иркутскэнерго, ЛУКОЙЛ, Мосэнерго, Норильский никель, РАО ЕЭС России, Ростелеком, Сбербанк, Сургутнефтегаз, Татнефть, Газпром, позволяет сделать следующие заключения по отношению к финансовым бумагам этих компаний рынок можно считать эффективным.

622000 Свердловская обл., г. Нижний Тагил, Красногвардейская, 59, НТИУГТУ-УПИ,
тел. (3435)25-65-00, факс. (3435)25-63-11, nti@ntfupi.rcupi.e-burg.su

УДК 316.334.2.001.57

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ППП ITHINK

Фролова Л.А.

Имитационное моделирование заслуженно считается самым мощным и перспективным инструментом конструирования и последующего исследования сложных бизнес-процессов и систем, когда велико число переменных, трудоемко а зачастую и невозможен математический анализ зависимостей, высок уровень неопределенности имитируемых ситуаций. Популярности распространения подобных моделей способствовал коммерческий успех аналитического пакета прикладных программ ITHINK (фирма *High Performance Systems, Inc., USA*). В начале 90-х пакет ITHINK стал признанным стандартом структурного моделирования на Западе. Он широко используется в интеллектуальных центрах корпораций, банках, правительственных структурах и проектно-исследовательских учреждениях.

Сегодня подходы и методы имитационного моделирования могут оказаться чрезвычайно плодотворными и своевременными в отечественных условиях перманентной экономической неустойчивости и риска. Прежде всего это касается перспективных, динамично развивающихся и находящихся в стадии становления активных секторов отечественного бизнеса, таких как банковская и страховая деятельность, рынок информационных технологий, торгово-посреднический бизнес, а также рынок ценных бумаг. Особого внимания заслу-

живают попытки прагматических оценок трудно формализуемых человеческих факторов, признания того, что люди в бизнесе не всегда поступают рационально, зачастую руководствуясь подсознательными мотивами и побуждениями.

Трудно не согласиться, что большинство проблем, так или иначе, развернуты во времени и имеют дело с разного рода накапливаемыми фондами (резервы, запасы, кредиты, объемы, денежные средства и т.д.), управлению которыми наиболее соответствуют схемы потокового типа. Подобные схемы чрезвычайно привлекательны для исследования самых разнообразных сложных явлений деловой и финансовой активности.

Потоковые сети, несмотря на свою кажущуюся простоту и наглядность, позволяют строить весьма нетривиальные механизмы управления, что делает возможным использовать их на уровне обобщенных, концептуальных представлений методологии реинжиниринга. Тогда, уже на самых ранних стадиях обдумывания и предварительного анализа проблем, можно ввести в модель механизмы реакции на возможные промахи, локальные бедствия и риски. А это, в свою очередь, поможет при оценке потенциальных резервов по выявлению нежелательных последствий в случаях формирования таких стратегических решений, как реинвестирование части банковского капитала в бизнес, выбор финансовой или инвестиционной компании на рынке поглощения, сокращение или расширение сети торговых филиалов и т.д.

Система отличается функциональной простотой и гармоничностью. Пакет не требует специальных навыков и владения сложными математическими методами. Процесс разработки модели сочетается с отображением на экране моделируемых структур и взаимосвязей. Программа модели автоматически подстраивается под структурную схему, сформированную оператором. Оператор постоянно видит объект в целом. Перестроение его картинки приводит к автоматическим изменениям в алгоритме и программе модели. Таким образом, обеспечивается уникальный эффект визуализации моделирования. В этом заключается наиболее яркая отличительная черта интерфейса программного пакета ITHINK.

Литература

1. Hanon B., Ruth M. Modeling dynamic economic systems. – New York: Springer, 1997. – 339 p.

УДК 681.5

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ AS-IS И TO-BE В ПРОЦЕССЕ РЕИНЖИНИРИНГА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ИСУП НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Веретенников С.Э., Доросинский Л.Г.

Объектом реинжиниринга и автоматизации явилась система управления товарно-материальными запасами предприятия пищевой промышленности Уральского региона [1]. Было проведено функциональное моделирование существующих бизнес-процессов (построение модели AS-IS) и построение моде-

ли ТО-БЕ по методологии IDEF0 (Icam DEFinition), основанной на стандарте SADT, и по методологии IDEF3, позволяющей описать синхронность (асинхронность) процессов, функционирующих в автоматизированном режиме [2]. В качестве активностей (Activity) верхнего уровня в обеих моделях были выделены основные бизнес-процессы, разграниченные по принципу реализации основных функций управления и соответствующие с одной стороны оргструктурным единицам предприятия, а с другой – основным функциональным модулям внедряемой системы управления. Типы связей между активностями - последовательные и функциональные. Сравнительный анализ моделей позволил оценить глубину проведенного реинжиниринга, выявил основные качественные изменения (коснувшиеся в основном процессов «Учет» и «Производство») в концепции функционирования бизнес-объекта с учетом автоматизации. В модели ТО-БЕ изменения выразились в преобразовании объема и качества потоков данных, уменьшении уровней вложенности, повышении степени функциональной связности. Проанализированы достоинства и недостатки данных моделей, их информативность для разработчика и для конечного пользователя. Проведен сравнительный анализ соответствующих case-средств, исследование эффективности применения case-средства BPWIN для построения диаграмм функциональных моделей бизнес - процессов в условиях конкретного бизнес - объекта. Построенная модель ТО-БЕ явилась базой для технического задания на создание интегрированной системы управления предприятием [3].

Литература

1. Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Реинжиниринг организаций и информационные технологии. – М.: Финансы и статистика, 1997. – 126 с.
2. Barker R. CASE*Method. Function and Process Modelling. – Copyright Oracle Corporation UK Limited, Addison-Wesley Publishing Co., 1990.
3. Веретенников С.Э., Доросинский Л.Г. Корпоративные информационные системы на промышленных предприятиях // Информационные технологии и электроника: Сб. науч. тр. 4-й Всероссийская научно-техническая конференция студентов и молодых ученых. / Ур. гос. техн. ун-т. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1999.

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 32, УГТУ(УПИ), каф. АСУ,
e-mail: vse@quorus.ru, asu@rtf.ustu.ru

УДК 519.711.3:658.513.2

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПОСТАВОК ХЛЕБОБУЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СПРОСА

Родионов А.С., Ельченко М.А.

Условия новой рыночной экономики приводят к существенным изменениям стратегического и оперативного планирования деятельности предприятий любой отрасли. При этом, в отличие от планового хозяйствования, роль математического моделирования при формировании стратегии и тактики предприя-

тия существенно возрастает. Представляется очевидным, что на первом этапе задачи стратегического и оперативного планирования должны быть разделены.

Наиболее значимой проблемой оперативного планирования деятельности финансово самостоятельного предприятия хлебобулочной промышленности является реализация продукции, эффективность которой невозможна без снижения (минимизации) затрат на перевозку, штрафных санкций по объему и времени доставки.

Более полный учет различных аспектов функционирования рассматриваемого предприятия приводит к необходимости корректировки математической модели, предложенной в [1] :

- 1.1) имеется m производств (складов);
- 1.2) производится (и/или хранится) l видов продукции;
- 1.3) известен суточный цикл производства по объему (три смены);
- 1.4) объем и ассортимент производства (запасов) в общей постановке случайны (поломки оборудования и др.)

$$a_{i,p}^1(\omega) + a_{i,p}^2(\omega) + a_{i,p}^3(\omega) = a_{i,p}(\omega), \quad i = \overline{1, m}, \quad p = \overline{1, l};$$

- 2.1) поставки осуществляются n потребителям (магазинам) в соответствии с договорами (заявками) на отдельные виды продукции;
- 2.2) спрос, в общем случае, содержит несколько компонент :
 - 2.2.1) обязательные (гарантированные) поставки;
 - 2.2.2) поставки по договорам (с возможным неисполнением при наличии штрафных санкций);
 - 2.2.3) случайный спрос, превышающий договорные обязательства

$$b_{j,p}^1(\omega) + b_{j,p}^2(\omega) + b_{j,p}^3(\omega) = b_{j,p}(\omega), \quad j = \overline{1, n}, \quad p = \overline{1, l};$$

- 2.2.4) случайный спрос со стороны потребителей, не имеющих договоров с предприятием

$$b_{j,p}(\omega), \quad j = \overline{n, n + \Delta n(\omega)}, \quad p = \overline{1, l};$$

- 2.3) известен график поставки продукции потребителям (до трех раз в сутки);
- 2.4) известна карта расположения потребителей с пропускными способностями магистралей;
- 3.1) транспорт
 - 3.1.1) собственный предприятия,
 - 3.1.2) арендный муниципального предприятия с долгосрочными ставками аренды,
 - 3.1.3) арендный частный с краткосрочными ставками аренды (все виды известной грузоподъемности);
 - 3.1.4) неизвестной грузоподъемности при самовывозе потребителем;
- 3.2) оплата аренды :
 - 3.2.1) за тонну;
 - 3.2.2) за километр;
 - 3.2.3) за тонно- километр;
 - 3.2.4) повременная;
- 3.3) перевозки продукции могут осуществляться мелкопартионным методом;
- 3.4) каждое транспортное средство может доставлять продукцию всех видов нескольким потребителям.

Функцией цели (критерием оптимальности плана перевозок) является минимум стоимости доставки продукции с учетом штрафных санкций за недопоставку по объему и времени, накладных расходов на хранение и списание.

Учет указанных особенностей функционирования предприятия приводит к существенному увеличению размерности и сложности математической модели, предложенной в [1].

Рассматриваемая задача является стохастической сетевой транспортной задачей с промежуточными пунктами, включающей как составную часть задачу коммивояжера с разгрузкой, с возможными дисбалансом, запасами и комплексным критерием оптимальности. В такой постановке матрицы запасов и заявок трехмерны, содержат случайные компоненты и даже размерность. Редукция на однородные по продукту транспортные задачи невозможна в силу перевозок всех видов продукции по ассортименту каждым видом транспорта. Кроме того, рассматриваемая задача является, по существу, целочисленной. Методы решения задачи в такой постановке в настоящее время неизвестны.

Представляется рациональным следующий подход в решении этого комплекса связанных задач :

- 1) случайная компонента производства на первом этапе не рассматривается;
- 2) случайная компонента спроса считается дискретно распределенной с известной вероятностью (частотой появления);
- 3) решается двухэтапная задача стохастического программирования [2,3] с базисным критерием оптимальности - минимум стоимости доставки продукции и последующей корректировкой при учете штрафных санкций;
- 4) на первом этапе целочисленность не учитывается (с последующей проверкой при наблюдении реализаций).

Литература

1. Голованов А.А., Голованова М.А., Родионов А.С., Ельченко М.А. Моделирование оперативного планирования перевозок хлебобулочной и кондитерской продукции // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск: НАБЛА, 2001. – Ч. 2. – С. 52-54.
2. Кардаш В.А. Введение в стохастическую оптимизацию. – Новочеркасск: НГТУ, 1995. – Кн. 1. – 155 с.
3. Юдин Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования. – М.: Сов. Радио, 1979. – 392 с.

КРИТЕРИИ ПОДОБИЯ ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ МОДУЛЕЙ

Хазанович Г.Ш., Ляшенко Ю.М.

При исследовании процессов взаимодействия погрузочных и транспортирующих органов с сыпучей или крупнокусковой горной массой на физических моделях необходимо обеспечить подобие с натурными объектами в следующих аспектах:

- 1) силовое (сопротивлений внедрению и проталкиванию);
- 2) внутренних напряжений (при статическом приложении нагрузки);
- 3) объемов единичного захвата (при перемещении рабочих органов с малыми скоростями в реальном масштабе времени).

В соответствии с результатами исследований Г.В. Родионова, В.Г. Сильня, С.С. Музгина, В.Д. Гагина, В.Д. Ерейского сопротивления внедрению днища ковша в штабель крупнокускового материала $W_{вн}$ определяются следующей совокупностью независимых факторов:

- углы наклона внедряемой плоскости – α , опорной плоскости – почва – β ;
- вид насыпного груза, характеризуемый литологическим составом, свойства которого реализуются через параметры: - коэффициенты внутреннего трения – $\operatorname{tg} \varphi$; трения материала о поверхность плоскости $\operatorname{tg} \varphi_0$; угол естественного откоса – φ_1 ; крупность частиц погружаемого материала: средний размер куска – a , м; гранулометрический состав штабеля $f(a_i/a)$; плотность груза в разрыхленном состоянии – γ_{mat} , кг/м³;
- фрикционное состояние опорной поверхности – почвы, определяемое коэффициентом трения передней кромки ковша о почву $f_{п}$;
- форма и размер штабеля, определяемые углом откоса $\varphi_1 - \delta$, δ – угол отсыпки; высотой прямоугольной части $H_{шт}$;
- глубиной внедрения передней плоскости S , м, длиной наклонной части – L , если плоскость имеет ограниченный размер в направлении внедрения и погружается на величину $S > L$;
- шириной наклонной плоскости – B , м.

Таким образом, сопротивления внедрению наклонной плоскости определяются многофакторной зависимостью:

$$W_{вн} = \Phi \left(\alpha, \beta, a, f \left(\frac{a_i}{a} \right), \gamma_m, \varphi, \varphi_0, \varphi_1 - \delta, f_{п}, S, L, H_{шт} \right). \quad (1)$$

Для неограниченной длины наклонной плоскости при $S \leq L$ математическое выражение функции Φ наиболее полно определено в работах канд. техн. наук В.Д. Ерейского [1]:

$$W_{вн} = 0,1 \left[B(0,1aS + K_{\alpha} S^2) \right] \cdot 2^{0,1\beta} K_{вн} K_{\beta}, \quad (2)$$

где K_α – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона днища ковша к почве, линейная функция от угла α ; $K_{вм}$ – коэффициент влияния величины штабеля V , $H_{шт}$, нелинейная функция от $H_{шт}$; $K_{ВГ}$ – коэффициент влияния вида груза.

При конструировании математической модели использовалась следующая методология:

- 1) формулировалась гипотеза о влиянии одного из факторов, например, крупности кусков;
- 2) выполнялись построения линий скольжения и силовых многоугольников, определялись сопротивления внедрению;
- 3) на физической модели проводились измерения сопротивлений внедрению, и оценивалось их соответствие графоаналитическим построением;
- 4) вводились поправочные коэффициенты в базовую формулу Г.В. Родионова;
- 5) для выборочного сочетания влияющих факторов проводились измерения на натурной установке и корректировка математической модели.

Аналогичные приемы использованы в настоящей работе при исследовании процессов взаимодействия клиновых элементов со штабелем – рамки с клиновым носком и клинового тягово-транспортного органа [2, 3].

При этом основными исследуемыми процессами остаются:

- внедрение клина в штабель;
- захват порции материала и передача его на последующее транспортное звено.

Ниже даются обоснования принципов физического моделирования рабочих процессов погрузочно-транспортных модулей и критериев подобия – Π_i , $i=1,2,...,n$.

При разработке и создании физических моделей приняты следующие допущения:

- динамические составляющие усилий ничтожно малы в сравнении со статическими сопротивлениями в связи с тем, что ускорения рабочих органов составляют не более $0,1g$, а груза – $(0,05-0,1)g$;

- сопротивления внедрению не зависят от скорости в используемом диапазоне скоростей клиньев (до $0,5$ м/с); что подтверждается исследованиями рабочих процессов ковшей и нагребных лап;

- модели систем геометрически подобны натурным рабочим органам, что относится к линейным размерам клиньев, штабеля и кусков, т.е. $\Pi_1 = \lambda = l_m / l_n$, где l_m , l_n – соответственные размеры модели и натуре;

- пересчет показателей рабочих процессов, полученных на модели, к натурным значениям производится в соответствии с критериями подобия, приводимыми ниже.

Из зависимости (1) следует, что в качестве критериев подобия прежде всего необходимо принять безразмерные параметры, влияющие на процесс. Кроме геометрических условных характеристик α , β критериями подобия яв-

ляются безразмерные физические характеристики погружаемого материала – углы трения и естественного откоса:

$$\Pi_2 = \varphi; \Pi_3 = \varphi_0; \Pi_4 = \varphi_1,$$

а также функция распределения погружаемого материала по крупности – $f(a_i/a)$.

Из оставшихся влияющих факторов, имеющих ненулевые размерности, составляем систему для обоснования других критериев подобия: $W_{вн}$ (Н), S (м), a (м), γ_m (кг/м³), g (м/с²).

Примем в качестве основных единиц γ_m, a, g .

Обозначим единицы измерения первичных величин:

длины $[L] = \text{м}$; массы $[M] = \text{кг}$; времени $[T] = \text{с}$.

Тогда размерности основных величин:

$$[\gamma_m] = [M] \cdot [L]^{-3}; [a] = [L]; [g] = [L] \cdot [T]^{-2}.$$

Указанная совокупность величин может быть принята в качестве основной, т.к. определитель, составленный из показателей степени, $\Delta \neq 0$; действительно:

$$\Delta = \begin{vmatrix} -3 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -2 \end{vmatrix} = -2 \neq 0.$$

Будем искать критериальное уравнение системы в виде

$$\frac{W}{\gamma_m^\mu a^\lambda g^\tau} = \Phi_1\left(\frac{S}{d}\right). \quad (3)$$

Т.к. размерности комплексов величин, стоящих в обеих частях уравнения (3), должны быть равны единице, получаем

$$\frac{[L] \cdot [M] \cdot [T]^{-2}}{([M] \cdot [L]^{-3})^\mu [L]^\lambda \cdot ([L] \cdot [T]^{-2})^\tau} = 1;$$

$$\text{откуда} \quad [M]^{1-\mu} \cdot [L]^{1+3\mu-\lambda-\tau} [T]^{-2+2\tau} = 1 \quad (4)$$

Находим значения показателей из уравнения (4)

$$\begin{cases} 1 - \mu = 0 \\ -2 + 2\tau = 0 \\ 1 + 3\mu - \lambda - \tau = 0 \end{cases};$$

$$\mu = 1; \tau = 1; \lambda = 3$$

Критерии подобия имеют вид:

$$\Pi_5 = \frac{W_{вн}}{\gamma_m \cdot a^3 g}; \quad \Pi_6 = \frac{S}{a}.$$

Таким образом, при статическом моделировании силовых процессов взаимодействия необходимо соблюдать условия

$$\Pi_1 = \lambda_{mod} = \frac{l_n}{l_m} - \text{геометрический масштаб моделирования};$$

$\Pi_2 = \varphi$; $\Pi_3 = \varphi_0$; $\Pi_4 = \varphi_1$ – углы внутреннего трения, трения сыпучего материала о днище (клин) и естественного откоса модели и природы должны быть одинаковы;

$$\Pi_5 = \frac{W_{вн}}{\gamma_m a^3 g} \rightarrow \frac{(W_{вн})_н}{(W_{вн})_м} = \frac{(\gamma_m)_н}{(\gamma_m)_м} \cdot (\lambda_{mod})^3 - \text{сопротивления внут-}$$

реннего контура и модели при $(\gamma_m)_н = (\gamma_m)_м$ относятся как куб масштаба геометрического моделирования;

$$\Pi_6 = \frac{S}{a} - \text{глубина внедрения, как и все остальные линейные размеры,}$$

изменяются согласно λ .

Аналогичные соотношения могут быть получены при анализе процесса захвата порции материала и передачи его на последующее транспортное звено или в соседнюю ячейку.

Из всех перечисленных критериев подобия наиболее всего сложно воспроизводимым является $\Pi_2 = \varphi$. Величина φ является важнейшей трибометрической характеристикой сыпучей среды. Если $\varphi_m = \varphi_n$, то линии скольжения оконтуривают геометрически подобные области. Это следует из принципов построения контуров областей предельно напряженного состояния. Известно, что угол внутреннего трения φ зависит от литологического состава сыпучего материала, фрикционного состояния контактирующих частиц и их крупности. По С.С. Музгину [4] величина φ с увеличением крупности кусков (частиц) возрастает от значения $\varphi_{то}$ ($\varphi_{то} = \varphi$, $a \rightarrow 0$). Это подтверждается и нашими опытами на специальном трибометре. Вместе с тем реализация конкретного значения φ зависит не только от абсолютной величины зерна сыпучего, но также и от размеров взаимодействующей подпорной стенки (элементов погрузочного органа) и приложенной внешней нагрузки. При одной и той же величине a предельные касательные напряжения в массиве, при которых начинается нарушение его сплошности, соответствующие разным линейным размерам взаимодействующих поверхностей и нагрузок, существенно разнятся. Природа этих явлений ровно как разработка теории крупнокусовой среды, нуждаются в фундаментальных исследованиях.

В настоящей работе принято, что при соблюдении соотношения $\lambda = a_n/a_m$, сохранение величины $\varphi_{тн} = \varphi_{тм}$ для природы и модельных установок и абсолютной величины предельных касательных напряжений τ_{max} в массиве $\varphi_m \approx \varphi_n$.

При этом, на основании теории размерностей в системе с базовыми величинами τ_{max} , $\gamma_{мат}$, l , g необходимо соблюдение критерия подобия

$$\Pi_7 = \frac{\tau_{\max}}{\gamma_{\text{м}} l g} ;$$

(вывод сделан аналогично Π_5).

Тогда для равенства $(\tau_{\max})_{\text{м}} = (\tau_{\max})_{\text{н}}$ необходимо соблюдение условия

$$\gamma_{\text{м}} = \gamma_{\text{н}} \lambda ,$$

т.е. возможно также геометрическое моделирование с увеличением плотности горной массы модели в λ раз и сохранением соответствия фрикционного состояния частиц природы и модели.

При моделировании физико-механических свойств погружаемого материала одинакового литологического состава использовались следующие соотношения

$$(\gamma_{\text{м}})_{\text{м}} = (\gamma_{\text{м}})_{\text{н}} ; a_{\text{м}} = a_{\text{н}} / \lambda ; \varphi_{1\text{м}} \approx \varphi_{1\text{н}} ; f\left(\frac{a_i}{a}\right) = \text{const} ;$$

где φ_1 – угол естественного откоса; $f(a_i/a)$ – гранулометрический состав материала.

Литература

1. Ерейский В.Д., Полежаев В.Г., Иванов О.П. К определению сопротивления внедрению ковша в сыпучий материал // Грузоподъемные и транспортные установки: Сб. науч. тр. / НПИ. - Новочеркасск, 1975. - Т.313. - С. 93-95.
2. А.С. 1678724 СССР, МКИ В65 G65/02. Погрузочная машина / Ю.М. Ляшенко, Е.В. Никитин, Г.Ш. Хазанович, В.Г. Сильня, В.Е. Александров (СССР). – № 4643628/11; Заявл. 30.01.89; Опубл. 23.09.91. Бюл. № 35.
3. А.С. 1684184 СССР, МКИ В65 G25/00, 25/08. Конвейер для транспортирования сыпучих и кусковых материалов / В.Г. Сильня, Г.Ш. Хазанович, А.А. Остановский (СССР). – № 4753039/03; Заявл. 07.09.89; Опубл. 15.10.91, Бюл. № 38.
4. Музгин С.С. Погрузка руды самоходными машинами. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 224 с.

346500, г. Шахты, пл. им. Ленина, Шахтинский институт ЮРГТУ (НПИ), каф. «Горные машины и оборудование», т. (86362) 2-20-36, 2-40-50, E-mail: singtu@sha.rnd.su

УДК 621.315.592

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЯТИКОМПОНЕНТНОГО ТВЕРДОГО РАСТВОРА InAlGaAsSb(GaSb)

Лунин Л.С., Столярова В.В., Столяров С.М.

Применение пятикомпонентных твердых растворов (ПТР) на основе соединений A^3B^5 , для которых существует возможность независимо регулировать период решетки, ширину запрещенной зоны и КТР, создает предпосылки для получения эпитаксиальных гетероструктур, работающих в более широком спектральном диапазоне и высоким структурным совершенством [1]. Одной из таких гетероструктур является ПТР InAlGaAsSb(GaSb). Однако выращивание

этой гетероструктуры связано с огромными временными и материальными затратами, что делает актуальным построение модели данного ПТР.

На основе экспериментальных данных разработана методика зависимости величины подвижности носителей заряда от их концентрации и состава ПТР, легированного некоторым элементом [2]. Формула зависимости имеет вид:

$$\mu = -(\gamma_{ij1}x^2 + \gamma_{ij2}x + \gamma_{ij3}y^2 + \gamma_{ij4}y + \gamma_{ij5}z^2 + \gamma_{ij6}z) \cdot 10^\alpha \cdot n + (\gamma_{ij7}x^2 + \gamma_{ij8}x + \gamma_{ij9}y^2 + \gamma_{ij10}y + \gamma_{ij11}z^2 + \gamma_{ij12}z) \cdot 10^\beta + \gamma_{ij13} \cdot 10^\beta, \quad (1)$$

где n – концентрация носителей заряда, α, β – некоторые постоянные, определяемые экспериментальным путем; γ_{ijk} ($k = \{1, 2, \dots, 13\}$) – “легирующие” коэффициенты: i обозначает номер гетероструктуры, j – номер легирующего элемента, k – номер “легирующего” коэффициента.

Для определения “легирующих” коэффициентов γ_{ijk} , соответствующих определенной гетероструктуре, легированной некоторым элементом, необходимо найти решение двух систем: шести и семи уравнений, которые можно получить, имея минимум совокупность семи наборов экспериментальных данных, относящихся к различным составам этой гетероструктуры, легированным одним и тем же элементом:

$$\gamma_{ij1}x_l^2 + \gamma_{ij2}x_l + \gamma_{ij3}y_l^2 + \gamma_{ij4}y_l + \gamma_{ij5}z_l^2 + \gamma_{ij6}z_l = f_l, \quad (2)$$

$$\gamma_{ij7}x_l^2 + \gamma_{ij8}x_l + \gamma_{ij9}y_l^2 + \gamma_{ij10}y_l + \gamma_{ij11}z_l^2 + \gamma_{ij12}z_l + \gamma_{ij13} = g_l, \quad (3)$$

где $l = \{1, 2, \dots, 7\}$, а x_l, y_l, z_l, f_l, g_l – результаты l -го эксперимента.

Для исследуемой гетероструктуры проведен теоретический анализ поведения подвижности носителей заряда при определенных изменениях состава.

В работе [2] рассмотрена методика нахождения “легирующих” коэффициентов для пятикомпонентного твердого раствора $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}_z\text{Sb}_{1-z}(\text{GaSb})$, легированного, теллуром (Te). С учетом классификации, введенной в работе [3], формулы 1-3 для данного сочетания переписываются в виде:

$$\mu = (\gamma_{331}x^2 + \gamma_{332}x + \gamma_{333}y^2 + \gamma_{334}y + \gamma_{335}z^2 + \gamma_{336}z) \cdot 10^\alpha \cdot n + (\gamma_{337}x^2 + \gamma_{338}x + \gamma_{339}y^2 + \gamma_{3310}y + \gamma_{3311}z^2 + \gamma_{3312}z) \cdot 10^\beta + \gamma_{3313} \cdot 10^\beta,$$

$$\gamma_{331}x_l^2 + \gamma_{332}x_l + \gamma_{333}y_l^2 + \gamma_{334}y_l + \gamma_{335}z_l^2 + \gamma_{336}z_l = f_l,$$

$$\gamma_{337}x_l^2 + \gamma_{338}x_l + \gamma_{339}y_l^2 + \gamma_{3310}y_l + \gamma_{3311}z_l^2 + \gamma_{3312}z_l + \gamma_{3313} = g_l.$$

Для данного ПТР были найдены “легирующие” коэффициенты, получены графики поведения подвижности носителей заряда, а также промежутки монотонности и знакопостоянства для функций – составляющих μ .

В некоторых случаях для упрощения задачи получения ПТР с заданной подвижностью носителей заряда необходимо определить множества возможных составов пятикомпонентного твердого раствора с учетом ограничений, наложенных на x, y, z в пространстве R^3 . Разработанная методика позволяет описать все возможные случаи таких множеств и уточнить значения “легирующих” коэффициентов.

Для ПТР $\text{InAlGaAsSb}(\text{GaSb})$ проведен анализ возможных методик расчета ширины запрещенной зоны. Формула для расчета данного параметра, предложенная в работе [1], позволяет получать результаты, значительно отличающиеся от экспериментальных данных (до 20%), что требует ее дальней-

шей доработки. В связи с этим для ПТР

$\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-z}\text{As}_z\text{Sb}_{1-z}(\text{GaSb})$ предложена модифицированная формула расчета ширины запрещенной зоны, позволяющая получать значения E_g , наиболее совпадающие с экспериментальными:

$$E_g = E_{g\text{InAs}} \cdot x \cdot z + E_{g\text{InSb}} \cdot x \cdot (1-z) + E_{g\text{AlAs}} \cdot y \cdot z + E_{g\text{AlSb}} \cdot y \cdot (1-z) + E_{g\text{GaAs}} \cdot (1-x-y) \cdot z + E_{g\text{GaSb}} \cdot (1-x-y) \cdot (1-z) - \{ x \cdot y \cdot [z \cdot \varepsilon_{\text{InAlAs}} + (1-z) \cdot \varepsilon_{\text{InAlSb}}] + x \cdot (1-x-y) \cdot [z \cdot \varepsilon_{\text{InGaAs}} + (1-z) \cdot \varepsilon_{\text{InGaSb}}] + y \cdot (1-x-y) \cdot [z \cdot \varepsilon_{\text{AlGaAs}} + (1-z) \cdot \varepsilon_{\text{AlGaSb}}] + z \cdot (1-z) \cdot [x \cdot \varepsilon_{\text{InAsSb}} + y \cdot \varepsilon_{\text{AlAsSb}} + (1-x-y) \cdot \varepsilon_{\text{GaAsSb}}] \}. \quad (4)$$

Сравнение результатов расчета по формуле (4) с экспериментальными данными ширины запрещенной зоны ПТР $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-z}\text{As}_z\text{Sb}_{1-z}(\text{GaSb})$ указывает на то, что применение модифицированной формулы позволяет получать разброс $E_{g\text{эксп}} - E_{g\text{расч}}$ в среднем не более 2%, и лишь с увеличением y к граничным значениям прямозонных составов при очень малых x наблюдается различие расчетных данных E_g ПТР $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-z}\text{As}_z\text{Sb}_{1-z}(\text{GaSb})$ с результатами эксперимента до 7%.

Литература

1. Лозовский В.Н., Луний Л.С. Пятикомпонентные твердые растворы соединений A^3B^5 . – Ростов-на-Дону, 1992. – 191 с.
2. Луний Л.С., Столяров С.М. Зависимость подвижности носителей заряда от концентрации легирующей примеси и состава пятикомпонентных твердых растворов соединений A^3B^5 // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. – 1998. – № 1. – С. 87-90.
3. Столяров С.М. Получение многокомпонентных полупроводниковых материалов на основе соединений A^3B^5 с заданными свойствами: Дисс. ... канд. наук. – Новочеркасск, 1998. – 148 с.

346428 г.Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ(НПИ), каф. физики, т.55-448,
e-mail: lunin@srstu.novoch.ru

УДК 621.9.047

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СКАНИРУЮЩЕЙ РАЗМЕРНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Курсанов С.В., Глебов В.В.

При всём многообразии факторов, влияющих на точность электрохимической размерной обработки (ЭХРО), электрохимические факторы являются определяющими и одновременно наиболее труднодостижимыми для регулирования и стабилизации в зоне межэлектродного промежутка. Наибольшее влияние на изменение локальной плотности тока вдоль трассы электролита оказывают процессы нагревания и газо- и шламонаполнения электролита. Кроме этого, с изменением состава, структуры, скорости и температуры электролита меняется его кинематическая вязкость, толщина диффузионного слоя и коэффициент диффузии в приэлектродных областях, локальные потенциалы на электродах и локализирующая способность электролита.

По нашему мнению, для существенного уменьшения электрохимических

погрешностей при ЭХРО плоских поверхностей большой площади перспективно использование сканирующего фотоуправляемого линейного электрод-инструмента (ЭИ) [1]. Такой ЭИ имеет очень маленькую длину по направлению движения электролита, эта длина равна диаметру используемого для изготовления его секций провода. Этот способ ЭХРО наиболее перспективен для неглубокой обработки больших поверхностей, нанесения различной рельефной информации, изготовления печатных плат и электрохимического маркирования.

Точность обработки кроме стандартных электрохимических погрешностей зависит от скорости сканирования и размера элемента ЭИ. Математическая модель для адекватной стратегии оптимизации этих параметров основывается на переходе от равномерного сканирования ЭИ к дискретно поступательному движению (ступеньчатое перемещение с шагом, равным размеру элемента ЭИ). Для физического макетирования этой модели, с целью исключения погрешностей системы СПИД (станок-приспособление-изделие-деталь), удобно использовать матричный растровый ЭИ [2]. Последовательное переключение рядов матрицы, с подачей соответствующих сигналов на элементы этого ряда, соответствует модели дискретно-поступательного движения линейного ЭИ.

Литература

1. Патент РФ №2089360 от 10.09.1997. МКП В 23Н 3/04, 9/06. Способ электрохимической обработки. / Глебов В.В., Кирсанов С.В., Коноваленко В.В., Присяжнюк Ю.В.
2. Кукоз Ф.И., Кирсанов С.В., Глебов В.В. Расширение возможностей размерной электрохимической обработки секционными катодами // Rezumatele comunicărilor științifice cu participare internațională, consacrat aniversării a 75 de ani din ziua nașterii acad. Ju.Petrov. - Chișinău, 1996. – P. 21-22.

346500 г.Шахты, ул. Шевченко 147, ЮРГУЭС, каф. физики, т. 2-04-33,
e-mail: glebovdon@mail.ru

УДК 621.923

ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ РИСКОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ

Скорилов А.В., Апальков А.Ф., Гайдамакин В.А.

Несмотря на широкое применение в промышленности шлифования, быстрое увеличение сфер применения и числа новейших материалов (твердых сплавов, полупроводников, металлокерамики, минералокерамики, ферритов, анизотропных магнитомягких сплавов, ситаллов, рубина, стекла, технических камней), обработка которых практически невозможна без абразивов, эта область технологии остается малоисследованной. Математическое моделирование процесса шлифования весьма затруднено отсутствием полноценных экспериментальных данных.

Широко применяющееся физическое моделирование шлифования методом обработки образцов единичным алмазным зерном не отвечает на многие важнейшие вопросы, касающиеся работы стандартного инструмента. В боль-

шинстве случаев при моделировании процесса микрорезания царапающий элемент считается конусом с сферической вершиной, что решающим образом влияет на математическую модель.

Применение прерванного процесса шлифования для моделирования промышленной абразивной обработки впервые позволило на базе экспериментальных данных подробно осветить вопрос об особенностях поперечного сечения рисок. В частности, на процесс микрорезания большое влияние оказывает сечение среза $F=ast$, где a -коэффициент, учитывающий форму зерна ($a=0,63$ для единичного закругленного конуса), s и t - ширина и глубина риски.

Проведенные замеры поперечных сечений рисок на образцах из сплава ЮНДК24, полученных на станке 3Г71 кругом Э9А25СМ26К показали, что для промышленного инструмента в режиме установившегося самозатачивания характерны несколько типичных поперечных профилей рисок и, соответственно, форм абразивных зерен. Каждый из характерных профилей имеет свой коэффициент a и свою частоту наблюдения, зависящую от параметров инструмента, материала заготовки и режимов обработки. Для указанных условий при стандартных режимах обработки риски трапецевидной формы встречаются в 16%, полукруглой в 32,7%, конической в 10%, закругленной в 26%, неправильной в 15,3% случаев. Эти результаты удобно использовать в виде коэффициента a для среднестатистического профиля риски (при указанных материалах и режимах $a=0,68$).

Данная методика применяется не только для изучения теоретических вопросов, но также может широко использоваться для решения различных практических, в том числе производственных задач.

346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), механический факультет, каф. "Технология машиностроения", тел. 55-4-86

УДК 621.923

ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ РИСКА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ

Скорилов А.В., Апальков А.Ф., Гайдамакин В.А.

Шлифование является одной из наименее исследованных областей резания металлов. До настоящего времени в литературе практически отсутствуют экспериментальные данные о некоторых важнейших параметрах процесса.

В математическом моделировании известны несколько расчетных схем образования рельефа шлифованных деталей. Но только теперь, при моделировании абразивной обработки с применением прерванного процесса, появилась возможность использовать при их сравнении с результатами экспериментов прямые замеры неразрушенных рисок. В условиях плоского шлифования гладкой поверхности процесс взаимодействия абразивного зерна с обрабатываемой деталью как правило, подразделяется на следующие условные участки траектории: 1) участок трения, 2) участок уплотнения, 3) участок резания. В соответ-

ствии с этими участками учитывается три вида воздействия зерна на поверхность детали: истирание, пластическое вытеснение, сдвиг металла.

Различные литературные источники при упоминании глубины резания абразивным зерном, указывают: 1) результаты экспериментов, проведенных с применением оправки и закрепленного в ней единичного зерна, причем глубина резания в основном зависит от вертикальной подачи, 2) уравнения для толщины слоя, снимаемого одним зерном шлифовального круга и основное уравнение шлифования, в которых при большом количестве учитываемых факторов решающее влияние на глубину резания зерном оказывает фактическое расстояние между зернами, продольная подача и глубина резания кругом.

На станке 3Г71 получены образцы с прерванным процессом из магнитного сплава ЮНДК24, и замерены: а-коэффициент, учитывающий форму зерна, t-глубина, L-длина, S-ширина среднестатистической риски 1) круг Э9А25СМ26К: $a=0,68$, $t = \bar{t} \pm \sigma_{\bar{t}} = 0,003 \pm 0,001 \text{ мм}$, $L = \bar{L} \pm \sigma_{\bar{L}} = 0,29 \pm 0,02 \text{ мм}$, $S = \bar{S} \pm \sigma_{\bar{S}} = 0,04 \pm 0,01 \text{ мм}$, $V = a \times S \times t \times L = 2,37 \times 10^{-5} \pm 1,4 \times 10^{-7} \text{ мм}^3$ и 2) круг ЭБ40СМ1К: $a=0,69$, $t = \bar{t} \pm \sigma_{\bar{t}} = 0,004 \pm 0,001 \text{ мм}$, $L = \bar{L} \pm \sigma_{\bar{L}} = 0,66 \pm 0,04 \text{ мм}$, $S = \bar{S} \pm \sigma_{\bar{S}} = 0,05 \pm 0,01 \text{ мм}$, $V = a \times S \times t \times L = 9,108 \times 10^{-5} \pm 2,7 \times 10^{-7} \text{ мм}^3$,

На рисунке 1 приведены продольные профили среднестатистических рисков зернистости 40 (102 промеренных риски), 25 (143 промеренных риска) по экспериментальным данным и теоретический профиль аналогичной по основным параметрам риски, рассчитанный по традиционной схеме фрезерования. По оси абсцисс отложено расстояние в мм от начала врезания зерна в металл до замера глубины (начало врезания соответствует началу координат). Данная ось соответствует поверхности образца.

Ось ординат построена вниз от нулевой точки, с нанесенной шкалой глубины рисков. Профиль среднестатистических рисков существенно отличается от теоретического профиля аналогичной по своим основным показателям риски. В связи с малым количеством замеров глубины (<20), после длины 0,6 мм профиль среднестатистических рисков недостаточно надежен.

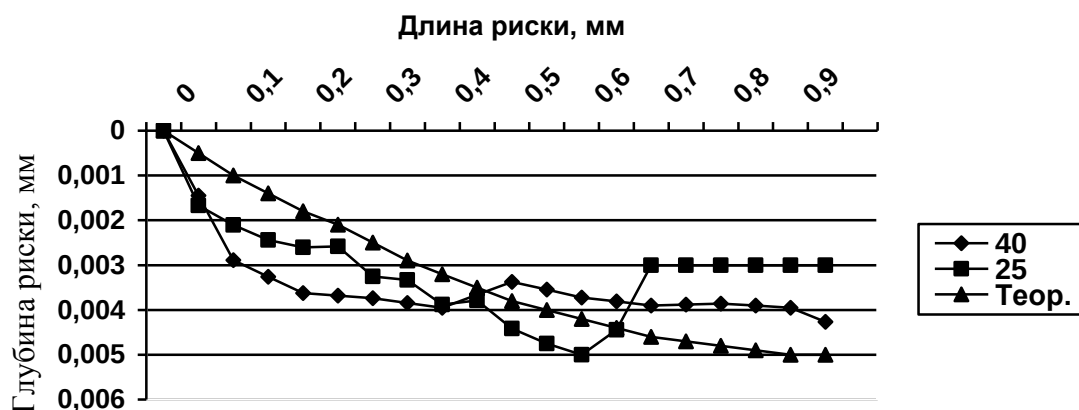


Рис.1. Продольный экспериментальный профиль рисков для зернистости 25, 40 и теоретический.

Сравнение наглядно показывает, что 1) глубина участка уплотнения крайне мала, трудно наблюдаема на фоне исходной шероховатости образца, и

не показана на рисунке 1. 2) участок резания разделен на два четко отличающихся отрезка, первый отрезок участка резания (с большим числом замеров и высокой достоверностью) имеет глубину, почти вдвое большую, чем предполагалось, с очень быстрым углублением зерна в начале траектории по сравнению с профилем риски, теоретически рассчитанным в соответствии с схемой фрезерования, 4) после довольно короткого начального, аномально глубокого отрезка глубина быстро приближается к прогнозируемым значениям и стабилизируется, 5) второй отрезок участка резания характерен очень слабым, практически равномерным изменением глубины.

Замеры образцов, полученных путем физического моделирования шлифования методом прерванного процесса показывают, что большая часть траектории зерна при микрорезании отличается почти неизменной глубиной врезания, близка к прямолинейной и не соответствует ожидаемой теоретической сложной циклоидальной кривой. Видимо, такая специфика вызвана движением зерна в металле по эквипотенциальной поверхности, где подъемная сила, возникающая из-за большого отрицательного переднего угла зерна и сильно зависящая от глубины врезания, уравнивается вертикальной составляющей усилия упруго деформированной технологической системы. Это возможно благодаря малой жесткости детали и станка 3Г71 (особенно шпинделя: 2283 Н/мм).

Результаты экспериментов говорят о существенном влиянии жесткости технологической системы на траекторию движения абразивных зерен в обрабатываемом материале. Дальнейшее изучение шлифования этим методом позволит уточнить имеющиеся теоретические расчеты с учетом новых данных.

346428, Россия, Ростовская область, г.Новочеркасск, ул.Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), механический факультет, кафедра "Технология машиностроения", тел. 55-4-86

УДК 621.313.045:621.315.61

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СГЛАЖИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КРИТЕРИЕВ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Шестаков А.Н.

Эскиз сглаживающего реактора (СР) приведен на рис.1. Такие реакторы применяются на электроподвижном составе.

Основные параметры вновь проектируемого СР можно в первом приближении быстро оценить по параметрам однотипного имеющегося в производстве СР. Для этого необходимо иметь закономерности изменения основных величин, характеризующих реактор, т.е. иметь размерные ряды реакторов.

В таблицах 1 и 2 приведены коэффициенты изменения основных величин для размерных рядов. Размерный ряд I следует применять при необходимости всемерно снижать массу СР м при наличии резервов в системе вентиляции электровоза. Размерный ряд II применяется при возможности увеличения веса электрооборудования электровоза, при дефиците охлаждающего воздуха.

Для анализа закономерностей удобно формулу реактивной мощности СР представить в виде:

$$Q = K_{рас} \cdot 628 \cdot j \cdot \sum S_{np} \cdot S_{ст} \cdot B,$$

где $k_{рас}$ – коэффициент, учитывающий влияние индуктивности рассеяния; $k_{рас} = 1,05 \div 1,15$; j – плотность тока в проводниках обмотки; $\sum S_{np}$ – суммарное сечение в обмоточном окне; $S_{ст}$ – сечение стали магнитопровода; B – индукция в стали.

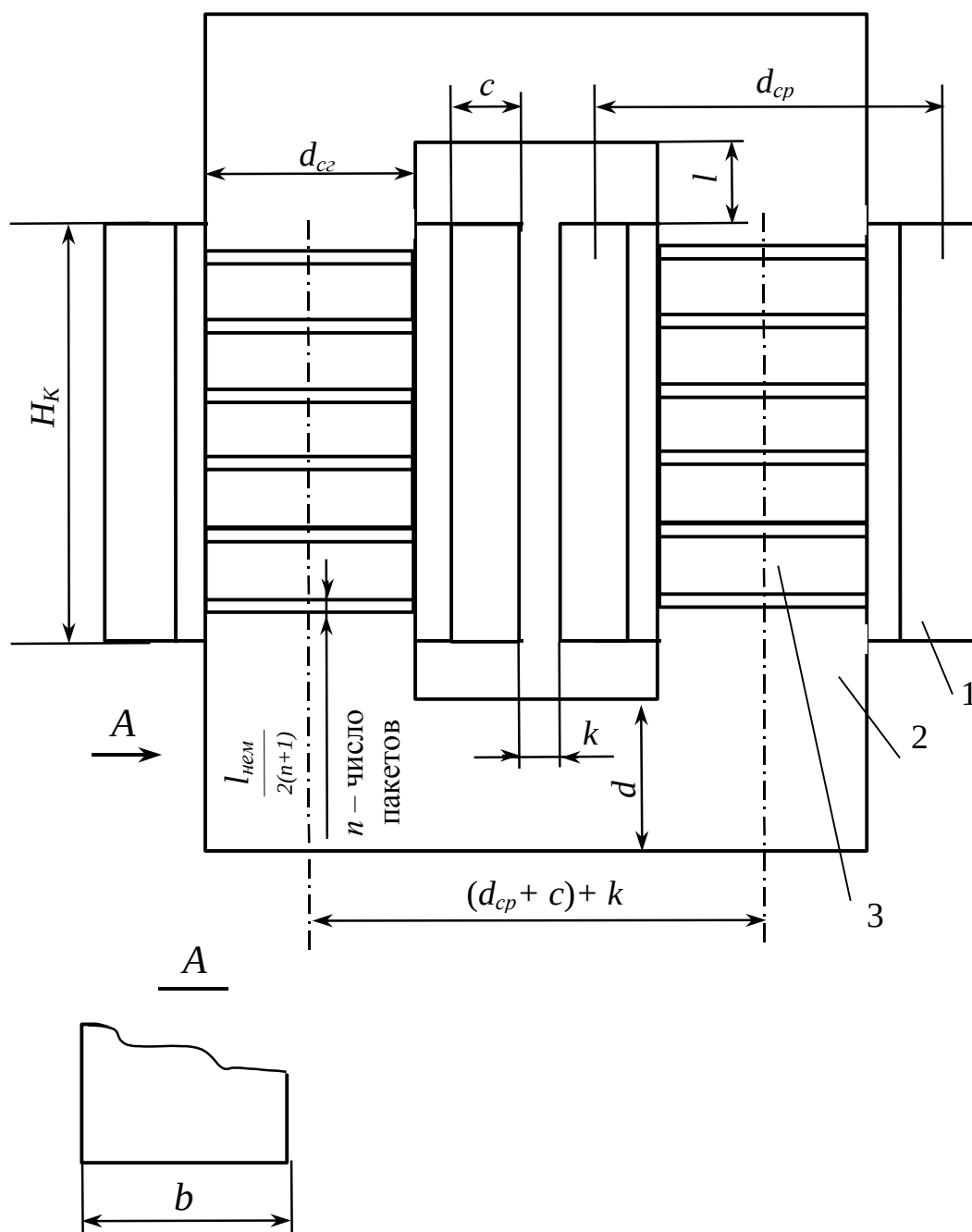


Рис.1. Эскиз электромагнитной системы сглаживающего реактора:

1 – катушка, 2 – ярмо, 3 – промежуточный пакет

Таблица 1

**Коэффициенты изменения величин, характеризующих
сглаживающий реактор (размерный ряд I)**

№№ п/п	Наименование параметра	Коэф- фициент измене- ния	№№ п/п	Наименование пара- метра	Коэф- фициент измене- ния
1	Линейные размеры	f	12	Индукция в стали, B (при часовом токе)	$const$
2	Реактивная мощность, Q	f^4	13	Немагнитный зазор, $l_{нем}$	f^2
3	Суммарное сечение вит- ков обмотки, ΣS_{np}	f^2	14	Масса проводникового материала, m_{np}	f^3
4	Коэффициент заполне- ния обмоточного окна, $k_{зан}$	$const$	15	Масса стали, m_{cm}	f^3
5	Активное сечение стали, S_{cm}	f^2	16	Масса реактора, m_p	f^3
6	Плотность тока, j	$const$	17	Удельный показатель, кВт/кВА	$\frac{1}{f}$
7	Потери в реакторе, P	f^3	18	Удельный показатель, кВт/кВА	$\frac{1}{f}$
8	Тепловая нагрузка	f	19	Удельный показатель, кВт/кВА	$\frac{1}{f}$
9	Расход охлаждающего воздуха, Q	f^3	20	Геометрическое подобие обмоточных окон и се- чений стали	соблю- дается
10	Потеря напора, H	f^2	21	Размеры k, l	Выби- раются по напря- жению
11	Мощность на охлажде- ние реактора, $P_{вент}$	f^5			

Таблица 2

**Коэффициенты изменения величин, характеризующих
сглаживающий реактор (размерный ряд II)**

№№ п/п	Наименование параметра	Коэф- фициент измене- ния	№№ п/п	Наименование пара- метра	Коэф- фициент измене- ния
1	Линейные размеры	f	12	Индукция в стали, B (при часовом токе)	$const$
2	Реактивная мощность, Q	f^3	13	Немагнитный зазор, $l_{нем}$	$f^{1,5}$
3	Суммарное сечение вит- ков обмотки, ΣS_{np}	f^2	14	Масса проводникового материала, m_{np}	f^3
4	Коэффициент заполне- ния обмоточного окна, $k_{зан}$	$const$	15	Масса стали, m_m	f^3

Продолжение таблицы 2

№№ п/п	Наименование параметра	Коэф- фициент измене- ния	№№ п/п	Наименование параметра	Коэф- фициент измене- ния
5	Активное сечение стали, $S_{ст}$	f^2	16	Масса реактора, m_p	f^3
6	Плотность тока, j	$\frac{1}{\sqrt{f}}$	17	Удельный показатель, кВт/кВА	$\frac{1}{f}$
7	Потери в реакторе, P	f^2	18	Удельный показатель, кВт/кВА	$const$
8	Тепловая нагрузка	$const$	19	Удельный показатель, кВт/кВА	$A \cdot \frac{1}{f} + B$; A, B – постоянные коэффициенты
9	Расход охлаждающего воздуха, Q	f^2	20	Геометрическое подобие обмоточных окон и сечений стали	соблюдается
10	Потеря напора, H	$const$	21	Размеры k, l	Выбираются по напряжению
11	Мощность на охлаждение реактора, $P_{вент}$	f^2			

Литература

1. Никитенко А.Г. и др. Математическое моделирование и автоматизация проектирования тяговых электрических аппаратов. – М.: Высш.шк., 1996.
2. Бессонов П.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высш.шк., 1973.

УДК 621.313.045:621.315.61

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНДУКТИВНЫХ ШУНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КРИТЕРИЕВ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Шестаков А.Н.

Эскиз индуктивного шунта (ИШ) приведен на рис.1. Такие шунты нашли широкое применение на электроподвижном составе.

На стадии эскизного проекта часто возникает необходимость оценить параметры вновь проектируемого ИШ по параметрам реально применяемого, для чего необходимо принять определенные критерии физического моделирования.

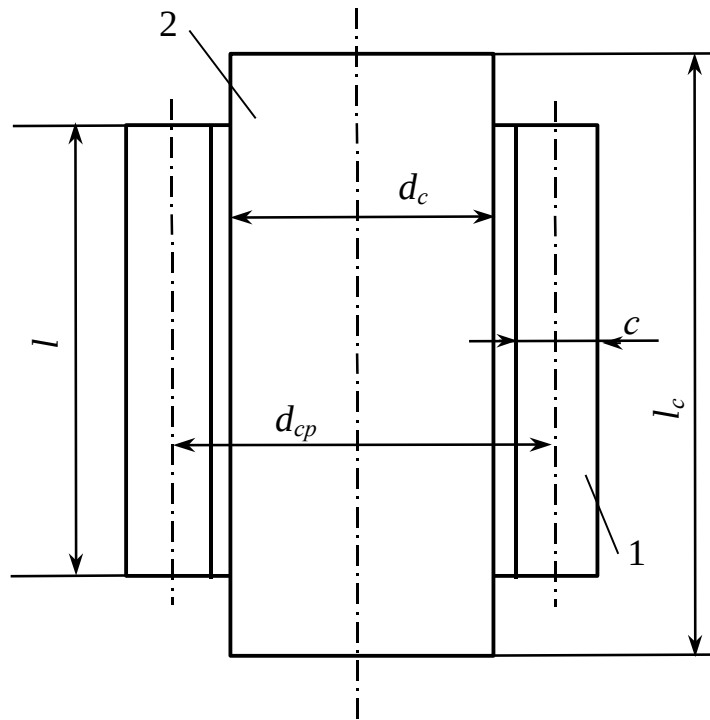


Рис.1. Эскиз электромагнитной системы индуктивного шунта с разомкнутой магнитной системой:
1– обмотка, 2 – сердечник

Электромагнитная мощность реактора определяется по формуле

$$Q = I_{\text{час}}^2 \cdot \omega L_n,$$

где $I_{\text{час}}$ – ток часового режима; L_n – начальная индуктивность, которая определяется по формуле

$$L_n = \frac{\pi^2 W^2 \cdot d_{cp}}{0,44} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

где W – число витков обмотки. Коэффициенты K_1, K_2, K_3 характеризуют соотношение геометрических размеров реактора.

Используя приведенные формулы, имеем:

$$Q = j^2 \sum S_{np}^2 \cdot d_{cp} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

где j – плотность тока в проводниках обмотки реактора в часовом режиме работы; $\sum S_{np}$ – сумма сечений проводников в обмоточном окне.

Примем следующие исходные условия для размерного ряда:

а) тепловая нагрузка постоянна;

б) напряженность магнитного поля в сходственных точках реакторов постоянна для заданной марки стали; соответственно обеспечивается постоянство индукции в стали.

Исследования показали, что выполнение этих требований влечет нарушение геометрического подобия реакторов по основным размерам. Необходимо найти такую закономерность изменения основных размеров, при которой обеспечивается выполнение вышеуказанных требований. Аналитическим путем решить эту задачу не удастся; ее можно решить методом приближения. Один из

возможных вариантов решения излагается ниже.

Зададимся коэффициентами изменения основных размеров в размерном ряду:

Размер	l	c	l_c	d_c
Коэффициент изменения	f	f	f	$f^{1,35}$
Размер	$l' = lf$	$c' = cf$	$l'_c = l_c f$	$d'_c = d_c \cdot f^{1,35}$

Другие размеры и параметры реактора определяются в зависимости от заданных.

Величины со штрихом относятся к проектируемому реактору; без штриха – к базовому реактору с известными размерами и параметрами.

Средний диаметр обмотки

$$d'_{cp} = d_c \cdot f^{1,35} + cf + m,$$

где m – постоянная величина, характеризующая радиальный размер между магнитопроводом и обмоткой (рис.1) .

Коэффициенты:

$$K'_1 = 1 + 0,1 \frac{lf}{d_c f^{1,35}} + 0,6 \cdot \frac{(l_c - l)f}{d_c f^{1,35}},$$

K_2 , определяется по кривым в функции $\frac{d'_{cp}}{d_c \cdot f^{1,35}}, \frac{(l_c - l)f}{d_c \cdot f^{1,35}},$

$$K'_3 = \frac{8,55(0,44d'_{cp} + lf)}{3d'_{cp} + 9lf + 10cf}.$$

Суммарное сечение всех проводников обмотки

$$\sum S_{np}^2 = \sum S_{np} \cdot f^2.$$

Поверхность охлаждения обмотки

$$S_{охл} = l \cdot \pi(d_{cp} + c); \quad S'_{охл} = l \cdot f \cdot \pi(d_c f^{1,35} + cf + m + cf) \approx f^{2,25} \cdot S_{охл}.$$

Масса меди

$$m'_M = \sum S_{np} \cdot f^2 \cdot \pi(d_c f^{1,35} + cf + m)P \approx m_n f^{3,3},$$

где P – плотность меди.

Потери в обмотке реактора

$$\sum P' = B \cdot (j')^2 \cdot m_M \cdot f^{3,3},$$

где B – постоянная величина.

Тепловая нагрузка

$$P' = \frac{B \cdot (j')^2 \cdot m_M \cdot f^{3,3}}{S_{охл} \cdot f^{2,25}} = \frac{B \cdot (j')^2 \cdot m_M}{S_{охл}} \cdot f^{1,05}.$$

Для обеспечения постоянства тепловой нагрузки для всех реакторов

размерного ряда необходимо принять закон изменения плотности тока

$$j' = j \frac{1}{\sqrt{f^{1,05}}}.$$

Полная МДС обмотки в часовом режиме

$$\sum A \cdot W' = \sum A \cdot W \frac{1}{\sqrt{f^{1,05}}} f^2 \approx \sum A \cdot W \cdot f^{1,47}.$$

Напряженность магнитного поля в сходственных точках

$$H'_{cx} = H_{cx} \cdot \frac{f^{1,47}}{f^{1,4}} \approx H_{cx},$$

т.е. примерно обеспечивается постоянство напряженности и индукции.

Проверка оптимальности зазора $l'_{э\kappa\beta}$ производится, исходя из следующих соображений.

По опыту проектирования электровозных сглаживающих реакторов установлено, что оптимальному использованию стали той или иной марки соответствует определенная величина индукции B в часовом режиме. Например, для марки 3413 целесообразно принять индукцию $B \approx 1,6$ Тл.. При указанной индукции на немагнитный зазор $l'_{э\kappa\beta}$ потребуется МДС

$$A \cdot W'_\phi = 8000 [A/\text{см}] \cdot l'_{э\kappa\beta} [\text{см}] \cdot B [\text{Тл}].$$

Полная МДС в реакторе в часовом режиме работы

$$\sum A \cdot W'_{\text{час}} = j' \sum S'_{np}.$$

Реактор следует считать оптимальным по использованию стали, если МДС зазора составляет 95–98 % от полной МДС. Это означает, что насыщение стали находится в начальной стадии; соответственно динамическая индуктивность в часовом режиме будет не намного ниже начальной индуктивности.

Если указанное условие не выдерживается, необходимо провести расчет по указанному приближению.

УДК 524.312

МОДЕЛИ РЕНТГЕНОВСКИХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ. НАБЛЮДАЕМЫЕ ЭФФЕКТЫ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ И СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ

Баранников А.А., Меркулова А.В.

Существование релятивистских объектов (нейтронных звезд и черных дыр) во Вселенной было предсказано общей теорией относительности [1]. По эволюционному сценарию для массивных тесных двойных систем, после взрыва сверхновой и образования релятивистского объекта, менее массивная ОВ-звезда к этому моменту не успевает проэволюционировать и, как правило, еще находится на Главной Последовательности. Следовательно, аккреция вещества на компактный объект обусловлена, в основном, веществом звездного ветра

нормальной ОВ-звезды. Через некоторое время, порядка времени ядерной эволюции звезды, когда поверхность нормальной звезды приблизится к границам полости Роша, значительно увеличится темп истечения вещества через окрестности внутренней точки Лагранжа, что приведет к образованию аккреционного диска и мощному энерговыделению в рентгеновском диапазоне. В этой связи идеальным инструментом исследования нейтронных звезд и черных дыр являются тесные двойные звездные системы [2], модель которых представляет собой оптическую звезду близкую к заполнению своей критической полости Роша, аккреция вещества которой на релятивистский объект приводит к гигантскому выделению энергии в рентгеновском диапазоне (ожидаемая светимость $L \sim 10^{36} - 10^{39}$ эрг/с). Наиболее эффективным методом изучения подобных объектов является исследование их оптической переменности с последующей модельной интерпретацией [3, 4]. Можно выделить основные причины, вызывающие фотометрическую и спектральную переменность.

1. Эффект отражения. Прогрев поверхности оптической звезды мощным рентгеновским излучением аккрецирующего релятивистского спутника вызывает повышение температуры части звезды, обращенной к рентгеновскому источнику, что приводит к оптической переменности. Модель рентгеновской двойной системы позволяет существенно упростить весьма трудную задачу т.к. рентгеновский источник с хорошим приближением может считаться точечным, а жесткое ($kT > 1 \text{ кэВ}$) рентгеновское излучение практически не влияет на оптические параметры атмосферы звезды, проникая на большую оптическую глубину и там термализуясь. Модельные расчеты показывают, что кривая блеска, обусловленная эффектом отражения, представляет собой одну волну за орбитальный период.

2. Эффект эллипсоидальности, связанный с приливной деформацией оптической звезды в гравитационном поле релятивистского спутника. Модельные расчеты проводят разбивая поверхность оптической звезды на малые элементы и учитывая эффекты гравитационного потемнения и потемнения к краю, синтезируют кривую блеска рентгеновской двойной системы. Расчеты показывают, что кривая блеска, обусловленная эффектом эллипсоидальности оптической звезды, имеет вид двойной волны за орбитальный период. В случае орбиты с большим эксцентриситетом «эллипсоидальная» кривая блеска может иметь неравные максимумы, что связано с различной приливной деформацией звезды в различных точках орбиты.

3. Эффекты затмений аккреционного диска звездой и звезды диском. В классических тесных двойных системах с релятивистским спутником оптическая светимость аккреционного диска сравнительно невелика и обусловлена рентгеновским прогревом утолщающегося наружу аккреционного диска. Модельные расчеты предсказывают в ряде случаев характерную П-образную форму оптических затмений рентгеновского источника нормальной звездой.

4. Эффекты прецессии диска. Прецессионная переменность может быть связана с асимметричным взрывом сверхновой в двойной системе, что приводит к повороту плоскости орбиты системы относительно оси вращения нерелятивистского спутника и формированию наклонного прецессирующего или

«плавающего» диска вокруг релятивистского объекта. В данном случае моделью предсказывается долгопериодическая переменность рентгеновских двойных систем.

5. Переменность лучевых скоростей. Интерпретация кривых лучевых скоростей позволяет оценить массы компонент и абсолютные размеры орбиты двойной системы с точностью до величины угла наклона орбиты, который определяется из анализа кривых блеска. Модель точечного объекта хорошо применима для компактного релятивистского спутника, что приводит к надежному определению функции масс рентгеновского пульсара в двойной системе. Следует отметить, что общее решение зависит от различных искажающих факторов, влияющих на кривую лучевых скоростей, связанных с селективным поглощением света звезды в частотах линий в анизотропном звездном ветре, газовых потоках в двойной системе с учетом собственной физической переменности нормальной звезды.

Как видно, необходим всесторонний долговременный наблюдательный фотометрический и спектральный мониторинг звезд, у которых возможно существуют релятивистские спутники [5]. Более точные расчеты следует проводить в двумерных и трехмерных газодинамических моделях.

Литература

1. Новиков И.Д., Фролов В.П. Физика черных дыр. – М.: Наука, 1986. – 190 с.
2. Корнилов В.Г., Липунов В.М. Нейтронные звезды в массивных двойных системах. II. Численное моделирование // Астрон. журн. – 1983. – Т. 60. – С. 574-583.
3. Cherepashchuk A.M., Kukarkin B.V. The possibility of the search for relativistic objects using the ellipsoidal variability of the runaway stars // Inform. Bul. Var. Stars. – 1976. – № 1137. – P.1.
4. Антохина Э.А. Синтез теоретических кривых лучевых скоростей и кривых блеска для тесных двойных систем с эксцентричными орбитами // Астрон. журн. – 1996. – Т. 73. – С. 532-542.
5. Антохина Э.А., Баранников А.А. Новые спектроскопические и фотометрические наблюдения эллипсоидальной переменной V600 Her (HD 149881). Решение кривых блеска и кривой лучевых скоростей методом синтеза // Письма в Астрон. журн. – 1996. – Т. 22. – С. 819-827.

346500 Ростовская обл., г.Шахты, ул.Шевченко 147, ЮРГУЭС, каф. Физики, т.2-04-33,
e-mail: albardon@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАТИКА — ИСТОЧНИК ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗНАНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Бойченко Л.П., Туманова Т.А.

Понятия **моделирование** и **информатика**, на наш взгляд, находятся прочно во взаимной увязке и являются значимыми в образовательном процессе. Моделирование является источником информации для обработки и принятия решения в конкретных ситуациях [1]. Информатика же, обеспечивая методы и способы обработки информации, позволяет вносить изменения и дополнения в моделирование рассматриваемых процессов (задач) и, тем самым, влиять на происходящие процессы [2]. Таким образом, моделирование с помощью информатики поставляет в информационное общество новую информацию о знаниях реальных информационных процессов, которые впоследствии используются в познании реального мира с целью: осознания, в первую очередь, своего положения, а затем и других в информационном обществе; определения жизненно - важного уровня и перспектив его достижения; выбора профессиональной направленности; приобретения необходимых теоретических и практических знаний; переработки и передачи информации как индустриальной компоненты и другие.

Каждый человек время от времени оказывается в ситуации, когда достижение некоторого результата может быть осуществлено не единственным способом. В таких случаях приходится отыскивать наилучший способ. Однако в различных ситуациях наилучшими могут быть совершенно разные решения. Все зависит от выбранного или заданного критерия. При рассмотрении такого рода оптимизационных задач, уже в рамках школьного курса информатики следует уделять внимание моделированию с помощью компьютера, используя имеющиеся в распоряжении информационные технологии.

Так, например, при решении задачи как лучше добраться ученику до школы, можно использовать следующие критерии: минимум затрат времени, минимум стоимости проезда, минимум пересадок. Решая подобные задачи, ученик невольно получает новые знания о представлении транспортной системы, как инженерных сооружений, о стоимости проезда на различных видах транспорта, как экономической составляющей, о расписании передвижения транспортных средств, как социальной сферы жизнеобеспечения. Этот ряд можно продолжать еще долго, ясно одно, что на любом уровне образовательной системы, начиная от детского сада, школы и вуза моделирование и информатика неразрывно связанные понятия, обеспечивающие дополнительные знания для восприятия тех или иных реальных ситуаций. Рассматривая моделирование на различных информационных полях, мы понимаем, что человек случайно или целенаправленно получает определенный объем информации и закрепляет его в виде знаний. Так, например, в игровой детской ситуации необходимо отобрать отдельно по цвету все мячи красного, желтого и зеленого цветов, а затем из них выбрать наибольший по размеру. Решение данной задачи лежит в области моделирования, с использованием методов сортировки. И уже в раннем

возрасте у ребенка формируется представление о некой технологии обработки информации, информационной культуре х[3], в которой цель определена количественно, а позже он начнет понимать, что подобные ситуации повторяются и их можно обрабатывать, применяя специальные методы обработки.

Моделирование, как известно, трудоемкий процесс, включающий в себя такие этапы как изучение объекта, описательное моделирование, устанавливающие и фиксирующие основные связи и зависимости между характеристиками процесса с точки зрения оптимизируемого критерия. Далее математическое моделирование обеспечивает перевод описательной модели на формальный математический язык. При выборе метода решения задачи нас уже не интересует конкретное ее содержание, а усилия направлены на приобщение имеющихся методов решения с целью получения не только необходимого решения, но и дополнительных знаний в области методов и способов обработки информации и интерпретации. Далее, анализируя получаемые результаты решения, делается **формальный** и **содержательный** выводы. Формальный на предмет его соответствия построенной математической модели и, в случае расхождения, проводится корректировка модели на основании дополнительных знаний о рассматриваемом процессе. Содержательный, то есть экономический, технологический и т.п., когда проверяется соответствие полученного решения тому объекту, который моделировался. Это так же получение дополнительных знаний.

Литература

1. Бойченко Л.П., Туманова О.Н. Экономико-математические методы и модели. Учебное пособие. Ухта.1999.-124с.
2. Бойченко Л.П., Туманова Т.А. Информатизация общества и развитие творчества. Информатика как педагогическая задача. Материалы региональной конференции.Воронеж.2001-128с.
3. Бойченко Л.П., Федотова Н.А. Информационная культура - залог здоровья пользователя. Информатика как педагогическая задача. Материалы региональной конференции.Воронеж. 2001 -128с

169300 респ. Коми, г. Ухта, ул. Первомайская 13, Ухтинский государственный технический университет, каф. Прикладной математики информатики, т. 1-26-55 ,
e-mail pmi@uii.sever.ru

УДК 519.6

ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ КУРСА «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ» В ПЕДАГОГИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Поршнев С.В.

Учебный курс «Математическое моделирование» один из наиболее важных курсов в подготовке квалифицированного специалиста естественнонаучного направления. При изучении курса «Математическое моделирование» у студентов должно сформироваться представление о моделировании как методе научного познания мира, в котором компьютеры являются важнейшим техническим средством. Курс «Математическое моделирование» является одним из

завершающих курсов в наборе физических и математических курсов подготовки студентов физико-математического факультета педагогического института по дополнительной специальности «Информатика» для основных специальностей «Математика» и «Физика». Он рассчитан на 12 часов лекций и 24 часа лабораторных работ. Основными целями и задачами курса являются: 1) выработка представления о математическом моделировании как универсальном методе познания; 2) углубление физического и математического образования; 3) выработка практических навыков разработки и отладки моделирующих программ; 4) выработка практических навыков проведения научных исследований с помощью компьютерного моделирования.

При разработке курса мы исходили из того, что к его началу будущий педагог овладел необходимым математическим аппаратом (включая численные методы), изучил соответствующее программное обеспечение и имеет практические навыки в программировании. Это делает возможным проведение в курсе лабораторных работ типа исследовательских проектов. В качестве базового программного пакета был выбран пакет Mathcad, подробно изучаемый в учебном курсе «Основы ПО ЭВМ». Отметим, что в последнее время появились учебные книги, посвященные применению пакета MathCAD для решения ряда математических и физических задач. Для курса «Математическое моделирование» автором разработаны 6 лабораторных работ, в которых студенты знакомятся с математическими моделями, относящимися к физике, теории динамических систем и др. Каждая из лабораторных работ начинается с краткой теоретической части, в которой дается постановка задачи. Более подробное рассмотрение большинства сложных теоретических вопросов курса вынесено на лекции или предлагается для самостоятельного изучения. Анализ трехлетнего опыта преподавания курса «Компьютерное моделирование» показывает, что конструирование моделей реальных процессов, протекающих в живой и неживой природе, дает возможность студентам более полно представить сущность того или иного явления и детально разобраться в его особенностях. Данный подход позволяет в некоторой степени исправить существующий недостаток стандартных курсов физики, в которых, по нашему мнению, недостаточно внимания уделяется обучению «вычислять» и использовать ПК, как инструмент исследования. (Здесь под умением «вычислять» мы понимаем навык физически правильно сформулировать задачу исследования, выбрать соответствующий математический аппарат и метод решения).

622015 г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская 57, НТГПИ, каф. ИВТ, т. (3435) 25-75-10,
e-mail: psv@mail.tagil.ru

УДК 378.147:621

ПОВЫШЕНИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ СТУДЕНТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН»

Исаков В.С., Кононенко Н.В.

В настоящее время остро стоят вопросы прогнозирования и гарантии качества специалистов-выпускников технического университета, предъявляются

все более высокие требования к уровню знаний студентов, их практическим навыкам принимать технически и организационно правильные решения. В этой ситуации особое внимание необходимо уделять таким формам и методам обучения, которые позволили бы студенту активно включаться в самостоятельный поиск информации, использовать знания, полученные при изучении специальных, общеобразовательных, естественнонаучных дисциплин, интегрируя их с практическими навыками применения информационных технологий в инженерной деятельности.

Практически неограниченные возможности для развития творческих и профессиональных способностей предоставляются, в частности, при изучении дисциплины «Математическое моделирование строительных и дорожных машин».

Расположение дисциплины в рамках учебного плана должно быть обусловлено целым рядом факторов: во-первых, наличием базы по основным естественнонаучным дисциплинам, таким как математика, физика, информатика; во-вторых, наличием знаний по основным специальным и общеобразовательным дисциплинам, причем с соблюдением принципа профессиональной направленности при обучении общеобразовательных курсов; в-третьих, хорошей подготовкой в области теории конструирования, его логики, формальных и неформальных методов проектирования. Только при наличии всех этих знаний студент может овладеть практическими навыками математического моделирования, т.е. замены реального объекта его математической моделью, провести исследование этой модели, вскрыть внутренние связи объекта и получить определенные количественные характеристики на основе диалога с ЭВМ.

Имеющийся опыт [1] показывает, что действительно качественно новые результаты удастся получить лишь тогда, когда использование ЭВМ становится не столько средством механизации сложившихся методов расчета, сколько аппаратом, позволяющим вводить и реализовывать специфические новые счетные приемы, построенные целиком на возможностях тематического моделирования и машинного анализа.

Учитывая вышеизложенное, необходимо таким образом организовать учебный процесс, чтобы познавательная потребность, с которой студенты пришли на занятия, не утратилась, чтобы был виден смысл и результат обучения.

Известно, что развитие мотивов осуществляется через саму учебную деятельность студентов [2], интерес к изучению предмета зависит от содержания обучения. Хотя такой подход в условиях кризиса исторически сложившихся жизненных и профессиональных ориентаций человека, связанный с преобразованиями социально-политической жизни, представляется весьма упрощенным.

Одним из средств, способствующих возникновению внутренних мотиваций, является проблемность обучения, которая должна присутствовать на протяжении всего курса обучения, так как без проблем (задач) невозможно научиться никакой деятельности.

Основная задача преподавателя – обеспечить необходимую мотивацию студентов для принятия ими формируемой деятельности и входящих в нее знаний. Именно с этой целью вводятся проблемы, решение которых связано с

формируемой деятельностью. Очень важно, чтобы студент видел связь тех заданий, которые он выполняет на практических занятиях, с его последующей работой – изучением других дисциплин, выполнением курсового и дипломного проектов и, в первую очередь, с его непосредственной работой после окончания университета.

Так, например, большой интерес у студентов специальностей 170900, 230100.03 представляют работы по компьютерному моделированию сил на ковше при резании грунта одноковшовым экскаватором, математическому моделированию резания грунта траншейным экскаватором, математическому моделированию формирования сил и моментов при движении пневмоколесного транспорта, изучению адгезионной модели трения для решения триботехнических задач, которые существенно повышают потребность студента в более глубоко изучении специальных дисциплин и дополнительно способствуют их пониманию и освоению.

Рассматривая ту или иную проблемную ситуацию, студенты должны думать, что необходимо сделать для ее решения, т.е. происходит их вовлечение в исследование, формируется потребность в получении знаний, в творчестве. Если в каждой практической работе выделить основные цели и предложить задачи в рамках заданной темы, то студент, решая проблему, должен сам определить, какие условия работы строительной или дорожной машины и почему он должен рассматривать. Такая постановка способствует развитию умственной активности, формированию самостоятельности в усвоении и переработке научной информации.

Важную роль в формировании познавательного интереса учащихся играет также личностно-индивидуальный подход [2].

Индивидуализация обучения подразумевает наиболее полный учет психологических и психических особенностей каждого студента, его природных данных, склонностей и имеющихся предметных знаний. Необходимость личностно-индивидуального подхода актуализируется высокой вероятностью частых изменений как в различных областях техники, так и в жизни отдельного человека, общества. Это требует с одной стороны воспитания самостоятельности в принятии решений, вариативности в мышлении, а с другой – умение быстро осваивать имеющийся мировой опыт, действовать по образцу.

Личностно-индивидуальный подход при выполнении работ по математическому моделированию возможен только на основе многовариантности заданий и определения в каждой теме инвариантных задач. Поэтому центральным звеном в подготовке занятий можно считать именно формирование банка проблемных ситуаций с учетом уровня подготовки, индивидуальных возможностей студентов и профессиональных потребностей потенциальных работодателей.

Преследуя цель повышения качества подготовки студентов, следует наряду с сообщением определенных программных сведений обращать внимание на процесс получения и усвоения знаний во время самостоятельной работы студентов [3]. Индивидуализация обучения предполагает изменение роли преподавателя, переводя основное внимание на планирование и моделирование занятия, организацию консультативной помощи в изучении материала, контроль

и управление процессом в целом, создание ситуации успеха для каждого обучаемого с одновременным усилением сложности решаемых задач.

Определенный вклад в решение этих задач должна внести более тщательная разработка современных, научно-обоснованных учебных и методических пособий, которые по способам представленных в них знаний отходят от традиционного исполнения, характерного для большинства учебной литературы.

Применение рассмотренных методов и средств педагогических технологий позволяет повысить творческую активность студентов при изучении ими дисциплины «Математическое моделирование строительных и дорожных машин», развить их творческий потенциал и значительно ускорить адаптацию молодых специалистов в условиях быстрой смены поколений техники, технологий, в меняющихся условиях труда и производства.

Литература

1. Павлов Д.А. Информатика и компьютерная техника – основа новых образовательных технологий // Применение информатики в управлении, обучении и научных исследованиях / Под ред. И.П. Брусенцова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. – С. 25-33.
2. Епифанова С. Формирование учебной мотивации // Высшее образование в России. – 2000. – № 3. – С. 106-107
3. Ковалевский И. Организация самостоятельной работы студентов // Высшее образование в России. – 2000. – № 1. – С. 114-115.

346428 г.Новочеркасск, ул.Просвещения 132, ЮРГТУ(НПИ), каф. СДМ, т.55-649

СОДЕРЖАНИЕ

Лобанов М.М., Быков С.Н. Синтез модели исследования поля конкурентоспособности продукции	4
Тациян Г.О., Быков С.Н. Модель оценки конкурентоспособности на основе социально-экономических факторов	5
Дулин А.Н., Кушнир И.Б. Построение равновесной модели поиска эффективного собственника	6
Игнатьев В.М. Модели «риск–доход» при оценке водопользования.....	9
Лукошин А.В., Дмитриевский Б.С. Построение модели управления торговыми операциями	12
Бойченко Л.П., Витович Е.А. О возможности моделирования банковско-финансовых задач с помощью теории игр	13
Павленко Е.А., Сербиновский Б.Ю. Концепция расчета оптимального страхового тарифа для страхования основных фондов предприятия.....	15
Бенсон Я. Е., Зудов Е.Г. Рыночная стоимость фирмы. Максимизация рыночной стоимости фирмы как цель ее деятельности. Критерий эффективности управления....	17
Бенсон Я. Е., Зудов Е.Г. Эффективность отечественного фондового рынка и прогнозируемость цен его активов. Прогнозирование финансовых временных рядов ежедневных доходностей активов отечественного фондового рынка.....	20
Фролова Л.А. Имитационное моделирование бизнес-процессов на основе ППП ITHINK.....	24
Веретенников С.Э., Доросинский Л.Г. Построение моделей бизнес-процессов AS-IS и TO-BE в процессе реинжиниринга бизнес-процессов и проектирования ИСУП на промышленном предприятии.....	25
Родионов А.С., Ельченко М.А. Математическая модель оперативного планирования поставок хлебобулочной продукции с учетом случайной составляющей спроса	26
Хазанович Г.Ш., Ляшенко Ю.М. Критерии подобия при физическом моделировании рабочих процессов погрузочно-транспортных модулей	29
Лунин Л.С., Столярова В.В., Столяров С.М. Моделирование электрофизических параметров пятикомпонентного твердого раствора InAlGaAsSb(GaSb).....	33
Кирсанов С.В., Глебов В.В. Моделирование процессов сканирующей размерной электрохимической обработки	35
Скориков А.В., Апальков А.Ф., Гайдамакин В.А. Поперечное сечение рисков при моделировании плоского шлифования	36
Скориков А.В., Апальков А.Ф., Гайдамакин В.А. Продольный профиль риски при моделировании плоского шлифования.....	37
Шестаков А.Н. Проектирование сглаживающих реакторов с применением критериев физического моделирования.....	39
Шестаков А.Н. Проектирование индуктивных шунтов с применением критериев физического моделирования.....	42
Баранников А.А., Меркулова А.В. Модели рентгеновских двойных систем. Наблюдаемые эффекты фотометрической и спектральной переменности.....	45
Бойченко Л.П., Туманова Т.А. Моделирование и информатика - источник дополнительных знаний в образовательном процессе	48
Поршнев С.В. Опыт преподавания курса "Математическое моделирование" в педагогическом вузе.....	49
Исаков В.С., Кононенко Н.В. Повышение познавательной активности студентов при изучении дисциплины «Математическое моделирование строительных и дорожных машин»	50

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства

Материалы международной научно-практической конференции
Часть 3

Технический редактор: Чебанов И.Р.

ЛР № 020417 12.02.1997 г. Подписано в печать 08.05.2005 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.

Печ. л. 3,5. Тираж 100 экз. Заказ 01/12.

Учебно-производственный центр «Набла»
Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)
346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ.
ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

Материалы
международной научно-практической
конференции

11 апреля 2001 года
г. Новочеркасск

Часть 4

Новочеркасск 2001

УДК 519.688
ББК 22.18 в6
М 74

Организаторы конференции:

Министерство образования Российской Федерации;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Горбатенко Н.И., профессор (РФ) – председатель;
Бахвалов Ю.А., профессор (РФ);
Вурмус Г., профессор (ФРГ);
Загороднюк В.Т., профессор (РФ);
Йегер Г., профессор (ФРГ);
Калленбах Е., профессор (ФРГ);
Ланкин М.В., доцент (РФ) – зам. председателя;
Никитенко Н.Ф., профессор (РФ);
Плаксин В.А., доцент (РФ);
Савельев М.В., профессор (РФ);
Чернов В.Н., профессор (РФ).

Редакционная коллегия:

Горбатенко Н.И. – ответственный редактор;
Плаксин В.А. – зам. ответственного редактора;
Ланкин М.В.

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы междунар.
науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 11 апреля 2001 г.: В 8 ч. / Юж.-Рос.
гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2001. –
Ч. 4. – 52 с.
ISBN 5-88998-266-4

Тексты докладов помещены в сборник, включающий 8 частей. Часть 4 содержит
статьи, посвященные математическому моделированию технологических процессов.
Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 519.688 :658.5

ISBN 5-88998-266-4

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2001
© Авторы, указанные в оглавлении, 2001

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) — крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные международные научно-технические контакты, — выступил инициатором проведения ряда международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе INTERNET.

В апреле 2001 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие представители вузов Москвы, Минска, Тирасполя, Санкт-Петербурга, Тулы, Днепропетровска, Новгорода, Екатеринбурга, Тамбова, Владикавказа, Омска, Томска, Новочеркасска и других городов России и ближнего зарубежья. На конференцию представлено 164 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из восьми частей. Каждая часть содержит материалы по одному или нескольким научным направлениям.

Первая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию в строительстве.

Во вторую часть вошла первая половина статей о математическом моделировании социальных и экономических процессов.

Третья часть содержит вторую половину докладов о математическом моделировании социальных и экономических процессов, а также статьи, посвященные физическому моделированию в науке и технике и учебно-методическим вопросам преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Четвертая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию технологических процессов.

Пятая часть содержит статьи о математических моделях в энергетике, электромашиностроении, химии и металлургии.

В шестую часть вошли доклады, посвященные математическим моделям в медицине, биологии и экологии, а также математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем.

Седьмая часть включает доклады, освещающие общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений.

Восьмая часть содержит статьи о математических моделях в теплотехнике и гидравлике, в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, и с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

О СТЕРЖНЕВОЙ МОДЕЛИ МАКРОСКОПИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

Бородай А.В., Клименко А.В., Пономарев В.И.

Результаты исследований, выполненных в последнее время, позволяют выдвинуть предположение об исключительной роли индукционных процессов упрочнения зоны контакта тел и возникновения особых динамических стержневых систем в процессе макроскопического движения и фрикционного взаимодействия. Указанные процессы обусловлены реакцией вещества тел на деформирующее воздействие со стороны внешних потенциальных, а также внутренних сил, состоящей в увеличении плотности и жёсткости вещества тел или сред в направлении указанных сил. Важным элементом таких систем является наличие разреженных скин-слоев на поверхностях стержней, возникающих вследствие сосредоточения вещества в центральных, осевых частях стержней и представляющих собой каналы облегченного перемещения вещества зоны контакта и контактирующих тел вдоль стержней. Присутствие скин-слоев обуславливает протекание контактных диффузионных процессов и как следствие - возможность действия в системе движущих сил и проявления важнейших трибоэффектов. Угол между осями стержней, составляющих стержневые системы, и линией действия нормальной потенциальной силы P находится в обратной зависимости от перепада плотности вещества в элементарных поверхностных слоях зоны контакта [1].

Основываясь на указанных предположениях, схема единичной стержневой системы, соответствующая состоянию системы взаимодействия тел в момент завершения процесса предварительного смещения и начала страгивания, может быть представлена следующей (рис. 1). Принятые обозначения: *I* – тело, *II* – контртело, *III* – поверхность трения. Стержни 1,2 принадлежат зоне повышенной плотности, примыкающей к поверхности трения (третьему телу); стержни 3,4 – подслою тела и контртела; 5,6 – разреженным слоям, разделяющим третье тело и взаимодействующие тела. Скин-слои на рисунке не показаны. Принципиально система приводится в данное состояние действием тангенциальных движущих сил F_a , обусловленных присутствием в системе активной стержневой ветви $4_p 6_p 2_p 1_p 5_p 3_p$, возникающей в вследствие возникновения нормальных потоков (импульсов J_{nt}'' и J_{nc}) и реализации энергии энергонасыщенных зон $1'1''$, $2'2''$. В условиях низкого уровня организации систем (технические системы) силовое воздействие активной ветви недостаточно и для преодоления сил трения покоя и перехода к

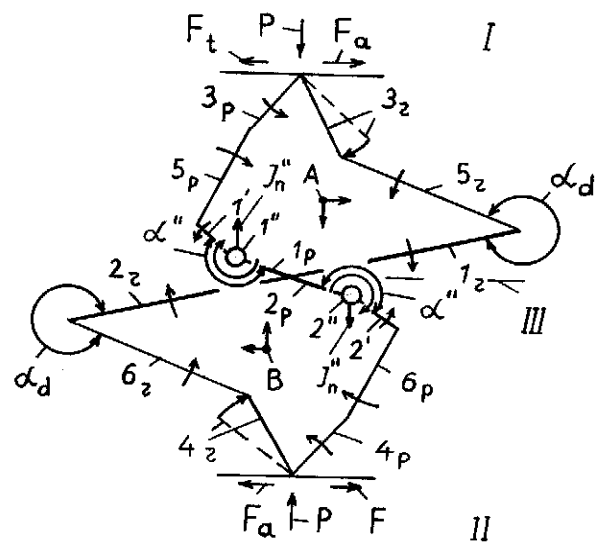


Рис. 1. Схема процесса предварительного смещения

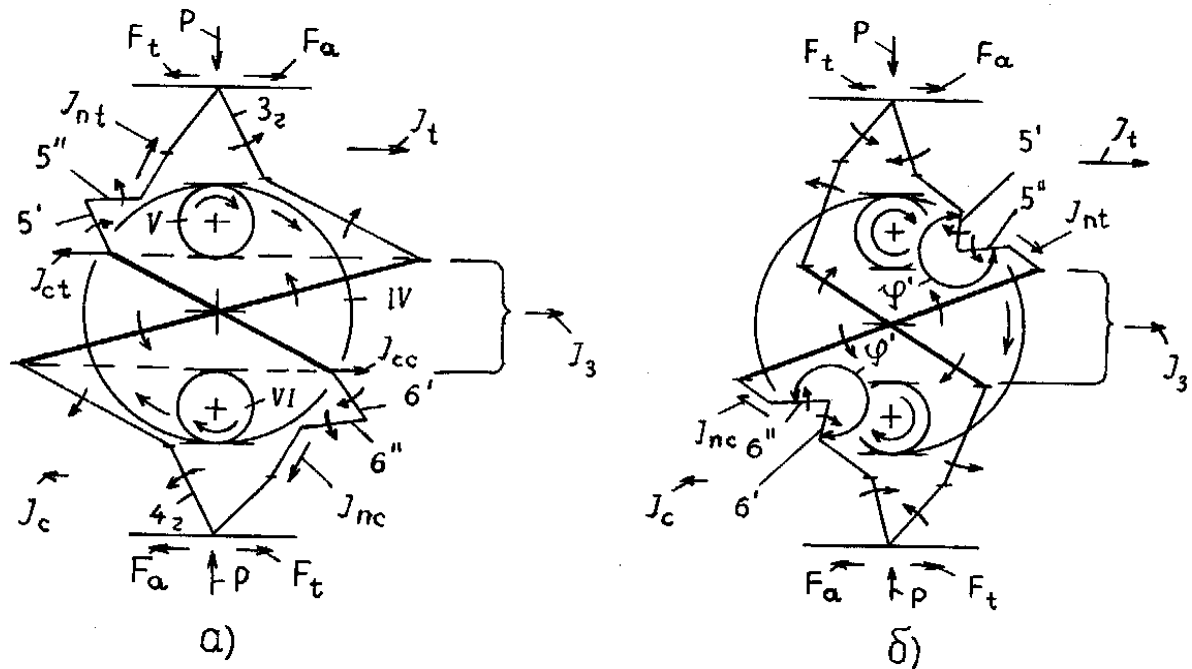


Рис. 2. Схема процесса страгивания: а — начальный, б — заключительный этапы

движению необходимо приложение внешних тангенциальных движущих сил. Система характеризуется потенциалом предварительного смещения

$$\varphi_d = 2 a_d c_d \alpha_d,$$

зоны сосредоточения которого расположены в местах сопряжения стержней $5_1, 1_1$ и $6_2, 2_2$ пассивной ветви $4_1, 6_1, 2_1, 5_1, 3_1$. Здесь a_d — константа, c_d — жесткость зон сопряжения стержней $5_1, 1_1$ и $6_2, 2_2$.

Здесь и далее рассматривается канонический процесс взаимодействий, когда имеет место тождественность свойств поверхностных слоев тела и контртела.

Процесс страгивания тел возникает в момент, когда в процессе возрастания сил F_a возможности упругой деформации (в зонах стержней $1_1, 5_1, 2_2, 6_2$ или $3_1, 4_1$ пассивной ветви) исчерпываются и происходит пробой этих зон. В результате в этих зонах возникает непрерывное вращение (вихревое движение вещества), обусловленное относительным тангенциальным перемещением тела и контртела — потоками J_t и J_c (вихрь IV, рис. 2, а). Кроме того, в зонах активной ветви возникает вихревое движение, обусловленное относительным движением тел и третьего тела — потоками J_b, J_3 и J_c (вихри V и VI). На начальном этапе страгивания, вследствие упругого восстановления (отдачи) стержней 3_1 и 4_1 , происходит реализация энергии зон потенциала φ_d , и возникновение тангенциальных контактных потоков J_{ct} и J_{cc} , являющиеся весьма неравновесным процессом. В результате этого процесса в системе возникают пары индуцированных стержней-потоков $5' 5''$ и $6' 6''$, сосредоточенных в зоне стержней 5_p и 6_p , и происходит передача нормального импульса вдоль этих стержней (потоки J_{nt} и J_{nc}) в направлении подслоя тел, в процессе которой энергия зон потенциала φ_d превращается в энергию нормального движения центров масс системы.

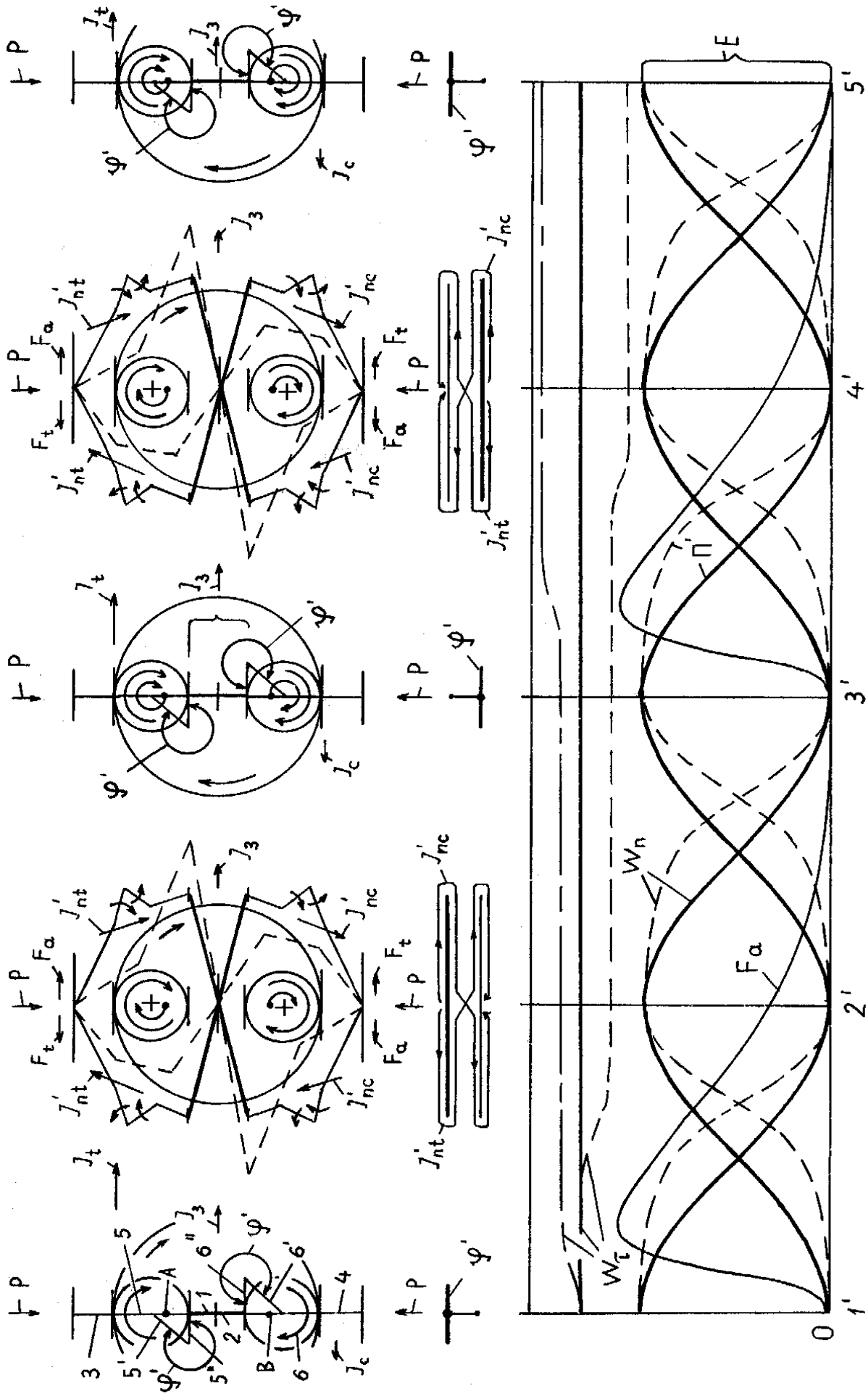


Рис. 3. Схема стационарного процесса взаимодействий

В момент начала отражения импульса от поверхности тел процесс страгивания переходит к своему завершающему этапу и формированию зон первичной составляющей трибопотенциала φ' , примыкающих к поверхности третьего тела (рис. 2, б). Величина указанной составляющей определяется как

$$\varphi' = 2 a' c' \alpha',$$

где c' – динамический коэффициент жесткости, α' – угол сопряжения стержней в зонах трибопотенциала. Зоны потенциала φ' представляют собой совокупность смежных зон интенсивного динамического уплотнения и зон интенсивного разрежения. Вследствие неравновесности процессов при страгивании $\varphi' \gg \varphi_d$. Особенностью состояния системы в момент завершения страгивания является нормальная ориентация ветвей системы относительно поверхности трения и их расположение в параллельных плоскостях, ориентированных в направлении потоков J_t и J_c . Указанное состояние является начальным состоянием 1' первичной составляющей стационарного процесса макродвижения (рис. 3).

Первичная составляющая стационарного процесса относительного тангенциального перемещения тел является поперечным волновым процессом, замкнутым в поверхностном слое (состояния 1'–3' – первый, 3'–5' – второй полупериоды волны). В состояниях 1'–2' и 3'–4' происходит интенсивное излучение энергии Π' зон потенциала φ' в направлении подслоя тел., сопровождающееся возникновением вновь индуцированных стержневых вихрей-потоков, и превращение этой энергии в энергию нормального движения системы W_n . В состояниях 2'–3' и 4'–5' происходит отражение нормального импульса J_n от поверхностей тела и контртела и превращение энергии W_n в Π' , сосредоточенную в зонах сопряжения индуцированных стержней вблизи поверхности третьего тела (рис. 3). При переходе к каждому последующему полуволновому циклу активной и пассивной ветви системы меняются местами, а зоны пробоя совершают встречные по отношению к движению расширяющихся зон потенциала перемещения в поперечной и продольной плоскостях (см. расположенный под фронтальной проекцией системы вид на систему сверху). Центры масс элементов системы, участвующих в первичном процессе (точки А и В), совершают движение по замкнутым траекториям, причем в состояниях 2' и 4' указанное движение характеризуется чрезвычайной ускоренностью (см. зависимость величины B на рис. 4).

В идеальном случае, вследствие полного отражения энергии волны, имеет место циклический полный взаимный переход энергий Π' и W_n , близкая идеальной осевая симметрия стержневых систем и постоянство энергии тангенциального движения W_τ (сплошные линии на рис. 3). В общем случае, в условиях подвода энергии со стороны внешнего источника и потерь части энергии волны, равновесие и симметрия системы нарушаются. Активная ветвь, развивая дополнительное тангенциальное усилие F_a , занимает положение, приближающееся к нормальному поверхности, а пассивная, сопротивляясь, наоборот, дополнительно деформируется и упрочняется (штриховые линии). Тем самым, на протяжении каждого полупериода волны протекают процессы, анало-

гичные процессам предварительного смещения и страгивания пониженной интенсивности и происходит компенсация энергии потерь контактного осциллятора. В результате амплитудные значения энергии Π' и W_n (при прочих равных условиях) составляют постоянную величину E .

Принципы превращения внутренней энергии вещества в механическую, а также схема механизма процесса потерь энергии системы описаны в работе [2].

Зависимости, характеризующие первичный процесс без учета динамический индукционных эффектов, описываются уравнениями

$$\begin{aligned} \operatorname{div} (J_t + J_c) &= 0, \quad \operatorname{div} (J_t + J_3 + J_c) = 0, \\ \operatorname{rot} B &= a_1 (J_t + J_c) + a_2 (J_t + J_3 + J_c), \\ V_3 &= (V_t + V_c)/2, \end{aligned}$$

где a_1, a_2 - константы; V_3, V_t, V_c - скорости тангенциального движения тела и контртела. В целом первичная составляющая процесса описывается зависимостями на рис. 3, 4.

Физическая сущность первичной составляющей взаимодействия состоит в обеспечении возможности реализации вторичных диффузионных процессов, формирования зон упругого поглощения энергии и отделения частиц износа – основного продукта трения-макродвижения [3]. Схема вторичных процессов следующая. В момент начала отражения потоков J'_{nt} и J'_{nc} от поверхности подслоя тела и контртела происходит резкое увеличение моментов сил, стремящихся повернуть стержни $5', 5''$ и $6', 6''$ в направлении, обозначенном на рис. 5. Действие этих моментов обусловлено встречей фронта волны с преградой – веществом подслоя тел (зонами сопряжения стержней $3_p 5''$ и $4_p 6''$). В результате действия указанных моментов и упруго-пластических свойств вещества происходит перераспределение вещества подслоя тел (потоки J''_{nt}, J''_{nc} , рис. 5), образование уплотненных зон VII и VIII, разреженных зон IX и X, а также зон упругого поглощения – зон сопряжения стержней $5'5'', 6'6''$. Плотность поглощенной энергии и степень перераспределения масс в зонах поглощения (потенциал вторичной составляющей взаимодействий φ''), вследствие чрезвычайной неравновесности процесса отражения, весьма значительны. Аналогично предыдущему

$$\varphi'' = 2 a'' c'' \alpha''.$$

На завершающем этапе отражения вихри-стержни $5'_r$ и $6'_r$ отраженной

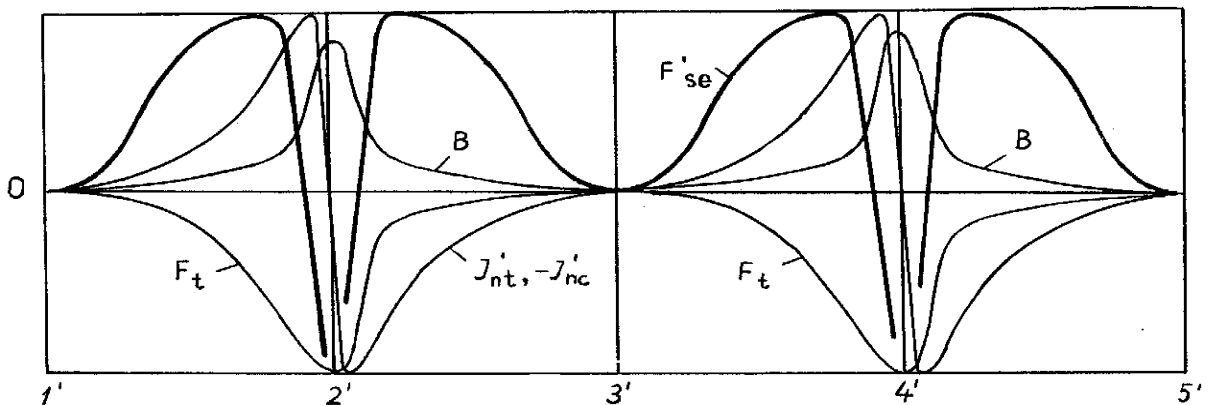


Рис. 4. Зависимости момента количества движения B , нормального импульса J_n , упруго-центробежных сил F'_{se} , и силы трения F_t в системе

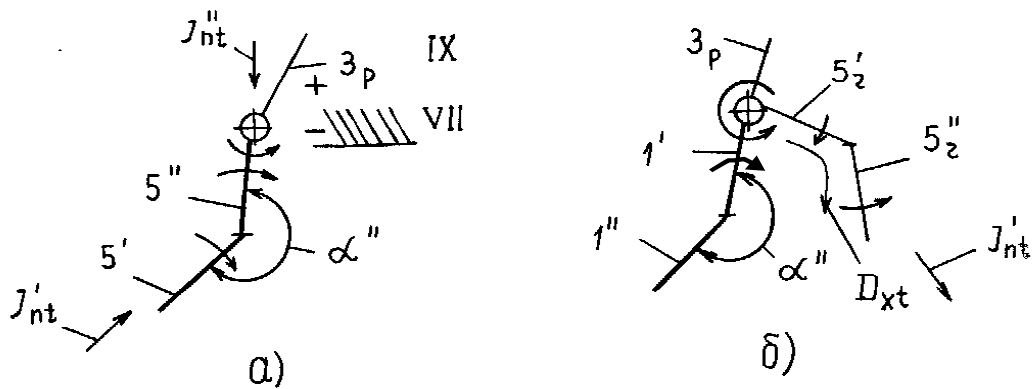


Рис. 5. Схема процесса упругого поглощения (а) и формирования частиц износа (б) в поверхностных слоях тела

пассивной ветви Γ , вращаясь, стремятся растормозить круглые заторможенные частицы, образуемые на начальном этапе отражения (рис. 5, а). При этом происходит качение указанных частиц по внутренней поверхности пассивной ветви и вследствие этого – перемещение зон упругого поглощения $1'1''$ и $2'2''$ в зону стержней 1_p и 2_p (потоки D_{xt} и D_{xc} , рис. 5 и 6). В результате происходит периодический перенос указанных зон на поверхность третьего тела либо вынос вещества этих зон (частиц износа) за пределы зоны контакта, осуществляемый за счет реализации энергии зон потенциала φ_d . Фрикционный перенос является фактором повышения уровня организации исходной системы, а выделение частиц износа – фактором зарождения новых высокоорганизованных систем, их формирования и распространения в среде.

Осуществление цикла вторичных процессов требует реализации определенного числа циклов первичного процесса, что является условием обеспечения необходимой абсолютной величины энергии поглощения частицами износа при высоком уровне её плотности, поэтому период цикла вторичных процессов (со-

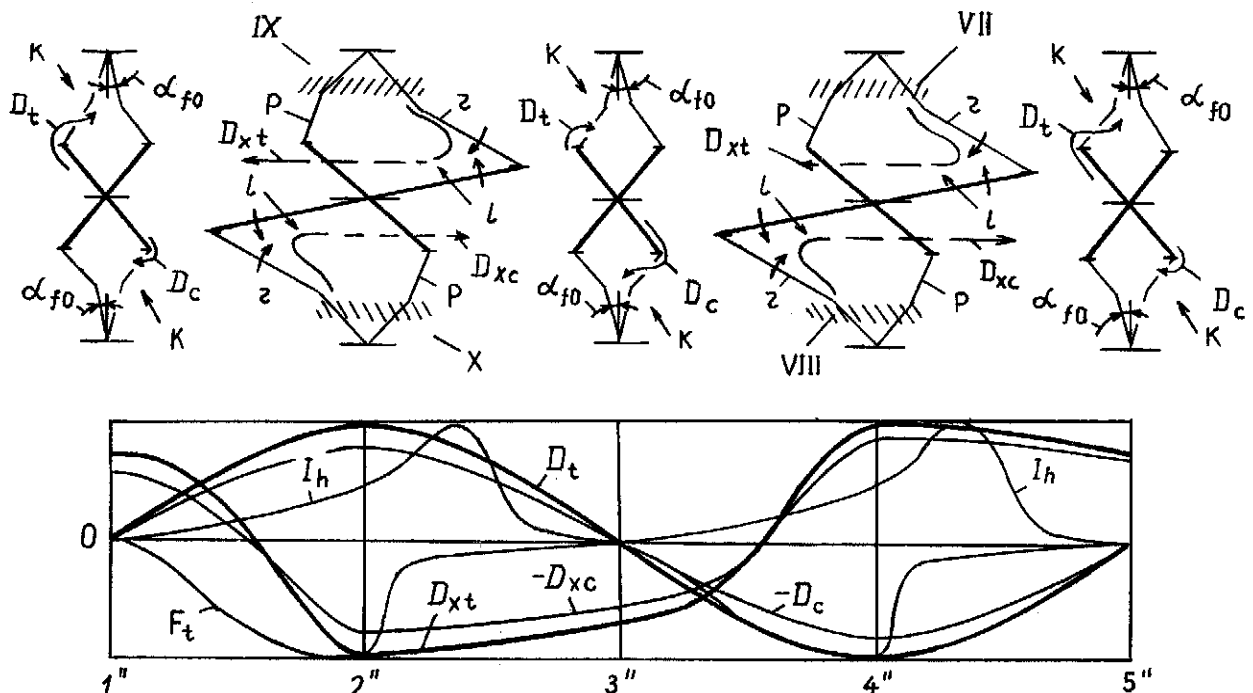


Рис. 6. Принципиальная схема вторичных процессов взаимодействия

стояния 1''- 5'') существенно больше периода цикла первичного процесса.

Из анализа схем на рис. 5 и 6 следует, что вторичная составляющая макродвижения представляет собой движение диффузионных потоков (падающих D_t и D_c и отраженных D_{xt} и D_{xc}), осуществляющих неравномерное относительное движение по замкнутым траекториям. Данная система потоков предусматривает подвод вещества (точки входа k) со стороны подслоя тела и контртела и подвод энергии (точки входа-выхода l) со стороны третьего тела. Посредством указанной системы осуществляется реализация универсальной отрицательной обратной связи, обеспечивающей всеобщую тенденцию повышения уровня организации, выражающуюся в уменьшении угла контактных деформаций α_f , силы трения F_t , интенсивности изнашивания I_h и повышении плотности поглощенной энергии и скорости изменения потенциала φ'' при минимизации величины поглощенной энергии U :

$$\alpha_f \rightarrow \alpha_{f0}, \varphi'' \rightarrow \max, d\varphi''/dt \rightarrow \max, U \rightarrow \min.$$

Из приведенного следует, что процесс макродвижения тел является процессом функционирования системы фрикционного взаимодействия, образованной телом, контртелом (средой) а также динамическими стержневыми системами, важнейшим элементом которых является третье тело – особый энергонасыщенный объект, обеспечивающий возможность преобразования внутренней энергии в механическую и саму возможность макродвижения. Можно показать, что в высокоорганизованных системах роль третьего тела играют сами движущиеся тела, а роль тел – возникающие в процессе движения особые переменные тангенциально перемещающиеся потоки зоны контакта. Вследствие этого трение и макродвижение являются принципиально тождественными процессами. В общем же процесс тангенциального макродвижения следует рассматривать в качестве важнейшего универсального фактора повышения эффективности процесса самоорганизации, результатом которой является формирование высокоэффективных макросистем, совершающих замкнутое тангенциальное (орбитальное) движение, обеспечивающее достижение высшего уровня консервативности системы.

Литература

1. Бородай А.В., Клименко А.В., Пономарев В.И. О физических основах и механизме упрочнения при объемном деформировании и фрикционном взаимодействии // Новые технологии управления движением технических объектов: Материалы 2-й междунар. науч.-техн. конф. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 1999. – Т. 2. – С. 135-138.
2. Бородай А.В., Пономарев В.И., Клименко А.В. О механизмах превращения энергий при макродвижении и фрикционном взаимодействии // Новые технологии управления движением технических объектов: Материалы 3-й междунар. науч.-техн. конф. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2000. – Т. 3. – С. 177-181.
3. Бородай А.В., Клименко А.В., Пономарев В.И. О природе трения и структуре трибосистем // Новые технологии управления движением технических объектов: Материалы 3-й междунар. науч.-техн. конф. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2000. – Т.3. – С. 191-185.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ ДЛЯ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

Пашкевич А.П., Кожевников М.М.

Моделирование технологических процессов сварки и сборки, комплексно автоматизированных на основе роботизированных технологических комплексов (РТК), предполагает необходимость реализации модели столкновения для робота-манипулятора. Моделирование столкновения позволяет эффективно решать задачи теста столкновения и планирования свободной от столкновения траектории для манипулятора.

Модель столкновения задается в виде множества централизованных конфигураций, при которых имеет место столкновение манипулятора с точечными примитивами, расположенными на различном расстоянии от базы манипулятора. Данное множество централизованных конфигураций является основой для формирования так называемых областей С-препятствий в фактическом конфигурационном пространстве робота-манипулятора [1-5]. Модель позволяет произвести эффективное формирование фактического конфигурационного пространства робота-манипулятора.

Задача синтеза модели столкновения для робота-манипулятора может быть решена с помощью различных методов. Алгебраические методы [3-5] основаны на замене препятствия и манипулятора простыми многоугольными объектами. Описанные в [2,6-8] численные методы базируются на формировании плоских С-пространственных структур (С-space patterns) и сохранении их в массиве. В [9-11] полученные аналитически С-пространственные структуры на основе упрощенной модели робота-манипулятора аппроксимируются двухслойной нейронной сетью. Основным недостатком предложенных в [2,6,9-11] методов использование упрощенных плоских моделей робота-манипулятора для генерации С-пространственных структур.

В данной работе предложен подход к моделированию столкновения базирующийся на формировании трехмерных С-пространственных структур на основе трехмерной САД-модели робота-манипулятора. Манипулятор оснащен технологическим инструментом сложной формы. Для аппроксимации полученных С-пространственных структур разработана модификация двухслойной нейронной сети.

Эффективность предложенной модели подтверждается примерами практического применения при проектировании РТК сварки.

Рассмотрим трехмерный манипулятор с поворотными звеньями (см. рис. 1). Его первое звено L_1 связано через сочленение g_1 с базой манипулятора, которая зафиксирована в рабочем пространстве. Звено L_1 связано через сочленение g_2 с звеном L_2 . Звено L_2 связано со звеном L_3 через сочленение g_3 . Величины углов в сочленениях g_4, g_5, g_6 установлены в 0 ($q_4=0, q_5=0, q_6=0$). Манипулятор оснащен технологическим инструментом 1. Тогда столкновение манипулятора с препятствием 2 можно описать некоторым множеством углов q_1, q_2, q_3 в сочленениях g_1 ,

g_2, g_3 соответственно. Это множество углов определяет области С- препятствий в фактическом конфигурационном пространстве манипулятора. Необходимо отметить, что оси сочленений g_2, g_3 не параллельны оси сочленения g_1 .

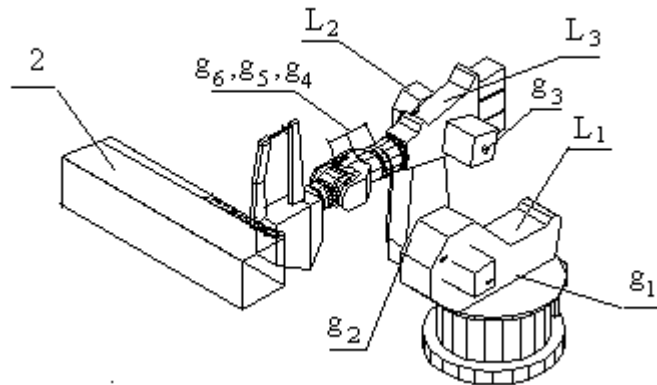


Рис. 1 Манипулятор KR125

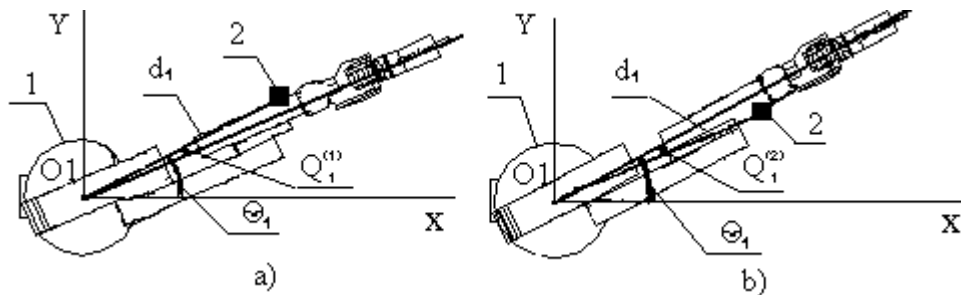


Рис. 2 Проекция манипулятора на плоскость XO_1Y

Рассмотрим проекцию манипулятора на плоскость XO_1Y рис.2 (система координат связана с точкой O_1 (рис. 1)). Столкновение манипулятора 1 с примитивом 2 расположенным на расстоянии d_1 от точки O_1 (точечный примитив заменен параллелепипедом малой ширины относительно размеров манипулятора) характеризуется парой централизованных углов $Q_1^{(1)}$ и $Q_1^{(2)}$, причем значения этих углов не зависят от значения угла θ_1 , определяющего угловое положение примитива относительно оси Z .

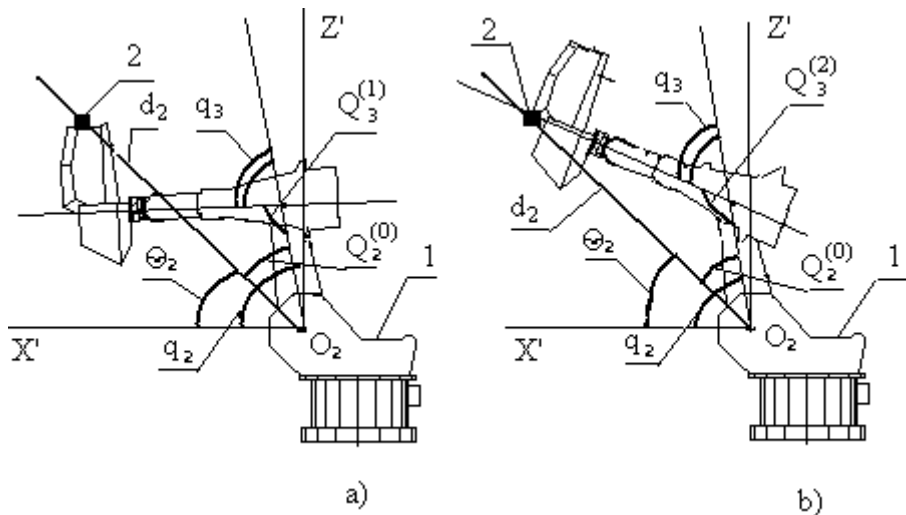


Рис.3 Проекция манипулятора на плоскость $X'O_2Y'$

Рассмотрим проекцию манипулятора на плоскость $X'O_2Z'$ рис.3 (система координат связана с точкой O_2 (рис. 1)). Столкновение манипулятора 1 с примитивом 2 расположенным на расстоянии d_2 от точки O_2 будет определяться углом $Q_2^{(0)}$ и соответствующей ему парой углов $Q_3^{(1)}$, $Q_3^{(2)}$, причем эти углы не зависят от значения угла θ_2 определяющего угловое положение примитива относительно оси Y' . Тогда С- пространственная структура, определяющая столкновение манипулятора с примитивом расположенным на расстоянии d_2 от точки O_2 будет задаваться в виде множества значений централизованных углов Q_1, Q_2, Q_3 . Форма С- пространственной структуры будет определяться:

- 1) наличием ограничений на диапазон изменения углов q_1, q_2, q_3 ;
- 2) конструктивными особенностями формы звеньев манипулятора;
- 3) формой технологического инструмента;

Предлагаемый алгоритм генерации трехмерных С- пространственных структур на основе трехмерных CAD моделей манипулятора и примитива предусматривает следующие этапы:

- 1) формирование профилей С- пространственных структур относительно параметров Q_2, Q_3 ;
- 2) формирование профилей С- пространственных структур относительно параметра Q_1 ;
- 3) формирование множества полных С- пространственных структур на основе полученных плоских профилей;

Пример трехмерной С- пространственной структуры сгенерированной с использованием программного пакета MatLab 5.3, описывающей столкновение манипулятора KR125 и примитива расположенного на расстоянии $d=2340$ м.м. изображен на рис. 4.

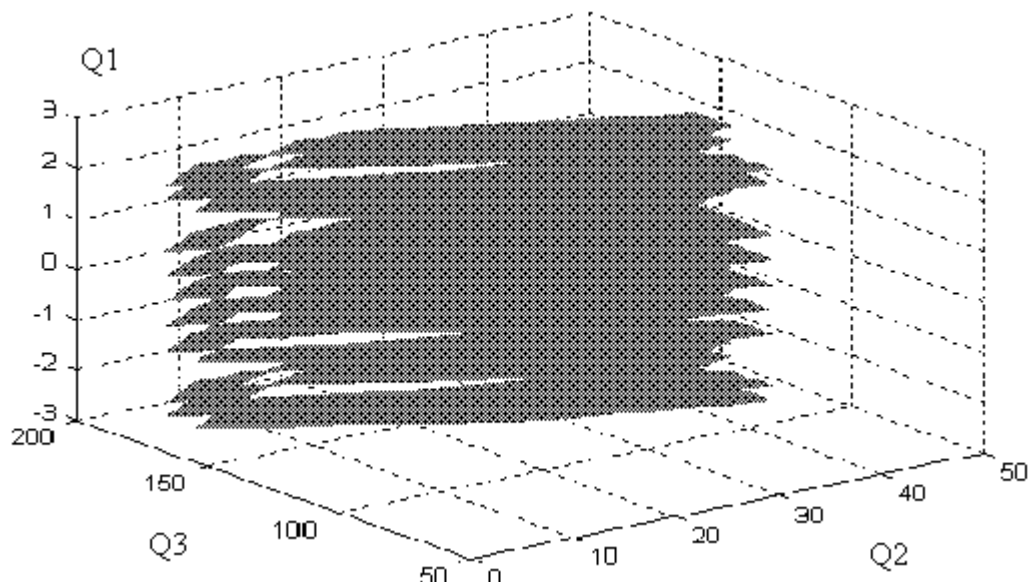


Рис.4 Трехмерная С- пространственная структура

Для аппроксимации полученных трехмерных С- пространственных структур предлагается использовать двухслойную нейросетевую структуру. Данный подход базируется на работах [9]-[15]. В качестве функций активации

нейронов скрытого слоя используются функции с радиальным базисом (Radial Basis Function(RBF)). Как указывается в [16] RBF-сеть позволяет реализовать универсальную функцию аппроксимации.

Предлагаемая модификация нейронной сети (рис. 5)-это двухслойная структура, чьи узлы в выходном слое формируются как линейная комбинация выходов базисных функций скрытого слоя:

$$Q_{m,s}^{(a)} = \sum_{k=1}^{k'} w_{m,s,k}^{(a)} * f_k(d - c_k), \quad (1)$$

где $Q_{1,0}^{(a)}$ -представляет значения централизованных углов описывающих плоский профиль С- пространственной структуры относительно параметров Q_2, Q_3 при $a \in [1, 2]$; $Q_{m,s}^{(a)}$ -представляет значения централизованных углов описывающих плоский профиль С- пространственной структуры относительно параметра Q_1 в дискретных точках $s \in [1, \dots, s']$ с разрешением s' при $m \in [2, 3], a \in [0, 1, 2]$; $w_{m,s,k}^{(a)}$ и c_k - веса в выходном и скрытом слоях соответственно; f_k - функция активации нейронов скрытого слоя.

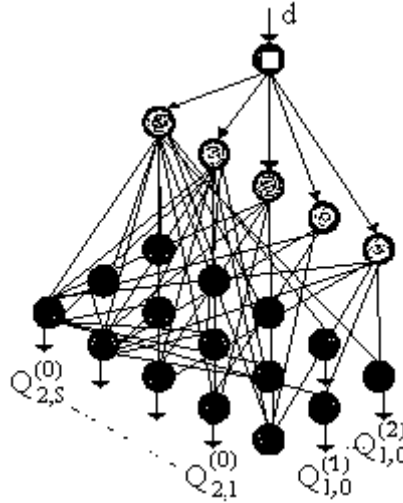


Рис. 5 Нейронная сеть предназначенная для аппроксимации трехмерных С- пространственных структур

В качестве функции активации нейронов скрытого слоя использована функция вида:

$$f_k(x) = \begin{cases} -|\sigma_{l,k}^{-1} * x| + 1, & \text{если } \sigma_{l,k} \leq x \leq 0 \\ -|\sigma_{r,k}^{-1} * x| + 1, & \text{если } 0 \leq x \leq \sigma_{r,k} \\ 0, & \text{если } x < \sigma_{l,k}, x > \sigma_{r,k} \end{cases} \quad (2)$$

где $\sigma_{l,k} = c_k - c_{k-1}$; $\sigma_{r,k} = c_{k+1} - c_k$.

Таким образом активность нейронов скрытого слоя изменяется в пределах от 0 до 1.

Обучение сети производится с использованием алгоритма “с учителем”. В качестве обучающего множества используются С- пространственные

структуры полученные в соответствии с вышеописанными алгоритмом. Цель алгоритма обучения – снижение интерполяционной ошибки определяемой как разность между откликом сети на некоторое входное воздействие и соответствующей С- пространственной структурой, найденной для данного воздействия. Это достигается за счет последовательного увеличения числа нейронов в скрытом слое до тех пор пока разность между откликом сети на некоторое входное воздействие и расчетной С-пространственной структурой не станет ниже заданного порога.

Моделирование данной нейронной сети проведено в пакете MtLab 5.3. Экспериментальное исследование алгоритма обучения показало, что снижение интерполяционной ошибки на всем выходном пространстве сети ниже порога $\tau=0.2$ достигается при достижении 25 нейронов в скрытом слое.

Эффективность предложенного метода подтверждается примерами практического применения при проектировании РТК сварки на базе робота KR125 фирмы KUKA.

Литература

1. Latombe J.C. Robot motion planning. – Boston: Kluwer Academic, 1991.
2. Newman W.S., Branicky M.S. Real-time configuratin space transforms for obstacle avoidance // The International Journal of Robotic Research. – 1991. – V. 10. – № 6.
3. Lozano-Perez T. A Simple Motion-Planning Algorithm for General Robot Manipulator // IEEE Journal of Robotic and Automation. – 1987. – V. 3. – № 3. – P. 224-238.
4. Lozano-Perez T., Wesley M.A. An algorithm for planning collision-freepaths among polihedral obstacles // Communications of the ACM. – 1979. – V. 22. – № 10. – P. 560-570.
5. Lozano-Perez T. Spatial planning: a configuration space approach // IEEE Transaction of Computers. – 1983. – V. C-32. – № 2. – P. 108-120.
6. Branicky M.S., Newman W.S. Rapid computation of configuration space obstacles // Proceedings of the 1990 IEEE International conference of Robotics and Automation. – 1990. – P. 304-310.
7. Fox J.J., Macciejewski A.A Computing the topology of configuration space // System, Man, Cybernetics: Proceedings of the 1992 IEEE International Conference. – Chicago, 1992. – P. 31-36.
8. Fox J.J., Macciejewski A.A Utilizing the topology of configuration space real-time multiple manipulator path planning // Proceedings of the IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and systems (IROS '94). September .1994. – Germany: Munich, 1994.
9. Althoefer, K., Fraser, D.A., Bugmann, G., Turan, J. The Configuration Space Transformation for Articulated Manipulators: Novel Approach based on RBF Networks // Proceedings of the Fourth International Conference on Artificial Neural Networks, IEE. – Cambrige, 1995. – P. 245-249
10. Althoefer, K., Fraser, D.A., Bugmann, G. The Configuration Space For Manipulator computed by a Basis-Function Network // Proceedings of the International Conference on Engineering Applications of Neural Networks. – Otaniemi/Helsinki, 1995. – P. 469-472.
11. Althoefer, K., Fraser, D.A., Bugmann, G. Plumbley M.D. Assymetric B-splines for the fast calculation of C-space patterns of robot arms // Proceedings of the 5th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN'95). – Paris, 1995. – P. 387-392.
12. Hush D.R., Horne B.J. Progress in supervised networks-what's new since lippmann // IEEE Signal Processing Magazine. – 1993.
13. Musavi M.T., Ahmed W., Chan K.N., Faris K.B. On training radial basis function classifiers // Neural Networks. – Pergamon Press Ltd, 1992. – V. 5. –1992.
14. Bishop C.M. Neural network for pattern recognition. – UK: Oxford University Press, 1995.
15. Miller W.T., An E., Glanz F.H., Carter M.J. The design of CMAC neural networks for control // Proceedings of Sixth Yale Workshop on adaptive and learning systems. – Yale University, 1990

УДК 681.322.001.57: 65.012.

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЕМ СЛОЖНОЙ ДЕТАЛИ

Игнатьев В.М., Ткачёва О.А.

В условиях многономенклатурного серийного производства сложных деталей для управления процессом изготовления предлагается набор математических моделей. Такое моделирование позволит: производить загрузку оборудования, сократить сроки изготовления деталей, уменьшить получение брака при обработке детали.

Технологический процесс изготовления детали задается в виде сетевого графика (N, G) . Множество N - операции обработки детали, которые характеризуются временем обработки T_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Дуги G указывают на последовательность операций и зависимость между процессами обработки. Взаимозависимость между операциями обработки детали характеризуется коэффициентом взаимосвязи, который определяет скорость перехода к последующей операции обработки A_j , $j \in G$. Например, при изготовлении детали, требующей термическую обработку, технологическое время операции является функцией от её температуры, времени пролёживания между операциями обработки, времени от начала обработки до текущего момента, т.е.

$$T_i = f_i(t^\circ, \tau, t'), i \in N, \quad (1)$$

где t° - температура детали в настоящий момент, τ - времени пролёживания после последней операции обработки, t' - время, прошедшее от начала обработки детали до текущего момента.

Функция (1) в общем виде - нелинейная однозначно положительно определённая на оси времени и абсолютных значениях температуры, обусловленная технологией изготовления детали. Аналогично определяется коэффициент взаимосвязи процессов обработки: $A_j = \psi_j(t^\circ, \tau, t'), j \in G$. (2)

Время t' ограничено максимальным временем обработки детали $t_{\max}$, что вызвано технологией изготовления детали. Температура детали в момент выдачи моделью управляющей команды определяется суммой температур: $t_a^\circ + \Delta t^\circ$,

где t_a° - температура детали, поступившая от датчика на модель, Δt° - прогнозируемое изменение за время отработки модели.

Время пролёживания детали τ в момент выдачи управляющей команды складывается из времени таймера пролёживания τ_t и времени отработки модели ΔQ . Таким образом, от момента отработки до момента выдачи управляющей команды на последующую обработку детали имеем условное детерминирование, T_i , $i \in N$, и A_j , $j \in G$. Из вектора A_j строится матрица взаимосвязанности операций $A = \{a_{ij}, i, j \in N\}$. Если $a_{ij} = 0$, то операции i и j не связаны и могут выполняться в произвольном порядке. Если $a_{ij} \neq 0$, то операции i и j желательно выполнять в произвольном порядке $i \rightarrow j$. Чем меньше значение a_{ij} , тем больше взаимосвязь операций i и j . Если $a_{ij} = R$, то операции i и j не могут выполняться в порядке $i \rightarrow j$.

Все операции сети (N, G) над деталью должны быть выполнены. Опера-

ции выполняются на множестве параллельных агрегатов M разной производительности. Каждая операция выполняется одним агрегатом от начала до конца, то есть прерывание выполнения операции запрещено и выполнение одной операции несколькими агрегатами недопустимо. В каждый момент времени над деталью выполняется только одна операция. Обработка детали, операция может производиться на одном из нескольких допустимых технологией агрегатов.

Привязка операций к агрегатам задается в виде прямоугольной матрицы

$$B = \{b_{ij}, i \in N, j \in M\}. \quad (3)$$

В столбце, который соответствует определенной операции коэффициенты отличные от нуля, указывают на возможность использования агрегата, а величина коэффициента на условную стоимость эксплуатации этого агрегата в условную единицу времени. Если $b_{ij} = 0$, то i -ая операция не может выполняться на j -ом агрегате. Длительность выполнения каждой операции каждым агрегатом задана матрицей

$$T = \{t_{ij}, i \in N, j \in M\}, \quad (4)$$

определенной аналогично матрице (3) с помощью (1). Время работы агрегатов рассматривается в условных единицах времени на интервале $[T, \bar{T}]$. В расписании работы каждого агрегата $S_j(t)$, $j \in M$, известны длительности и сроки профилактических плановых ремонтов, занятость для выполнения посторонних заказов. Расписание представляет собой кусочно-постоянную непрерывную справа от нуля функцию $S(t)$, которая принимает одно из значений $0, 1, 2, \dots, n$. Если $S(t) = k$, то в момент времени t выполняется k -ая операция. Если $S(t) = 0$, то в момент времени t ни одна операция не выполняется и агрегат простаивает. Расписания должны удовлетворять условиям полноты, упорядоченности и непрерывности, указанным в [1].

Предположим, что на временном интервале $[T, \bar{T}]$ для рассматриваемого множества агрегатов M известен ориентировочный план выпуска деталей и для каждого наименования детали этот технологический процесс изготовления различен. Ориентировочный план выпуска - это перечень деталей, которые должны быть выпущены в течении временного интервала с указанием их количества. При изготовлении деталей возможен разброс по объемам выпуска, который зависит от наличия сырья, аварий агрегатов, брака и т.п.

Необходимо составить расписание выпуска партий деталей каждого наименования и расписания прохождения каждой детали на параллельных агрегатах обработки. Качество расписаний выпуска деталей характеризуется следующим критерием:

$$C = \sum_{r=1}^w e_r \cdot F_r, \quad (5)$$

где e_r - весовой коэффициент выпуска r -ой детали, w - количество деталей, F_r - критерий построения расписания изготовления r -ой детали.

Критерий построения расписания изготовления r -ой детали рассчитывается по следующей формуле:

$$F_r = R_1 \cdot \sum_{k \in Q, j \in P} a_{kj} \cdot \varphi_{kj} + R_2 \cdot \sum_{r=1}^n b_r \cdot t_r, \quad (6)$$

где $b_r = \min_{j=1, m} b_{jr}$, если $b_{jr} \neq 0$ и $S_j(t) = 0$ при $t_r = t_{jr}$, Q - подмножество операций из N , вы-

полненных до k-ой операции, P - подмножество операций, которые могут выполняться следующими, если выполнены операции подмножества Q , R_1 и R_2 - коэффициенты влияния первой и второй части функции критерия, φ_{kj} - функция штрафа k-ой и j-ой операции.

Взаимосвязь операций при построении расписаний штрафуетс^я следующей функцией: $\varphi_{kj} = \gamma \cdot \left| \overline{t_k} - \underline{t_j} \right|^a$, (7)

где a - целое положительное число, γ - действительное положительное число, позволяющее сжимать или растягивать интервал между взаимосвязанными операциями, $\overline{t_k}$ - время окончания k-ой операции, $\underline{t_j}$ - время начала j-ой операции.

Семейство функций штрафа взаимосвязи операций подобно функции (7).

Расписание выпуска партий деталей будем считать оптимальным, если значение критерия (5) достигает минимального значения. Критерий (5) будет достигать минимального значения, если наибольшим значениям e_r будут соответствовать меньшие значения F_r . Поэтому для минимизации критерия (5) упорядочим детали по убывания весовых коэффициентов e_r . Затем необходимо минимизировать критерий расписания (6) для первой упорядоченной детали, второй и т.д. Первая часть критерия (6) означает построение расписания, минимально нарушающее взаимосвязь операций обработки детали. Вторая часть критерия (6) позволяет выбрать наиболее производительные и эффективные по затратам агрегаты и оборудование.

Построение расписаний изготовления сложных деталей можно провести используя методы целочисленного программирования, случайного поиска и приближённых динамических схем расчета. При использовании методов целочисленного программирования размерности задач возрастают почти в 3 раза и их формулировка затруднительна. При применении методов случайного поиска требуется в 3-4 раза больше шагов, чем при методе последовательного анализа вариантов, основанного на методах динамического программирования. Анализ методов построения расписаний с взаимосвязанными операциями описываются в работах [2,3]. Эффективные расчетные схемы и алгоритмы реализации описанной выше модели приводятся в статье [4].

Литература

1. Танаев В.С., Шкурба В.В. Введение в теорию расписаний. – М.: Наука, 1975. – 256 с.
2. Игнатъев В.М. Алгоритмы задач выполнения взаимосвязанных требований на параллельных приборах // Теоретические и прикладные вопросы проектирования систем управления. – Киев: Наук. думка, 1981. – С. 81-89.
3. Игнатъев В.М., Флёров А.И. Задачи упорядочения взаимосвязанных требований на параллельных приборах разной производительности // Вестник полит. ин-та. – Киев, 1982. – Вып. 19. – С. 34-39.
4. Игнатъев В.М., Ольгаренко В.И. Приближённые эффективны алгоритмы задач неактивных расписаний // Автоматизация процессов планирования и управления. – Вильнюс: Институт математики и кибернетики, 1982. – Вып. 9. – С. 22-32.

УДК 621:658.512.011.56

**ОЦЕНКА ЗАТРАТ НА ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКУЮ
ОБРАБОТКУ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ***Зимнухова Ж.Е., Немтинова Ю.В.*

В связи с ускоренным развитием техники крайне актуальным стали вопросы повышения надежности и долговечности деталей машин, приборов, установок, повышение их качества и эффективности работы, а, следовательно, вопросы экономии металлов, борьбы с коррозией и износом деталей машин. Решение этих проблем прежде всего связано с упрочнением поверхностных слоев изделий. Роль их в долговечности машин и механизмов, приборов и др. особенно возросла в настоящее время, так как развитие большинства отраслей промышленности (авиационная, ракетная, теплоэнергетика, атомная энергетика и др.) связано с повышением нагрузок, температур, агрессивности сред, в которых работает деталь. Упрочняющая обработка позволяет создавать на рабочей поверхности детали, например при процессе цементации, слой, обладающий высокой твердостью после закалки, износостойкостью, эрозионной стойкостью, контактной выносливостью и усталостной прочностью при изгибе.

В данной работе рассматривается задача структурного синтеза технологических процессов упрочняющей обработки изделий из металлов и выбора оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров. Выбор оптимального варианта технологического процесса осуществляется в результате решения задачи оптимизации, в качестве критерия которой выступают затраты на упрочнение поверхностного слоя детали. Составляющими критерия являются: трудозатраты; стоимость вспомогательных материалов (керосин, масло, уайт-спирит и др.) и материалов, потраченных на изготовление приспособлений; электроэнергии и экономического ущерба, нанесенного окружающей среде выбросами окисью углерода, продуктами сгорания технических газов и масел.

Формирование множества технологических процессов осуществляется с использованием информационной базы знаний, включающей в себя реляционную базу данных и базу правил, регламентирующих выбор их элементов. База данных содержит информацию марочника сталей, сведения о видах упрочняющей обработки, времени и условиях проведения технологических процессов в зависимости от заданных эксплуатационных характеристик конструируемой детали, тип и характеристики оборудования, соответствующих ему приспособлений и др.

Так как размерность множества технологических процессов конечна, то решение задачи сводится к последовательному перебору всех вариантов и выбору такого, где критерий оптимизации достигает минимального значения, при условии выполнения всех ограничений.

УДК 622.619

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУЗОПОТОКА КЛИНОВОЙ ПОГРУЗОЧНОЙ МАШИНЫ ПРИ РАБОТЕ ПОД ЗАВАЛОМ ГОРНОЙ МАССЫ

Отроков А.В.

В последнее время для погрузки крепких крупнокусковых материалов широко предлагаются погрузочно-транспортные модули и погрузочные машины (ПМ), у которых рабочие органы состоят из клиновых элементов, совершающих возвратно-поступательные движения.

Одним из направлений повышения эффективности процесса погрузки горной массы является внедрение технологий со взрывонавалкой горной массы на исполнительные органы ПМ.

До настоящего времени исследования рабочих процессов ПМ проводились только в режиме транспортирования горной массы (на штабелях с высотами до 5 высот клиновых элементов). Различие в процессах формирования грузопотока материала в режиме работы под завалом и в режиме транспортирования состоит в характере перемещения верхних слоев материала и значительной высотой штабеля по сравнению с режимом транспортирования. Исходя из этого, при разработке математической модели взаимодействия исполнительного органа клиновой ПМ, работающей под завалом, были уточнены коэффициенты, функционально зависящие от высоты слоя материала в ячейке [1].

Для моделирования рабочего процесса клиновой ПМ (рис.1) разработана программа для персональных компьютеров *IBM* под управлением *Windows 9x/NT*. Алгоритм, реализующий математическую модель рабочего процесса клиновой ПМ, работающей в режиме взрывонавалки, представлен на рис.2.

Согласно наблюдениям вывалы крупнокусковой горной массы после взрыва характеризуются следующими параметрами:

- дальность отброса породы - $15 \div 20$ м, при этом длина вывала составляет $5 \div 10$ м;
- высота у груди забоя - $1.5 \div 2.0$ м;
- угол откоса штабеля - $\approx 45^\circ$.

Учитывая эти параметры штабеля, длину рабочего органа клиновой ПМ (11.5 м), состоящего из 10 ячеек, и расстояние от груди забоя до рабочего органа клиновой ПМ перед взрывом (5 м), заполняются исходные данные для моделирования - первоначальная загрузка рабочего органа клиновой ПМ.

Использование программного продукта позволяет оценить параметры грузопотока клиновой ПМ не только количественно, но и качественно (рис.3,4).

Результаты моделирования показывают, что техническая производительность клиновой ПМ в режиме работы под завалом горной массы превышает производительность в транспортирующем режиме в 1.5 – 2.0 раза и составляет порядка $2.0 \text{ м}^3/\text{мин}$, что говорит о более оптимальной загрузке рабочего органа горной массой.

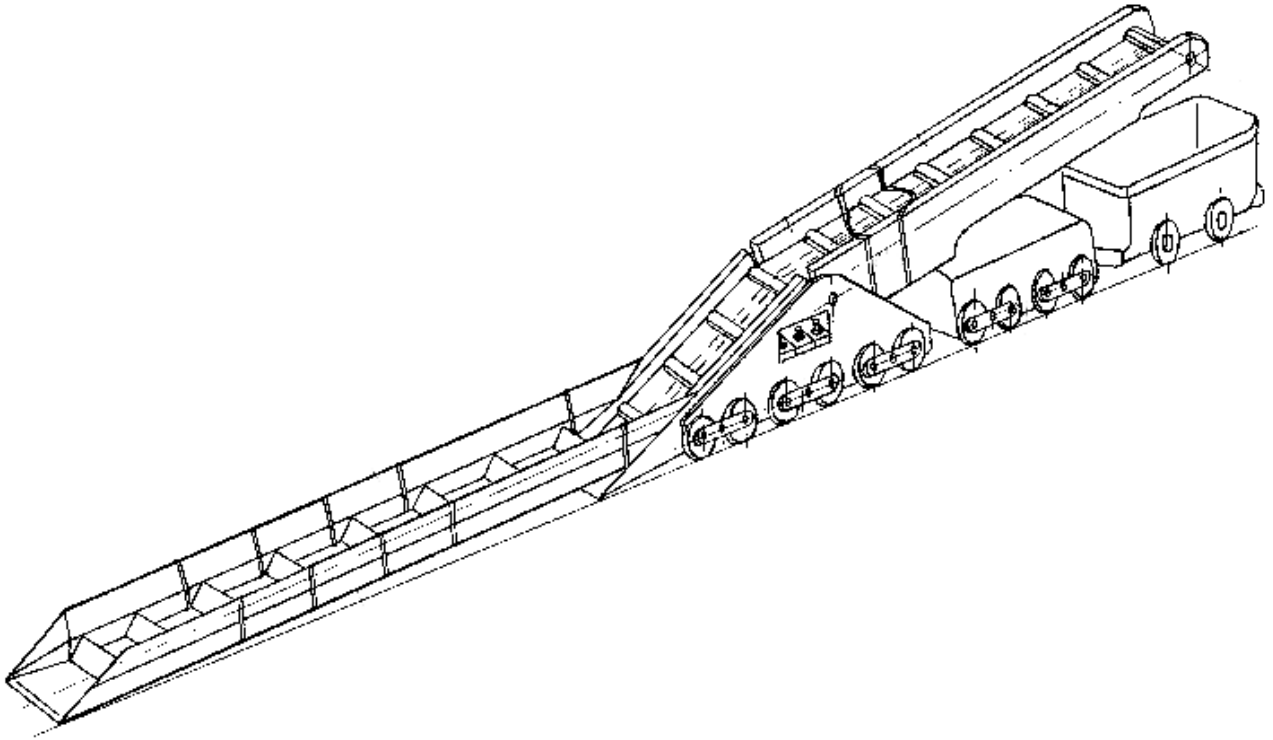


Рис.1. Клиновое погрузочное устройство

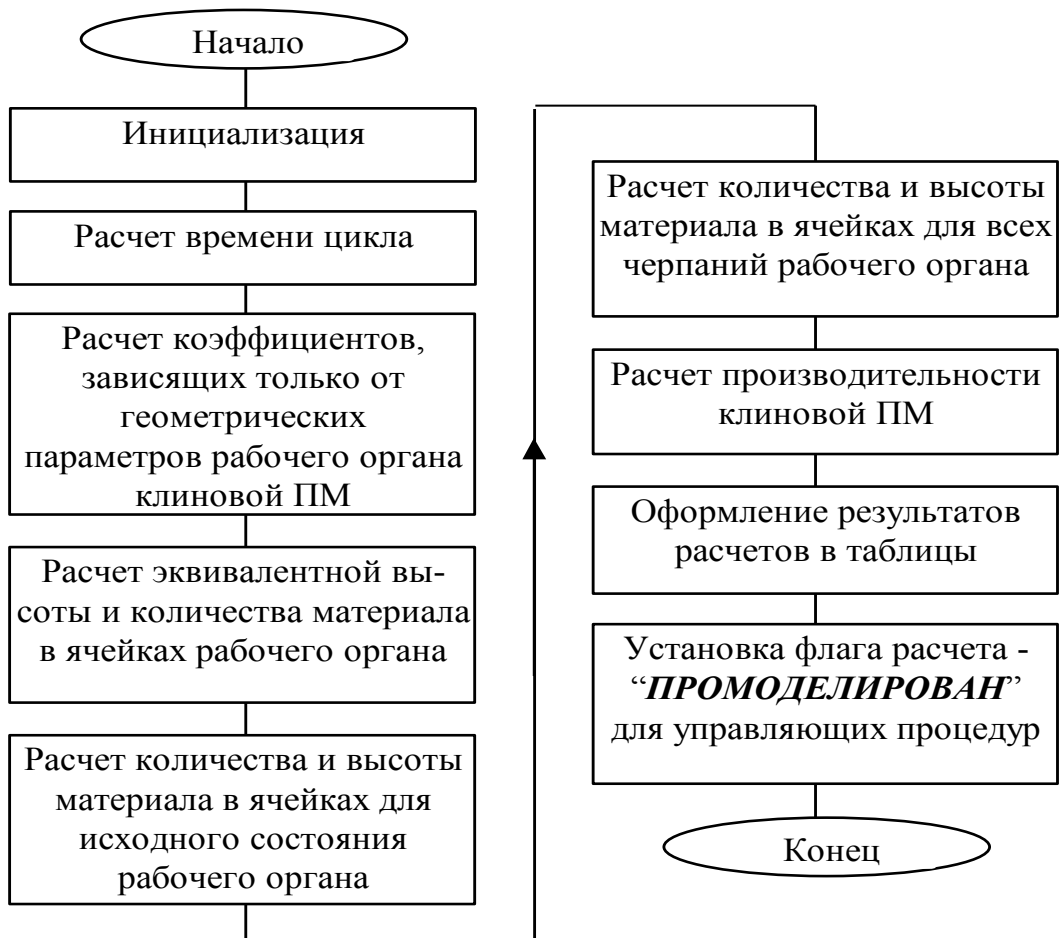


Рис.2. Укрупненная блок-схема процедуры моделирования

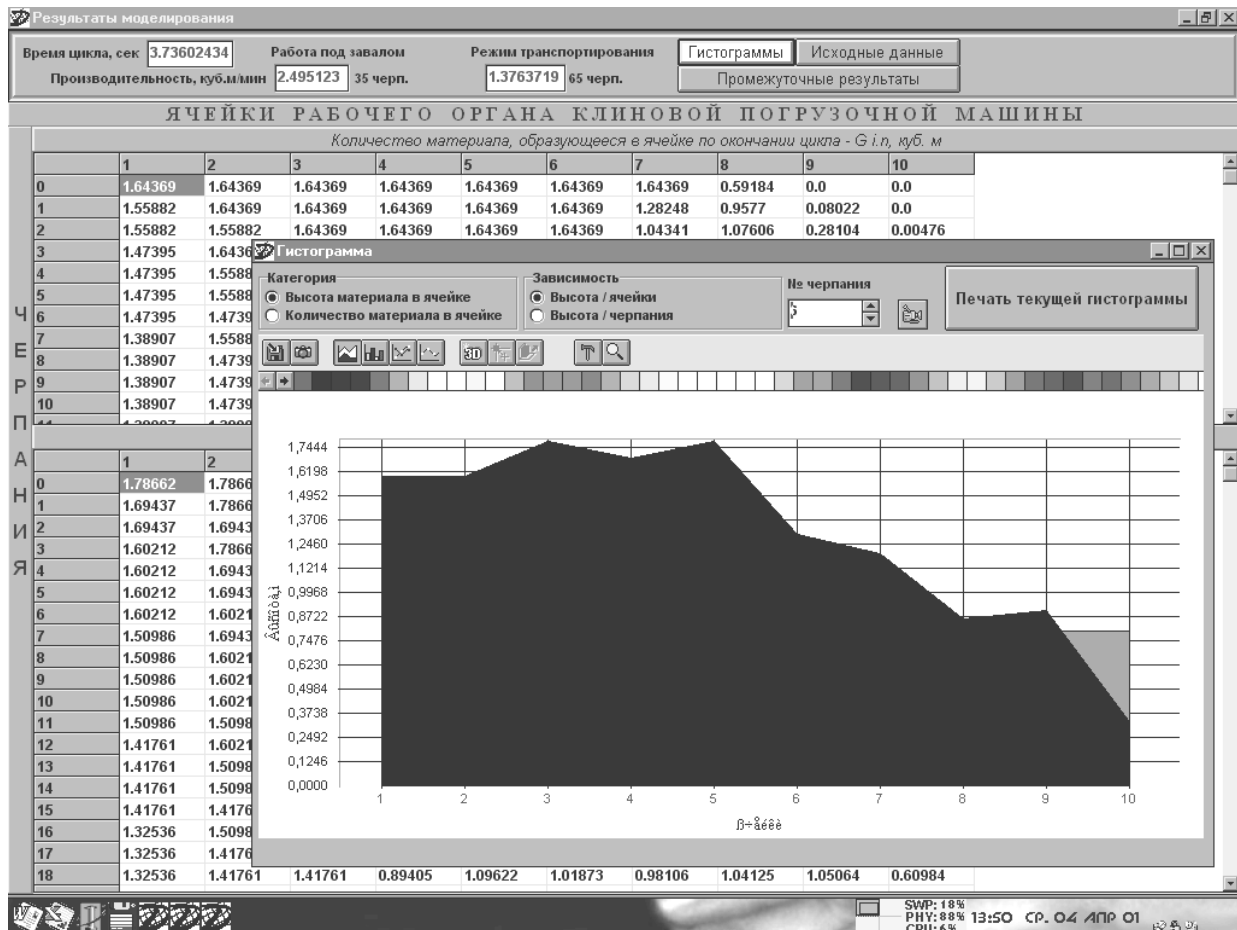


Рис.3. Пример моделирования грузопотока клиновой ПМ

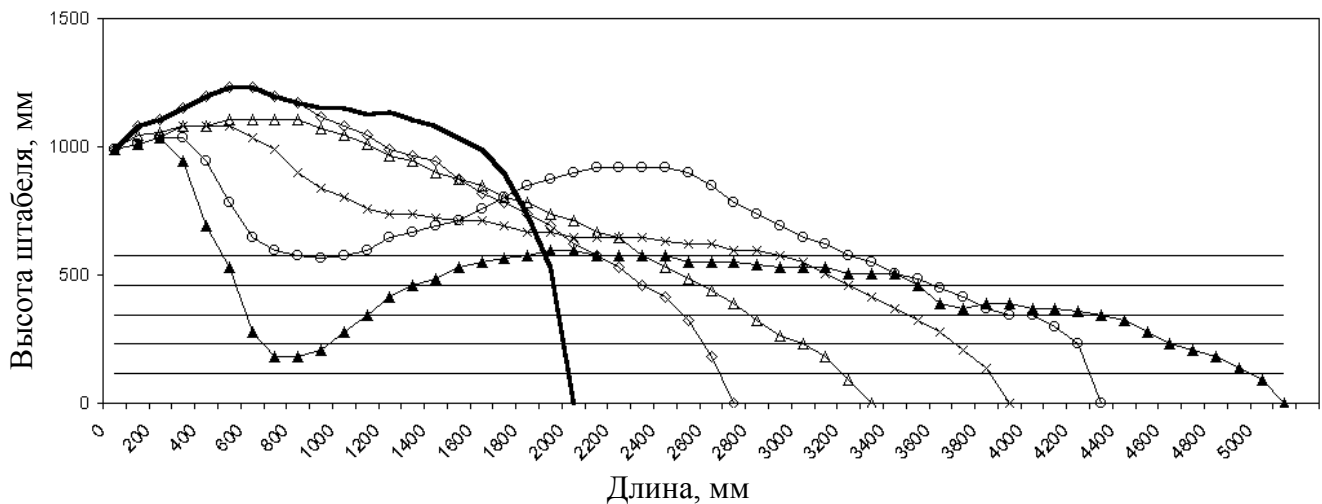


Рис.4. Профили штабеля на рабочем органе клиновой ПМ на различных циклах

Литература

1. Ляшенко Ю.М., Отроков А.В. Математическое описание рабочего процесса клиновой погрузочной машины, работающей под завалом. /Компьютерное моделирование технологических процессов и технологий горного производства и транспортных работ: Сб. Науч. тр./ Новочерк. Гос. техн. ун-т. – Новочеркасск; НГТУ, 1999.-С.20-28.

346500, Ростовская обл., г.Шахты, пл.Ленина, 1, ШИ(ф) ЮРГТУ(НПИ), к.221, отдел "Ин-

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА МЕХАНОАКТИВАЦИИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сыса А.А., Голик В.И., Сыса А.Б.

Рассмотрены факторы, оказывающие влияние на механоактивацию поверхности твердых частиц в технологических измельчительных устройствах. Установлено, что поверхностная энергия материалов растет при увеличении значений удельной поверхности частиц и количества энергии, расходуемой на деформацию кристаллической решетки частиц. Показано, что существует связь между эффективностью механоактивации и физическими свойствами материалов.

Выбор аппарата для механической активации минеральных веществ перед проведением конкретных технологических операций представляет собой сложную задачу, которая решается путем сравнения конкурирующих устройств для измельчения и дезинтеграции.

Явление роста поверхностной энергии тесно связано с поверхностной деформацией кристаллов частиц при механической обработке и с отрывом структурных электронов, происходящим в слое Ферми. Последний находится в квазипространстве импульсов, где на трех взаимно перпендикулярных осях отложены соответствующие энергии импульсов $E = p^2 / (2m)$, где $p = mv$, где m – масса электрона, а v – скорость. Для осуществления отрыва должно быть достигнуто значение энергии $E_{\text{ф}}$:

$$E_{\text{ф}} = h^2 / (8m)(3n/\pi)^{2/3},$$

где h – постоянная Планка; $n = N_A \rho / \mu$; N_A – число Авогадро; ρ – плотность, μ – атомная масса.

При взаимном контакте тел, состоящих из различных веществ, теряют электроны и заряжаются положительно те тела, для которых значения $E_{\text{ф}}$ ниже.

Как правило, более плотные и более прочные вещества имеют большие значения $E_{\text{ф}}$.

Электрические заряды распределяются равномерно по поверхности частиц и сосредотачиваются на острых выступах и ребрах, откуда они затем быстро улечиваются в пространство.

Аналогично ведет себя и поверхностная энергия, проявляющаяся в повышении химической активности материалов, в аморфизации поверхностных слоев. В частности, установлено, что прирост поверхностной энергии при прочих равных условиях пропорционален значению удельной поверхности, но не связан с ее приростом в ходе механоактивации.

Очевидно, суммарная кинетическая энергия мелющих тел (или рабочих органов устройства) тратится на разрушение $E_{\text{р}}$ и на деформацию частиц $E_{\text{д}}$. Не вся энергия деформации преобразуется в поверхностную энергию, она распадается на слагаемые:

$$E_{\text{д}} = E_{\text{с}} + E_{\text{сдв}} + E_{\text{р}},$$

где $E_{\text{с}}$ – энергия, расходуемая на сжатие частиц; $E_{\text{сдв}}$ и $E_{\text{р}}$ – соответственно, составляющие энергии, израсходованные на деформацию сдвига и растяжения.

Установлено, что значение энергии механической активации связано главным образом со значением $E_{сдв}$, которая соответствует взаимным контактам тел при больших скоростях и незначительных сжимающих усилиях (как при электризации трением).

Поверхностная энергия частиц E_A связана с поверхностью минералов следующей зависимостью:

$$E_A = 36,10 - 59,01M + 63,00M^2 - 22,23M^3 + 3,55M^4 - 0,17M^5,$$

где M – твердость по шкале Мооса.

Как правило, увеличение твердости минералов приводит к уменьшению производительности по вновь образованному классу, например, -0,05 мм. В итоге увеличение поверхностной энергии частиц происходит за счет механической работы, не приведшей к разрушению, т.е. E_d .

Поверхностная энергия частиц, появляющаяся вследствие их обработки, ускоряет многие технологические процессы. В частности, экстракция металлов из руд при выщелачивании ускоряется в 4-6 раз[1].

К другим положительным свойствам, которые материалы приобретают вследствие механоактивации, можно отнести увеличение прочности закладки подземных выработок при использовании, например, хвостов обогатительных фабрик, подвергавшихся механическому нагружению в измельчительных аппаратах. Это обстоятельство позволяет сократить количество цемента, которое должно быть использовано для приготовления закладочной шихты. Имеются данные о повышении активности вяжущих веществ после их механической обработки. В частности, цемент, хранившийся длительной время на складе, но прошедший механоактивацию, обладал вяжущими свойствами, характерными для цементов более высоких марок.

Использование хвостов обогащения для закладки выработанных пространств решает одновременно технологические задачи, связанные с повышением коэффициента выемки рудной массы, и экологические проблемы хранения и изоляции отходов, содержащих соединения тяжелых металлов, соединения серы, мышьяка и других элементов. В ряде случаев закладке должно предшествовать доизвлечение металлических составляющих, которые вследствие естественного выщелачивания могут в дальнейшем ослаблять прочность закладки.

Литература

1. Молчанов В.И., Юсупов Т.С. Физические и химические свойства тонкодиспергированных материалов. – М.: Недра, 1981. – 160 с.

УДК 519.22:622

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ПОГРУЗОЧНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С КРУПНОКУСКОВОЙ СРЕДОЙ

Хазанович Г.Ш., Ревякина Е.А.

В истории создания методов определения сопротивлений внедрению и

зачерпыванию можно выделить два направления. Это разработка эмпирических формул на основании экспериментального изучения влияния основных факторов и теоретических методов, основывающихся на изучении физических явлений взаимодействия ковшового погрузочного органа с сыпучим материалом, их физической интерпретации и математического описания изучаемых процессов.

К основным зависимостям, характеризующим рабочий процесс ковшового погрузочного органа относятся следующие:

Зависимость сопротивлений внедрению от глубины внедрения $W_{\text{вн.}}=f(s)$;

Зависимость максимального момента сопротивления зачерпывания от глубины внедрения $M_{\text{зач. max}}=f(s)$;

Зависимость момента сил сопротивления от угла поворота ковша $M_{\text{зач.}}=f(s)$;

Зависимость объема разового наполнения от глубины внедрения $V=f(s)$.

К настоящему времени выполнен значительный объем экспериментальных и теоретических исследований, направленных на изучение рабочих качеств погрузочных машин. Особенно большой вклад в развитие погрузочных машин и создание теории машинной погрузки был внесен лабораторией механизации горных работ под руководством Г.В. Родионова. Его сотрудниками А.Д. Костылевым, П.А. Михиревым, К.С. Гуроковым рассматривались вопросы изучения физических процессов, происходящих в области контакта ковша с сыпучим грузом, определении основных закономерностей и расчетных зависимостей при рабочем взаимодействии ковша со штабелем насыпного груза.

Поэлементное исследование процесса взаимодействия ковша с сыпучим материалом было впервые осуществлено Н.В. Строговым. Им же впервые произведена попытка использования методов статики сыпучей среды для описания процессов зачерпывания. Многие результаты, им полученные, как и применявшиеся методы исследования, явились большим вкладом в дело изучения процессов погрузки. Вместе с тем, недостаточная изученность особенностей процесса обусловила неточную постановку и решение задачи по определению сопротивлений зачерпывания теоретическим путем.

Вопросы теории процесса взаимодействия ковша с породой рассматриваются также в работах О.Д. Гагина [1]. Автором сформулирован механизм взаимодействия вертикальной и наклонной боковых стенок с сыпучим материалом, предложены расчетные схемы для определения сопротивлений внедрению и решены теоретические задачи, которые позволили учитывать влияние высоты и угла линии откоса и штабеля на сопротивления внедрению.

Наиболее полное описание механизма взаимодействия ковша с породой было дано Г.В. Родионовым. Им на основе большого объема экспериментальных исследований, выполненных на модельных установках, была предложена формула для определения сопротивлений внедрению:

$$W_{\text{вн.}}=K_{\text{вн.}}*S^n, \quad (1)$$

где $K_{\text{вн.}}$ – обобщенный коэффициент влияния условий погрузки: вида груза, угла наклона почвы, высоты штабеля и др.; n – показатель степени; S – глубина внедрения.

Согласно формуле (1) зависимость $W_{\text{вн.}}=f(s)$ нелинейная и имеет вид степенной функции с показателем степени, равным 1,25. В работах В.А. Федор-

чук и Б.П. Семко, в которых исследуется влияние на сопротивления внедрению режимов, скорости внедрения и других факторов, указывается, что показатель степени в зависимости $W_{вн.}=f(s)$ может колебаться в пределах от 1,3 до 2,2. Эти значения зависят от условий проведения эксперимента и конструктивных размеров исследуемых ковшей.

Для создания эмпирической формулы, описывающей процессы, происходящие при погружении ковша в штабель на определенную глубину, были произведены экспериментальные исследования. На их основе был построен график, отображающий снятые с осциллографа и рассчитанные данные.

В результате были получены ломаные линии, где зависимости между усилием и глубиной между точками для каждого опыта усреднены. Весь график (рис.1) представляет собой пучок линий, в котором заключена общая закономерность изменения усилия сопротивления породы от глубины внедрения ковша.

Для численного выражения этой закономерности было определено среднее значение усилия для глубины, начиная с 0,10 до 0,60 с интервалом 0,05м. Было рассчитано среднее квадратичное отклонение опытных точек от среднего арифметического и ошибка определения среднего арифметического.

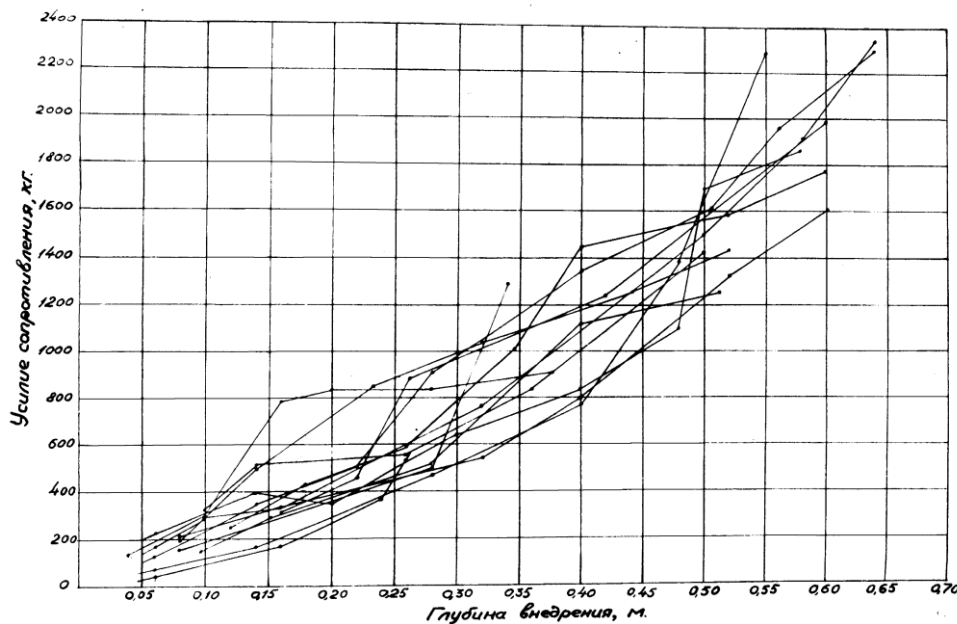


Рис. 1. График зависимости усилия внедрения от глубины внедрения

По имеющимся средним точкам и их ошибкам было выведено эмпирическое выражение, удовлетворительно описывающее зависимость силы сопротивления от глубины внедрения.

По такой методике были определены зависимость максимального момента сил сопротивления зачерпывания от глубины внедрения и зависимость объема разового наполнения от глубины внедрения.

Проанализировав эти методики расчета можно предположить, что они обладают погрешностями. Суть их заключается в том, что все базовые зависимости строились по усредненным данным и расчет велся по детерминированным моделям. На самом деле по результатам исследований О.Д. Гагина, Н.Н. Симонова [2], В.Г. Сильня [3] и т.д. каждая реализация имеет случайный стоха-

стический характер. Ее вид зависит от материала, вступающего во взаимодействие с машиной. Если материал мелко кусковый, то изменения, как по виду, так и по результатам расчета будут незначительны, если же взаимодействие происходит с крупно кусковым материалом, то изменения на графиках становятся очевидными.

В период создания основных базовых зависимостей из-за отсутствия математического аппарата необходимого и доступного для реальных расчетов учесть эти отклонения было затруднительно.

На данном этапе развития науки, аппаратного и программного обеспечения, возможно провести научное исследование, цель которого уточнить методику расчета производительности и нагрузок погрузочных и транспортных машин на основе реального стохастического вероятностного представления закономерности процесса взаимодействия.

Литература

1. Гагин О.Д. Исследование процессов взаимодействия ковшового погрузочного органа со штабелем сыпучего материала: Дис. ... канд. техн. наук. Защищена 12.01.66, утв. 18.05.66. – Новочеркасск, 1965. – 217 с.
2. Гагин О.Д., Иванов Н.Н., Симонов Н.Н. Определение сопротивлений внедрению ковша в штабель крупнокусового материала // Вопросы теории и расчета подъемно-транспортных машин: Тр. Новочеркас. политехн. ин-та (НПИ). – Новочеркасск: РИО НПИ, 1969. – Т. 186. – С. 71-74.
3. Сильня В.Г., Гагин О.Д., Хазанович Г.Ш. Экспериментальное исследование модели ковшового погрузочного органа в условиях уклонной выработки // Тр. Новочеркасск. политехн. ин-та. – Новочеркасск, 1965. – Т. 130. – С. 19-34.

УДК 631.311.6

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФРЕЗЕРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА С ПОЧВОЙ

Максимов В.П.

Основным источником возмущения для почвообрабатывающих машин является процесс взаимодействия рабочего органа с почвой. Известные выражения для определения нагрузок на фрезерном рабочем органе базируются на формуле В. П. Горячкина, в которой в качестве основного члена используется коэффициент удельного сопротивления. Достаточная точность при этом достигается только при получении численных значений коэффициентов в идентичных по геометрии, кинематике и режимах работы условиях. Следует отметить, что понятие "удельного коэффициента" не дает возможности вскрыть физическую сущность процессов, что затрудняет поиск рациональных решений. Методы основанные на механике грунтов позволяют получать строгие аналитические зависимости, учитывающие в том числе форму рабочего органа и скорость его перемещения. Однако ввиду сложности получены только некоторые частные решения.

Рассмотрим схему взаимодействия фрезерного рабочего органа при по-

ложении оси его вращения в вертикальной плоскости, которая может иметь место при работе фрезерных каналокопателей, каналочистителей или некоторых типов подпоровых фрезерователей. Применение метода механики грунтов для этого случая возможно при некоторых допущениях:

- почва представлена в виде сплошной сыпучей среды, обладающей одинаковыми свойствами в различных направлениях и характеризуемой следующими параметрами: плотностью - γ ; углом внутреннего трения - ρ ; сцеплением - C . Рассматривается несвязная среда, у которой $C=0$;

- в связи с доминирующим влиянием окружной скорости и предположении о прямолинейном равномерном движении тяговой машины, поступательная скорость рабочего органа не учитывается;

- исходя из предположения, что рабочая поверхность ножа фрезы не должна препятствовать относительному движению почвы, профиль рабочей поверхности принимается по уравнению логарифмической спирали $r = r_0 \cdot e^{k\theta}$;

- при движении фрезерного органа в рассматриваемой среде перед его рабочей поверхностью образуется ядро уплотнения, имеющее в сечении форму треугольника со сторонами, образованными рабочей поверхностью, плоскостью вращения нижней кромки фрезы и поверхностью сдвига, наклоненной к рабочей поверхности под некоторым углом ε . Такой характер взаимодействия позволяет представить поверхность сдвига ядра уплотнения наклонной подпорной стенкой и определить силы давления сыпучей среды на эту стенку по методу Кулона.

Силы сопротивления, действующие на элемент dl наклонной подпорной стенки (рис.1б) можно определить исходя из известной формулы [1], с учетом дополнительной силы трения нижней грани ядра уплотнения по грунту - $dF_{тр}$ и угла между плоскостью вращения фрезы и поверхностью почвы в рассматриваемом сечении - β (рис.1а).

$$dQ^* = \lambda \cdot \frac{\gamma \cos \delta \cdot h_{\phi}^2}{2} \cdot \left[1 + \frac{2h_0}{h_{\phi}} - \frac{1}{1 + \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \beta} \right] \cdot dl, \quad (1)$$

$$\text{где } \lambda = \frac{\cos^2(\rho + \varepsilon)}{\left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\rho + \rho_0) \cdot \sin(\rho + \beta)}{\cos(\varepsilon - \rho_0) \cdot \cos(\varepsilon - \beta)}} \right]^2 \cdot \cos^2 \varepsilon \cdot \cos(\varepsilon - \rho)}; \quad (2)$$

γ - плотность; h_{ϕ} - вертикальная проекция подпорной стенки, равная высоте рабочего органа; h_0 - высота слоя материала над рабочим органом; ε - угол наклона подпорной стенки; ρ - угол внутреннего трения грунта; ρ_0 - угол трения грунта о рабочую поверхность; β - угол между плоскостью вращения и поверхностью почвы в рассматриваемом сечении.

Силы сопротивления, действующие на элемент рабочей поверхности фрезерного органа, складываются из горизонтальной составляющей силы dQ^* и силы трения ядра уплотнения по грунту, равной произведению коэффициента

трения на нормальную реакцию $dQ = dQ^* \cdot \cos(\varepsilon - \rho) + f dQ^* \cdot \sin(\varepsilon - \rho)$.

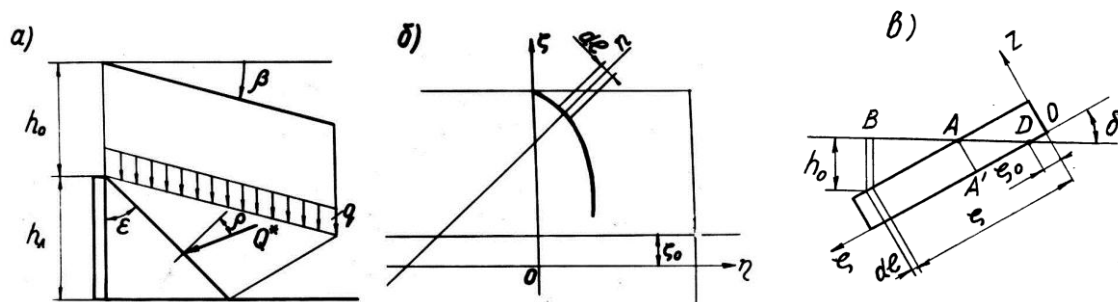


Рис.1. Схема для определения сил статического сопротивления, действующих на элемент рабочей поверхности.

Учитывая, что $f = \operatorname{tg} \rho$ и проводя преобразования, окончательно получим

$$dQ = dQ^* \cdot \frac{\cos(2\rho - \varepsilon)}{\cos \rho}. \quad (3)$$

Для определения угла между плоскостью вращения рабочего органа и поверхностью почвы расположим на горизонтальной плоскости P_1 систему координат $OXYZ$. К плоскости P_1 под углом δ проведем плоскость P_2 так, чтобы линия пересечения плоскостей совпадала с осью Y . Через ось Z проведем вертикальную секущую плоскость P_3 под некоторым углом β между прямыми L_1 и L_2 , образованными в результате пересечения плоскостей P_3 с P_2 и P_3 с P_1 соответственно (рис.2).

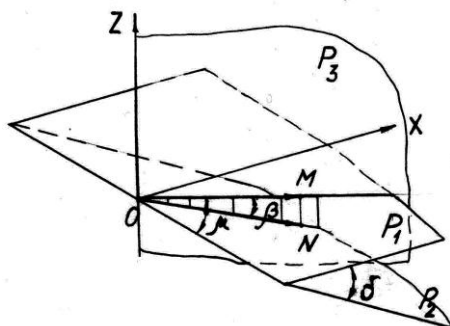


Рис.2. Определение угла наклона поверхности штабеля к горизонту

Запишем уравнения этих прямых в системе координат $OXYZ$, Определим координаты векторов OM и ON и с учетом формулы угла между двумя векторами окончательно получим

$$\begin{aligned} \cos \beta &= \frac{\operatorname{tg} \mu + \operatorname{ctg} \mu}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \mu} + \operatorname{tg}^2 \delta \cdot \sqrt{\operatorname{tg}^2 \mu + 1}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta \cdot \sin^2 \mu}}; \\ \sin \beta &= \frac{\operatorname{tg} \delta \cdot \sin \mu}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta \cdot \sin^2 \mu}}; \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \delta \cdot \sin \mu. \end{aligned} \quad (4)$$

Для определения момента статического сопротивления рабочего органа свяжем подвижную систему координат $OXYZ$ с вращающимся рабочим органом таким образом, чтобы конечная точка исполнительного органа лежала на оси Y .

Профиль задаем в виде логарифмической спирали уравнением $r = r_0 e^{k\theta}$, принимая ось X за полярную ось. Тогда положение каждого элемента рабочего органа в системе координат $OXYZ$ определится радиус вектором r и полярным углом θ (рис.3).

Момент статического сопротивления равен сумме всех моментов от сил статического сопротивления dQ , действующих на элементарные участки рабочей поверхности органа dl и момента от силы трения T_1 боковой поверхности ядра уплотнения о неподвижную часть массива.

$$M_{CT} = \int_{\theta(l)}^{\theta_2(l)} h_1 \cdot dQ \cdot dl + T_1 \cdot h_2. \quad (5)$$

Плечо сил $dQ = h_1 = r \sin(\alpha + \rho_0)$, а плечо силы трения $T_1 - h_2 = R \cdot \sin \alpha$, где R – заданный радиус вращения рабочего органа; α – угол между радиусом вектора r и осью $n - n$.

Угол α соответственно (рис.3) равен $\alpha = \theta - \psi$, где ψ – угол наклона касательной к оси Y .

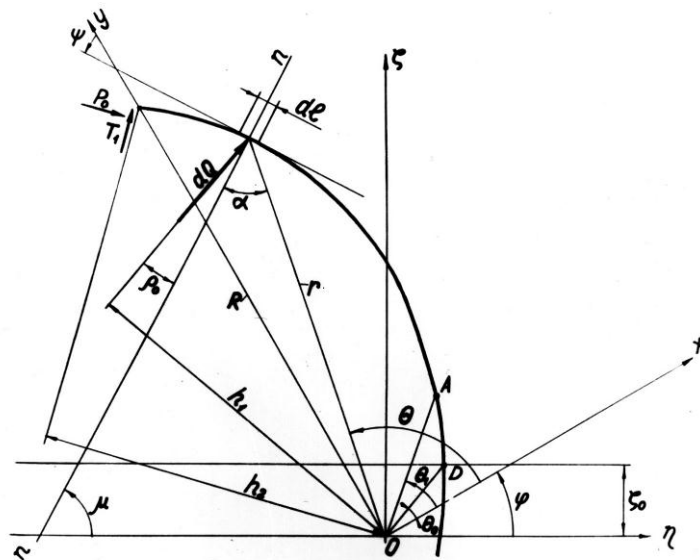


Рис.3. Схема к определению момента статического сопротивления

Известно, что тангенс угла наклона касательной, положительное значение которого отсчитывается от оси Y , равен производной от уравнения кривой, заданной в декартовых координатах: $-\operatorname{tg} \psi = dx/dy$. Найдем этот угол, выражая дифференциалы dx и dy через дифференциалы радиус вектора dr и полярного угла $d\theta$, с помощью формул преобразования декартовых координат в полярные. После ряда преобразований окончательно получим:

$$\frac{d\theta}{dy} = \frac{\sin v \cdot \cos \theta - \cos v \cdot \sin \theta}{\sin v \cdot \cos \theta + \cos v \cdot \sin \theta} = \frac{\sin(v - \theta)}{\cos(v - \theta)} = \operatorname{tg}(v - \theta) \text{ или } -\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg}(v - \theta), \text{ отсюда} \quad (7)$$

$$-\psi = v - \theta. \quad (7)$$

Подставляя значения угла ψ из (7) в (6) имеем $\alpha = v$. (8)

Угол μ выражается через угол поворота полярной оси φ и углы α и θ :

$$\mu = \theta + \varphi - \alpha. \quad (9)$$

Дифференциал дуги dl , если кривая задана уравнением в полярных координатах, можно выразить через следующее известное выражение: $dl^2 = r^2 \cdot d\theta^2 + dr^2$

$$\text{или } dl^2 = R^2 \cdot e^{2k(\theta-\pi/2)} \cdot d\theta^2 + k^2 \cdot R^2 \cdot e^{2k(\theta-\pi/2)} \cdot d\theta = R^2 \cdot e^{2k(\theta-\pi/2)} (k^2 + 1) \cdot d\theta^2$$

$$\text{Окончательно имеем } dl = R \cdot e^{k(\theta-\pi/2)} \cdot \sqrt{k^2 + 1} \cdot d\theta. \quad (10)$$

Подставляя в выражения (2) и (1) значения угла β из (4) с учетом формул (9) и (10) и проведя преобразования, получим выражение сил сопротивления, действующих на элемент рабочей поверхности фрезерного органа

$$dQ^* = \frac{\lambda \gamma \cos \delta \cdot h_\phi^2}{2} \cdot \left[1 + \frac{2h_0}{h_\phi} \cdot \frac{1}{1 + \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \sin(\theta + \varphi - \nu) \cdot \operatorname{tg} \delta} \right] \times \quad (11)$$

$$\times R e^{k(\theta-\pi/2)} \cdot \sqrt{k^2 + 1} \cdot d\theta$$

$$\lambda = \frac{\cos^2(\rho + \varepsilon)}{\left[1 - \sqrt{\frac{\sin 2\rho \cdot \sin \rho (1 + \sin(\theta + \varphi - \nu))}{\cos(\varepsilon - \rho) \cdot (\cos \varepsilon + \sin \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \sin(\theta + \varphi - \nu))}} \right]^2} \times$$

где

$$\times \frac{1}{\cos^2 \varepsilon \cdot \cos(\varepsilon - \rho)}.$$

$$(12)$$

Высота слоя материала над элементом рабочего органа определяется согласно схеме рис.1в, из треугольника ABC

$$h_0 = (\zeta - \zeta_0 - h_\phi \cdot \operatorname{ctg} \delta) \cdot \cos \delta, \quad (13)$$

где ζ_0 - ордината, определяющая положение линии сопряжения поверхности почвы с плоскостью вращения рабочего органа; ζ - ордината, определяющая величину заглубления элемента рабочего органа в массив почвы.

Следует отметить, что для определения сил сопротивления формула (11) справедлива для элементов рабочего органа, которые полностью находятся в разрабатываемой почве. Граница ее действия определяется точкой пересечения верхнего ребра рабочего органа со свободной поверхностью почвы (рис.1в, точка А). Этому положению соответствует значение полярного угла θ_1 , которое можно определить из выражения:

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} + \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{\zeta_0 + h_\phi \cdot \operatorname{ctg} \delta}{R \cdot \sin(\theta_1 + \varphi)}. \quad (14)$$

Для определения сил сопротивления, действующих на элемент рабочего органа, лежащий между точкой А и точкой пересечения нижнего ребра со свободной поверхностью (рис.1в, точка D) и испытывающий только боковое давление необходимо заменить в формулах (1) и (2) высоту исполнительного органа h_ϕ на высоту почвы перед элементом рабочего органа h . При этом $h_0 = 0$, а h определяется из выражения:

$$h = [R e^{k(\theta-\pi/2)} \cdot \sin(\theta + \varphi) - \zeta_0] \cdot \operatorname{tg} \delta. \quad (15)$$

Значение полярного угла θ , соответствующего точке пересечения нижне-

го ребра рабочего органа со свободной поверхностью почвы, определяем из выражения: $\operatorname{Re}^{k(\theta-\pi/2)} \cdot \sin(\theta_0 + \varphi) = \zeta_0$,

$$\text{откуда } \theta_0 = \frac{\pi}{2} + \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{\zeta_0}{R \cdot \sin(\theta_0 + \varphi)}. \quad (16)$$

Таким образом, разделяя переменные в выражении (5), получим два интеграла с соответствующими пределами интегрирования.

$$\int_{\theta_0(l)}^{\theta_2(l)} h_1 dQ dl = \int_{\theta_1(l)}^{\theta_2(l)} h_1 dQ dl + \int_{\theta_0(l)}^{\theta_1(l)} h_1 dQ dl, \quad (17)$$

$$\text{где } dQ_1 = \lambda \cdot \frac{\gamma \cdot \cos \delta h^2}{2} \cdot \frac{\cos(2\rho - \varepsilon)}{\cos \rho} \cdot dl \quad (18)$$

при h определяемом из выражения (15), а λ из выражения (12).

Сила трения T_1 равна произведению коэффициента трения на равнодействующую сил бокового давления массива, действующих на боковую поверхность ядра уплотнения $T_1 = \operatorname{tgr} \cdot P_0 \cdot \cos \delta$,

$$\text{где } P_0 = \gamma h \cdot \operatorname{tge} \cdot \frac{h_\phi^2}{6} \cdot (H - h_\phi). \quad (19)$$

Таким образом получены все составляющие выражения (5). Окончательно выражение момента статического сопротивления, приведенного к центру вращения рабочего органа имеет вид:

$$\begin{aligned} M_{\text{СТ}} = & \frac{\gamma \cdot \cos \delta}{2} \cdot \frac{\cos(2\rho - \varepsilon)}{\cos \rho} \cdot R^2 \cdot \int_{\theta_0}^{\theta_1} h^2 \cdot \lambda \cdot \sin(v + \rho_0) \cdot e^{2k(\theta-\pi/2)} \cdot \\ & \cdot \sqrt{k^2 + 1} \cdot d\theta + \frac{\gamma \cdot \cos \delta \cdot h_\phi^2}{2} \cdot \frac{\cos(2\rho - \varepsilon)}{\cos \rho} \cdot R^2 \cdot \\ & \cdot \int_{\theta_1}^{\pi/2} \left[1 + \frac{2h_0}{h_\phi} \cdot \frac{1}{1 + \operatorname{tge} \cdot \sin(\theta + \varphi - v) \cdot \operatorname{tg} \delta} \right] \cdot \lambda \cdot \sin(v + \rho_0) \cdot e^{2k(\theta-\pi/2)} \cdot \\ & \cdot \sqrt{k^2 + 1} \cdot d\theta + \frac{1}{6} \gamma \cdot n \cdot \operatorname{tge} \cdot \cos(H - h_\phi) \cdot \operatorname{tgr} \cdot R \cdot \sin v. \end{aligned} \quad (20)$$

При движении погрузочного органа на элемент ядра уплотнения наряду с силой статического сопротивления действуют силы (рис.5):

dF_e^w - переносной силы инерции; dF_c - кориолисовой силы инерции; dP_1 - элементарной силы, возникающей вследствие действия сжимающих элемент усилий P (проекция равнодействующих сил P и $P+dP$ на касательную плоскость); dT - сил трения элемента по рабочей поверхности исполнительного органа.

Переносная dF_e^w и кориолисова dF_c силы инерции определяются из известных выражений:

$$dF_e^w = \omega^2 r \cdot dm; \quad dF_c = 2dm \cdot \omega V_r \cdot \sin(\overline{\omega}, \overline{V_r}),$$

где dm - масса элемента ядра уплотнения, ω - угловая скорость исполнительного

органа, V_r - относительная скорость ядра уплотнения,

$$V_r = V_e \cdot (\cos v - f \cdot \sin v),$$

(21)

где V_e - переносная скорость.

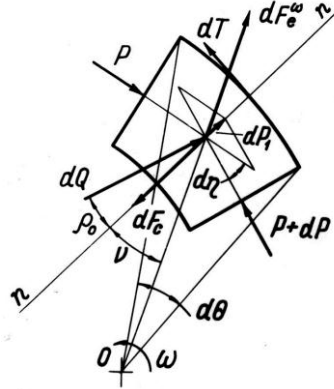


Рис.4. Схема для определения сил, действующих на элемент ядра уплотнения при движении

Движению ядра уплотнения по рабочей поверхности препятствуют силы трения. Результирующее нормальное давление, прижимающее элемент к поверхности, равно

$$dN = dQ \cdot \cos \rho_0 + dF_e^w \cdot \cos v - dF_c. \quad (22)$$

Нормальное давление dN вызывает силу трения $dT_1 = f \cdot dN$.

Сжимающие ядро усилия P и dP , действующие на концевых сечениях выделенного элемента, вызывают появление дополнительного давления dP_1 , которое равно $dP_1 = P \cdot d\eta$. Это давление создает дополнительную силу трения $dT_2 = f \cdot dP_1$.

Кроме того, полное усилие, сжимающее ядро уплотнения, увеличивается за счет касательной составляющей центробежной силы инерции. Таким образом, полное приращение сжимающего усилия будет равно

$$\begin{aligned} dP &= dT_1 + dT_2 + dF_e^w \cdot \sin v = \\ &= f \left(Q' \cdot \cos \rho_0 - F_c' + F_e^w' \cdot \cos v \mp \left(1 + \frac{\operatorname{tg} v}{f} \right) + P \eta' \right) d\theta. \end{aligned} \quad (23)$$

Решение дифференциального уравнения (23) имеет вид:

$$P = e^{f \cdot \theta} \cdot \left(f \cdot \int_0^\theta e^{-f \cdot \theta} \cdot \varepsilon(\theta) d\theta + P_0 \cdot e^{f \cdot \pi/2} - \int_0^{\pi/2} e^{f \cdot \pi/2} \cdot \varepsilon(\theta) d\theta \right).$$

Момент на погрузочном органе от сил динамического сопротивления определяется как сумма моментов от сил, действующих в нормальной и касательной плоскостях к поверхности рабочего органа.

$$\begin{aligned} M_g &= \int_{\theta_0}^{\pi/2} (-F_c' + P) \cdot R \cdot \frac{k}{\sqrt{k^2 + 1}} \cdot e^{k(\theta - \pi/2)} d\theta + \\ &+ f \cdot \int_{\theta_0}^{\pi/2} (-F_c' + F_e^w' + P) \cdot R \cdot \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} \cdot e^{k(\theta - \pi/2)} d\theta, \end{aligned} \quad (24)$$

где $F_c' = \gamma h_\phi^2 \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \omega V_r \operatorname{Re}^{k(\theta - \pi/2)} \sqrt{k^2 + 1}$; $F_e' = \frac{1}{2} \gamma h_\phi^2 \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \omega^2 R^2 e^{2k(\theta - \pi/2)} \sqrt{k^2 + 1}$.

Разработанный аналитический метод расчета момента сопротивления на рабочем органе устанавливает зависимость момента сопротивления от физико-механических свойств разрабатываемой почвы, скорости перемещения, а также профиля рабочей поверхности рабочего органа.

Литература

1. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. – М.: Стройиздат, 1977. – С. 256.

346428 г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111, НГМА, каф. АПМиО, т. 29-625.

e-mail: v_maximov@mail.ru

УДК 631.626

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ДРЕНАЖА В ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ

Михеев А.В., Долматов Н.П.

Предлагаемая математическая модель разработана для обеспечения высокой экономической эффективности производства работ по очистке дренажа на оросительных системах Северного Кавказа.

При очистке закрытого горизонтального дренажа на оросительных системах Северного Кавказа выполняется целый ряд технологических операций, каждая из которых должна осуществляться с помощью специальных орудий во взаимной их увязке. При этом машины для очистки в звене должны быть подобраны и увязаны между собой так, чтобы при полной их загрузке обеспечивалась наименьшая стоимость работ, оптимальная продолжительность очистки и наибольшая производительность труда с учетом местных хозяйственных и природных условий.

Под комплектом машин в звене по очистке ЗГД (закрытый горизонтальный дренаж) понимают совокупность машин, необходимых для выполнения всех технологически взаимосвязанных между собой очистительных процессов и соответствующих друг другу по производительности. Такой метод организации и производства работ называют поточным. При этом методе все операции выполняются равномерно и непрерывно с постоянным числом и составом рабочих и механизмов, и в определенный отрезок времени выпускается постоянное количество готовой продукции. Однако, число типов и марок машин в комплекте должно быть минимальным. При этом производительность машин, занятых на выполнении не ведущих операций, должна быть достаточной для обеспечения непрерывной работы ведущей (ведущих) машины в комплекте. При этом ведущая машина должна работать не на предельных рабочих параметрах, так как это приводит к снижению производительности и быстрому износу узлов и деталей ведущей машины.

В качестве комплектующих машин необходимо, по возможности, ис-

пользовать такие, которыми можно было бы выполнять несколько ведущих операций по очистке ЗГД. В таблице 1 приведен рекомендуемый перечень машин для комплектования звена по очистке закрытого горизонтального дренажа на оросительных системах Северного Кавказа при эксплуатации его по усовершенствованной низконапорной технологии без отрывки дополнительных шурфов по трассе дрены.

Процесс подбора и комплектования машин в звене сложен, неоднозначен и не может быть выполнен сразу без уточнения и оценки возможных вариантов. При этом расчет комплекта машин в звене может осуществляться либо с учетом только машин и механизмов, имеющих в организации по эксплуатации закрытого горизонтального дренажа, либо исходя из возможности применения любых необходимых машин, выпускаемых промышленностью (или, с учетом возможного их приобретения в других организациях во временное пользование).

Таблица 1

Рекомендуемый состав парка машин в звене по очистке ЗГД на оросительных системах Северного Кавказа

№	Наименование орудия	Тип орудия	Марка орудия	Кол-во
1	Дренопромывочная машина	Низконапорная	АДПН-250	1
2	Трактор	Колесный	МТЗ-80	2
3	Кран	Автомобильный	КС-2561	1
4	Цистерна	Полуприцепная, колесная	ВУ-3	2
5	Прицеп	Колесный	ПТС-4М	1

Выбор машин, их комплектование и формирование парка машин следует проводить на основе оптимизации решений с использованием экономико-математических методов и ЭВМ.

Выбор ведущей машины в звене по очистке ЗГД осуществляют на основе технико-экономического обоснования как самого способа ухода, так и дренопромывочной машины.

Целью проведения технико-экономического обоснования является выбор оптимального комплекта машин, обеспечивающего минимальные затраты, которые могут быть записаны выражением:

$$Z_{\pi} = C_{dj} + E_n \sum_{i=1}^n \frac{U_{0j} \cdot T_i}{T_{гj} \cdot \Pi_{дг}} = \left(C_{dj} + E_n \sum_{i=1}^n K_k^y \cdot k_b \right) \rightarrow \min \quad (1)$$

где Z_{π} - удельные приведенные затраты; C_{dj} - себестоимость очистки ЗГД комплектом машин по j-му варианту; E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; U_{0j} - балансовая стоимость i-ой машины в комплекте, принимаемой по j-му варианту; T_i - фактическое число смен работы i-ой машины комплекта в звене на участке по очистке ЗГД принятое по j-му вариан-

ту; $T_{гi}$ - число смен работы i -ой машины в году, принимаемое по нормативу; $\Pi_{дг}$ - годовая выработка дренапромывочной машины; K_k^y - удельные капитальные вложения в комплекте машин; k_b - коэффициент использования машин по времени; n - число типов машин в комплекте; j - вариант комплекта; i - вариант машины в комплекте.

Стоимость работ, выполняемых с помощью машин, состоит из постоянных, единовременных и эксплуатационных расходов. Стоимость машино-смен каждой дренапромывочной машины определяют по формуле:

$$A_{см.i} = \frac{\Pi_{гi}}{T_{гi}} + \frac{E_{0i}}{T_{п.i}} + \mathcal{E}_p, \quad (2)$$

где $\Pi_{гi}$ - годовые постоянные расходы, включающие оплату стоимости i -ой машины, ее капитальный ремонт и содержание базы механизации; E_{0i} - единовременные расходы, включающие транспортировку i -ой машины на объект, монтаж и демонтаж ее рабочего оборудования; $\mathcal{E}_p$ - эксплуатационные расходы, включающие заработную плату машинистов, расходы на текущий ремонт, горюче - смазочные и обтирочные материалы; на замену быстроизнашивающихся деталей; $T_{гi}$, $T_{пi}$ - число смен работы i -ой машины в году и ее работы на данном объекте.

Из формулы (2) видно, что чем больше каждая машина комплекта имеет рабочих смен в году, тем меньше будет стоимость одной ее машино-смены. Эксплуатационные расходы также уменьшаются при сокращении сроков очистки ЗГД и более высоком КПД машин.

При увеличении производительности дренапромывочной машины и уменьшении стоимости каждой машино-смены, себестоимость очистки ЗГД уменьшается.

Это видно из следующей формулы:

$$C_{дj} = \frac{k_{н.э.} \sum_{i=1}^n A_{смi} \cdot N_i + k_{н.з.} \sum_{i=1}^m 3_p}{\Pi_{см.д}}, \quad (3)$$

где $k_{н.э.}$, $k_{н.з.}$ - коэффициент накладных расходов на затраты по эксплуатации машин и заработную плату рабочих; N_i - число машин i -го типа в комплексе; 3_p - заработная плата рабочих за смену; $\Pi_{см.д}$ - сменная производительность дренапромывочной машины; m - число рабочих работающих в смену.

При оптимизации комплексов машин или их сравнении можно пользоваться приведенной себестоимостью очистки ЗГД, определяемой по формуле:

$$C_{дj}^{пр} = \frac{\sum_{i=1}^n \Pi_{гi} + E_n \sum_{i=1}^n K_k^y}{\Pi_{гд}} + \left(\sum_{i=1}^n \frac{E_{0i}}{T_{пi}} + \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_p + \sum_{i=1}^m 3_p \right) \frac{1}{\Pi_{см.д}} \rightarrow \min \quad (4)$$

При составлении модели комплекса машин исходили из следующих соображений.

Рассматриваемая функция (1) обладает свойством медленно изме-

няться в области минимума при значительных изменениях независимого переменного. С практической точки зрения представляет интерес не точка минимума, а область минимума с учетом допустимой точности результатов подсчета. В ряде случаев для формирования j -го варианта комплекса дренапромывочных машин приведенные затраты могут оказаться минимальными, а трудоемкость и продолжительность работ большими, чем по другим вариантам. Поэтому предпочтение необходимо отдавать тому j -му варианту, при котором и трудоемкость и сроки производства работ будут минимальными.

На границы области минимума существенно влияют не только стоимостные величины каждой i -той машины комплекса, но и величины от них не зависящие.

Для получения устойчивой производительности дренапромывочной машины (основной машины комплекса), необходимо использование постоянного комплекса вспомогательных машин. Этим достигается их взаимозаменяемость, простота в решении организационных вопросов, удобства технического обслуживания, эксплуатации и ремонта.

Литература

1. Кравченко Р.Г. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1978. – 424 с.
2. Кравченко Р.Г. и др. Экономико-математические методы в организации и планировании сельскохозяйственного производства. – М.: Колос, 1973. – 528 с.
3. Спиридонов А.А., Васильев Н.Г. Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов. – Свердловск: УПИ, 1975. – 149 с.
4. Хинчик А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания. – М.: Изд. физ.-мат. лит., 1963. – 259 с.
5. Конторер С.Е. Методы обоснования эффективности применения машин в строительстве. – М.: Стройиздат, 1969. – 293 с.

346428 г. Новочеркасск, ул. Пушкинская 111, НГМА, каф. АПМ, т. 2-96-25

УДК 687.016.023

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аникеева Л.В., Румянская Н.С., Саакян О.В.

Технологический процесс изготовления швейного изделия представляет собой обработку отдельных деталей и сборочных единиц (узлов) и их сборку в готовое изделие [1]. Выбор оптимального метода обработки каждого узла при заданном критерии определяет оптимальный технологический процесс в целом.

В том случае, когда производственные условия ограничены применением конкретного набора оборудования и технологических свойств пакета материалов, оптимизацию можно проводить по трудоемкости, без учета стоимости затрат на содержание и эксплуатацию оборудования, а также основных и вспо-

могательных материалов. При таких условиях выбор оптимального технологического процесса из имеющихся возможных вариантов можно сделать, используя средства и методы сетевого моделирования.

Схематическое описание проблемы выбора метода обработки узла с минимальной трудоемкостью удобно представить в виде ориентированного графа с вершинами-событиями и ребрами-работами. Событие в данном случае – это момент завершения некоторого этапа в обработке узла, а работа есть одна или несколько неделимых операций, предшествующих некоторому событию. Каждой работе-ребру поставлена в соответствие некоторая трудоемкость – вес ребра. Если работа определяется несколькими неделимыми операциями, то ее трудоемкость равна сумме трудоемкостей, составляющих ее операций. Среди событий сетевой модели должно иметься единственное начальное событие, которому не предшествуют никакие другие работы и события, и единственное завершающее событие, которое не имеет последующих работ и событий.

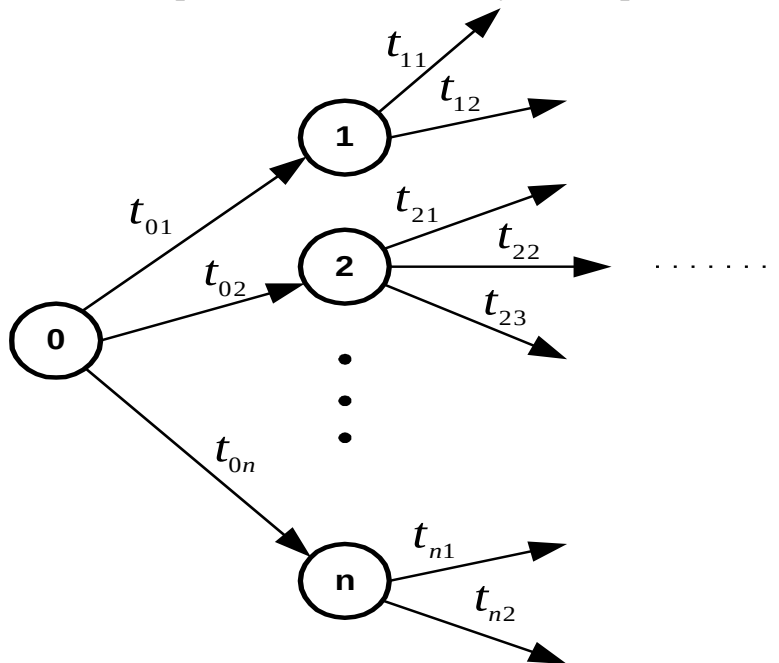


Рис.1

На рис.1 приведен пример фрагмента такого графа, где из начальной вершины с номером 0 выходят работы-стрелки, соединяющие начальное событие с одним из следующих за ним альтернативных событий с номерами 1, 2, 3, ..., n. Над ребрами графа указаны соответствующие каждой работе трудоемкости t_{01} , t_{02} , ..., t_{0n} и т.д. Расположение событий в сетевом графике определяется в соответствии с конкретной технологической последовательностью.

Задача поиска метода обработки узла с минимальной трудоемкостью сводится к задаче о нахождении кратчайшего маршрута от начальной вершины к конечной. Общая трудоемкость метода определяется как сумма весов ребер, образующих данный путь.

Учитывая, что рассматриваемых сборочных единиц, как правило, достаточно большое количество, и каждый сетевой график может содержать довольно много вершин, поиск оптимального решения в такой постановке имеет смысл проводить только с помощью компьютера.

Использование системы компьютерной алгебры WMaple V, которая имеет некоммерческую версию R4, дает прекрасную возможность специалисту-технологу, не владеющему навыками программирования, получить решение задачи с помощью пакета Networks, предназначенного для работы с сетевыми графиками. Поскольку такого рода задачи решаются на практике особенно часто, применение пакетов прикладных программ WMaple позволяет исключить достаточное количество «ручного» труда при проектировании технологических процессов на предприятиях, работающих с индивидуальным потребителем, а также при обучении студентов специальности «Технология швейных изделий». Системы автоматического проектирования технологических процессов изготовления швейных изделий являются слишком дорогими и применяются в основном на предприятиях массового производства.

Нами была решена задача выбора оптимальных по трудоемкости методов обработки мужских брюк из полшерстяной ткани при заданном парке оборудования. Технологический процесс изготовления брюк включал обработку 15 основных узлов. Был получен вектор решений $\bar{X}(X_1, X_2, \dots, X_{15})$, где X_i ($i = 1, 2, \dots, 15$) – метод обработки i -го узла, обеспечивающий наименьшую трудоемкость. Проведенный анализ решения показал, выбранный технологический процесс является эффективным и позволит изготовить изделие высокого качества.

Литература

1. Чекин А.В., Гудим И.В., Мурыгин В.Е., Буданова Т.И. Проектирование технологических процессов изготовления швейных изделий. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 128 с.
2. Карасев А.И., Кремер Н.Ш., Савельева Т.И. Математические методы и модели в планировании. – М.: Экономика, 1987. – 240 с.
3. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы и модели в управлении. – М.: Дело, 2000. – 440 с.

346527 г. Шахты Ростовской обл., ул. Шевченко 147, ЮРГУЭС, каф. математики, т. 20433
e-mail: saakyan@aport.ru

УДК 685.31.059

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМНО-СОРБЦИОННОГО УВЛАЖНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ОБУВИ

Ларина Л.В., Адигамов К.А.

Одним из перспективных способов увлажнения заготовок обуви из натуральной кожи перед их формованием на колодках является вакуумно-сорбционный [1]. Для определения продолжительности этого процесса, обеспечивающего максимально возможный привес влаги, разработана математическая модель вакуумно-сорбционного увлажнения, в основу которой положена гипотеза о том, что перенос влаги по микрокапиллярам кожи ($r < 10^{-7}$ м) происходит в газовой фазе эффузией. При разработке модели использован метод

капиллярных трубок, широко применяемый при изучении капиллярных процессов в обувных материалах.

Пусть в цилиндрической трубке длиной L в момент времени $\tau < 0$ нет молекул водяного пара и воздуха. В момент времени $\tau = 0$ убирается перегородка между одним из оснований трубки и резервуаром, содержащим водяной пар. Определим концентрацию водяного пара в трубке в момент времени $\tau > 0$, предполагая, что объем резервуара много больше объема трубки, а длина трубки намного больше ее поперечных размеров. В этом случае задачу можно считать одномерной. Начало координат расположим на границе между трубкой и резервуаром с парами воды. Ось x направлена в трубку. Тогда процесс проникновения водяных паров в трубку может быть описан уравнением диффузии [2]:

$$\frac{du}{d\tau} = D \frac{d^2 u}{dx^2}, \quad (1)$$

где $u(x, \tau)$ – концентрация паров воды, зависящая от расположения капилляра и времени увлажнения.

На границе между резервуаром и трубкой, т.е. при $x=0$, концентрация паров равна u_o . Так как объем резервуара по принятому нами условию много больше объема трубки, величину u_o можно считать постоянной. Получаем граничное условие:

$$u(0, \tau) = u_o \quad (2)$$

На другом конце трубки (при $x=L$) происходит отражение молекул воды (выполняется условие непроницаемости).

Математически это условие запишется в виде:

$$\left. \frac{du}{dx} \right|_{x=L} = 0 \quad (3)$$

Так как при $\tau = 0$ в трубке нет паров воды, то имеем:

$$u(x, 0) = 0, \quad (4)$$

где $0 \leq x \leq L$.

Решение уравнения (1) с краевыми условиями (2) и (3) и начальным условием (4) имеет вид:

$$u(x, \tau) = u_o - \frac{4u_o}{\pi} \sum_{K=0}^{\infty} \frac{1}{2K+1} \cdot e^{-\frac{(2K+1)^2 \pi^2 D \tau}{4L^2}} \cdot \sin \frac{(2K+1) \cdot \pi x}{2L} \quad (5)$$

Остаток данного ряда оценивается по формуле [3]:

$$\left| R_n(x, \tau) \right| < \frac{2u_o \cdot e^{-A_n^2}}{\pi \cdot A_n^2}, \quad (6)$$

где $A_n = \frac{(2n+1)\pi\sqrt{D\tau}}{2L}$.

Из формулы (6) следует, что при малых τ в уравнении (5) нужно учитывать значительное число членов ряда, затем по мере возрастания τ их число можно уменьшить и, наконец, при больших значениях τ в ряде можно учитывать один-два члена, а затем при максимальном значении τ ряд становится практически равным нулю, а концентрация паров всюду равной u_o .

При малых значениях τ вместо уравнения (5) удобнее воспользоваться решением, полученным в работе [4]:

$$u(x, \tau) = 2u_o \left[1 - \Phi\left(\frac{x}{\sqrt{2D\tau}}\right) + \Phi\left(\frac{x-2L}{\sqrt{2D\tau}}\right) \right], \quad (7)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{\alpha^2}{2}} \cdot d\alpha$ - интеграл вероятностей.

При $\tau < \tau_o = \frac{0,2L^2}{D}$ рекомендуется пользоваться уравнением (7), при $\tau \geq \tau_o$ - ниже приведенным уравнением:

$$u(x, \tau) = u_o - \frac{4u_o}{\pi} \left[e^{-\frac{\pi^2 D \tau}{4L^2}} \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{2L} + \frac{1}{3} e^{-\frac{9\pi^2 D \tau}{4L^2}} \cdot \sin \frac{3\pi \cdot x}{2L} \right] \quad (8)$$

Для дальнейшего анализа упростим уравнения (7) и (8) с помощью замены переменных

$$C_1 = \frac{2D}{L^2}, \quad C_2 = \frac{x}{L} \quad (9)$$

После преобразования уравнений (7) и (8) получаем:

$$\text{для } \tau < \tau_o \quad u(x, \tau) = 2u_o \left[1 - \Phi\left(\frac{C_2}{\sqrt{C_1}}\right) + \Phi\left(\frac{C_2-2}{\sqrt{C_1}}\right) \right], \quad (10)$$

для $\tau \geq \tau_o$

$$u(x, \tau) = u_o - \frac{4u_o}{\pi} \left[e^{-\frac{\pi^2 C_1}{8}} \cdot \sin \frac{\pi C_2}{2} + \frac{1}{3} \cdot e^{-\frac{9\pi^2 C_1}{8}} \cdot \sin \frac{3\pi \cdot C_2}{2} \right] \quad (11)$$

Как следует из анализа уравнений (10) и (11), концентрация паров является функцией только трех переменных - u_o , C_1 , C_2 , причем u_o является просто множителем.

Таким образом, концентрацию $u(x, \tau)$ можно выразить уравнением:

$$u(x, \tau) = u_o \cdot f(C_1, C_2),$$

где $f(C_1, C_2)$ – определяется либо уравнением (10), либо уравнением (11).

Из анализа функции $f(C_1, C_2)$, представленной в виде таблицы в работе [4], следует, что средняя концентрация паров воды в трубке, равная $u_o/2$, наступит через время τ :

$$\tau = 0,22 \frac{L^2}{D}, \quad (12)$$

а для создания 95% концентрации паров воды в трубке потребуется время:

$$\tau = 1,95 \frac{L^2}{D} \quad (13)$$

Длина капилляров хромовых кож толщиной 1,5 мм составляет 1,4-2,6 мм [5].

Коэффициент диффузии в газовой среде согласно элементарной кинетической теории газов определяется по формуле

$$D = \frac{1}{3} \bar{u} \bar{\lambda}, \quad (14)$$

где $\bar{u}$ – средняя скорость теплового движения молекул; $\bar{\lambda}$ – средняя длина свободного пробега молекул.

Величина $\bar{u}$ определяется по формуле [6]:

$$\bar{u} \approx 1,6 \sqrt{\frac{K \cdot T}{m}}, \quad (15)$$

где K – постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж / К}$; T – температура по Кельвину, равная при вакуумно-сорбционном увлажнении 323 К (50°C); m – масса молекулы воды, равная $29,9 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

$$\bar{u} \approx 1,6 \sqrt{\frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 323}{29,9 \cdot 10^{-27}}} = 6,17 \cdot 10^2 \text{ м / с}$$

В микрокапиллярах ($r < 10^{-7} \text{ м}$) средняя длина пробега $\bar{\lambda}$ молекулы пара в поперечном направлении равна примерно диаметру капилляра. Тогда коэффициент диффузии:

$$D = \frac{1}{3} \cdot 6,17 \cdot 10^2 \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 4,11 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 / \text{с}$$

Продолжительность времени заполнения капилляра паром по нашим расчетам составляет $(0,92 - 3,17) \cdot 10^{-1} \text{ с}$, т.е. заполнение предварительно вакуумированных капилляров молекулярным потоком паров воды происходит практически мгновенно.

Литература

1. Ларина Л.В. Исследование процесса и разработка установки для вакуумно-сорбционного увлажнения деталей верха обуви: Дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1991. – 135 с.
2. Енохович А.С. Справочник по физике и технике. – М.: Просвещение, 1983. – 258 с.
3. Будак Б.М., Самарский А.А., Тихонов А.Н. Сборник задач по математической физике. – М.:

Наука, 1972. – 688 с.

4. Филькин Г.В. Методы расчета полей концентрации загрязняющих веществ, поступающих в водотоки со сточными водами. – Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск., 1986. – 147 с.
5. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справочник. 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
6. Яворский В.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука, 1979. – 944 с.

346500. Ростовская область, г. Шахты, ул. Шевченко, 147, ЮРГУЭС,
контактный телефон: 2–27–68, E-mail: idzo@sssu.ru

УДК 681.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В АНАЛИЗЕ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД

Танаев В.Ф., Шахов В.Г.

Локомотивная бригада – это экипаж локомотива, предназначенный для ведения поезда. Как правило, бригада состоит из двух человек, машиниста и его помощника. Обычно на транспорте используются закрепленные бригады – помощники строго закрепляются за своими машинистами и выдерживают с ними единые графики поездов.

Наиболее типичный режим работы локомотивной бригады состоит в следующем. Нарядчик депо назначает бригаде время очередной явки и парк прибытия (четный или нечетный, в зависимости от направления поезда). Бригады ведут поезда по заданным участкам дороги, называемым плечами; по окончании поезда в одном направлении они отдыхают, после чего возвращаются в исходную точку с другим поездом. При возвращении они получают у нарядчика новую явку.

Каждый поезд представляет собой сложное техническое устройство, состоящее из множества деталей, которые в пути могут выходить из строя. Кроме того, на движение существенно влияет поездная ситуация, так как поезда друг от друга сильно зависят. Серьезно влияют и внешние факторы (атмосферные и метеорологические условия, время суток, состояние пути и т.д.). Все эти факторы превращают движение поезда в случайную функцию времени. Это, в свою очередь, делает график вызовов бригад трудно предсказуемым. На практике это приводит к необходимости резерва локомотивных бригад и усложнению режимов их работы (следовательно, к дополнительным финансовым издержкам).

Работу локомотивных бригад можно рассматривать как частный случай системы массового обслуживания. При этом возможны два подхода. В первом случае поезда рассматриваются как заявки на обслуживание, а локомотивы (и соответственно бригады) – как средства обслуживания поступивших заявок. При этом время поезда в пути (в границах тягового плеча) соответствует времени обслуживания заявки. Такой вариант анализа имеет своей целью оптимизацию перевозочного процесса и по умолчанию предполагает, что количество локомотивных бригад не ограничено.

Второй вариант исследования предполагает, что заявками на обслужива-

ние являются локомотивные бригады, а имеющиеся поезда уже готовы к отправлению. Время обслуживания при этом выбирается таким же, как и в первом варианте. Такой подход позволит оптимизировать непроизводительные расходы от ожидания, но не может считаться действительно оптимальным.

Наконец, третий вариант должен предусматривать взаимодействие двух случайных потоков, поездов и бригад. Несмотря на то, что он наиболее близок к реальной ситуации, его труднее реализовать, так как полученное взаимодействие трудно реализовать в реальном времени и синхронизировать события между собой.

Для исследования систем массового обслуживания используется имитационное моделирование на компьютере. Его сущность состоит в том, что после исследования статистики реального объекта и особенностей его работы составляется модель объекта, на которой в определенном масштабе времени имитируется поступление заявок. Имитационная модель запускается многократно с разными исходными данными, в результате чего накапливается статистика работы реального объекта.

В качестве исходных данных для моделирования использованы физические записи о времени работы бригад (явки, время в пути, время отдыха, способ и время оборота), взятые в конкретных депо (Омск и Московка Западно – Сибирской железной дороги). В ходе предварительного анализа данных было принято решение о раздельном накоплении статистик при движении в четном и нечетном направлениях, так как условия движения оказались достаточно различными.

Полученные в ходе моделирования результаты показали, что составленная модель достаточно адекватна реальному объекту. К настоящему времени получены модели для второго варианта анализа (относительно локомотивных бригад). Они позволили выработать первоначальные рекомендации по улучшению эффективности работы бригад, которые в дальнейшем будут проверяться на практике.

При положительном результате моделирования возможно распространение опыта на другие депо и другие исходные данные. Целесообразно составить типовую модель, по которой можно проводить исследования реальных ситуаций в реальном времени с небольшими изменениями исходных данных.

Результаты работы позволят снизить непроизводительные расходы, связанные с вынужденным простоем локомотивных бригад, а также планировать потребное их количество при изменениях графиков движения.

УДК 629.4:681.3

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО ИХ МОДЕЛЯМ ВО ВРЕМЕННОЙ И ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТЯХ

*Барайщук В.С., Берсенов В.А., Буяльский А.Л., Телегин О.М.,
Тэттэр В.Ю., Щедрин В.И.*

На железнодорожном транспорте эксплуатируются средства вибродиагностики разработанные в разное время и разными предприятиями, которые от-

личаются по своим функциональным возможностям и стоимости. Возникла необходимость разработать средства контроля технического состояния, обладающего широкими возможностями и меньшей стоимостью, чем предыдущие разработки.

Одним из важных направлений работ, выполняемых в Центре «Транспорт», МПС является разработка, создание и внедрение виртуальных измерительных приборов на базе персонального компьютера и встраиваемых в него интерфейсных плат (АЦП, ЦАП). В качестве примера таких разработок можно назвать комплекс диагностирования топливной аппаратуры дизелей, измерительно-диагностический комплекс проверки технического состояния редукторов от средней части оси пассажирских вагонов, управляющий диагностирующий комплекс для станций испытания тяговых двигателей локомотивов. Наибольшее распространение из подобных средств на сети железных дорог России получил комплекс вибродиагностики «Прогноз-1».

Разработанный программно-аппаратный комплекс оперативной вибродиагностики предназначен для определения технического состояния подшипников качения и зубчатых передач редукторных, буксовых, моторных и других узлов основных и вспомогательных машин подвижного состава путем обработки сигналов вибрации, частоты вращения и температуры диагностируемых узлов.

В основу работы устройства заложены следующие процедуры:

- самотестирование аппаратной части устройства обработки сигналов;
- преобразование сигналов вибрации в электрический сигнал;
- запись сигнала частоты вращения;
- аналого-цифровое преобразование;
- цифровая фильтрация;
- запись сигналов вибрации во временной области;
- переход в частотную область с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ);
- приведение (транспонирование) спектров к единой частоте вращения;
- процедура взвешивания и усреднения элементов спектра;
- анализ прямого спектра и спектра огибающей;
- анализ изменения температуры диагностируемого узла во времени;
- идентификация дефектов и определение степени их развития;
- расчет прогноза остаточного ресурса;
- формирование отчета и технологических рекомендаций;
- сохранение исходных данных и результатов диагностирования в базе данных.

Процесс диагностирования узла представляет собой одновременный сбор данных по каналам вибрации, температуры и частоты вращения. Далее производится анализ сигналов вибрации в частотной области и изменения температуры и частоты вращения во временной области. Во многих случаях частота вращения диагностируемого механизма нестабильна, что приводит к ухудшению качества диагностирования, а в частности к сложности выделения отдельных составляющих спектров и “размыванию” этих составляющих. В комплексе “Прогноз-1” частота вращения диагностируемого подшипникового узла непрерывно контроли-

руется с помощью дополнительного датчика оборотов и учитывается при построении результирующего, после нескольких временных реализаций, усредненного спектра, по которому производится диагностирование.

Метод диагностирования подшипников качения работающей машины, заложенный в программу, основан на анализе вибрации, создаваемой силами трения в подшипниках. Специалистами С-Петербурга ЗАО ВАСТ был предложен метод диагностики, который получил название “метод огибающей”. В этом методе анализируется как сама высокочастотная вибрация, так и низкочастотные колебания ее мощности. Метод повысил достоверность результатов диагностики и, что особенно важно, качество долгосрочного прогноза состояния диагностируемого оборудования. По спектру огибающей высокочастотной вибрации можно наблюдать за развитием большинства имеющихся дефектов, определять их степень и идентифицировать их вид.

Метод анализа спектра огибающей способен эффективно определять зарождающиеся дефекты и с меньшей достоверностью определяет уже развившиеся дефекты. Эти недостатки компенсируются применением при диагностике еще и анализа всего спектра временного сигнала, вместе с диагностикой по группе и по “истории” однотипных спектров. Окончательный диагноз ставится после применения обоих методов.

Повышение достоверности диагноза достигается за счет использования в анализе данных предыдущих измерений диагностируемого узла в корректировке порогов степеней дефектов прямых спектров и спектров огибающей.

Дополнительным критерием наличия сильных дефектов является результат анализа скорости и характера изменения температуры диагностируемого узла. Принцип, заложенный в данную методику диагностирования, состоит в том, что при анализе подшипникового узла по вибросигналу, параллельно происходит съем и обработка сигнала с датчиков температуры. За время съема вибросигнала, т.е. за время диагностирования узла подшипники успевают нагреваться на различимую датчиками величину. Учитывая начальное значение температуры узла и конечное, после диагностирования, а также характер переходного процесса, можно говорить о состоянии подшипникового узла, в частности об избытке смазки. Особенно, это актуально при диагностировании моторно-осевых подшипников локомотива и редукторов от средней части оси вагонов.

Совместное применение вышеописанных методов анализа состояния диагностируемого узла, позволяет добиться наибольшей достоверности диагностики.

Комплекс постоянно совершенствуется, добавляются новые аппаратные и программные возможности, в частности, возможность записи и воспроизведения шумов диагностируемых узлов. Создание базы данных звуковых образов подшипников и зубчатых передач позволяет увеличить возможности диагностирования, проводить дополнительные экспертизы по заключениям диагностической программы, а также осуществлять обучение специалистов группы диагностирования на базе эталонных шумов характерных дефектов.

Интеллектуальный потенциал, заложенный в новую разработку, позволяет использовать устройство, не только в качестве средства технического контроля, но и как исследовательский инструмент.

Литература

1. Комплекс вибродиагностики «Прогноз-1»: Руководство по эксплуатации на объектах железнодорожного транспорта, 040.00.13 РЭ. – М: Издательство центра «Транспорт», 1999 – 124 с.
2. Тэттер В.Ю., Щедрин В.И., Плотников В.В. Способ и устройство диагностики роторных механизмов / Решение о выдаче патента по заявке № 99113680/28.

644005 г. Омск ул. Избышева 3, ЦВНТ «Транспорт» МПС РФ, отдел ЭВМ,
т. 44-35-44, 44-39-15, e-mail: vibra@omskmps.ru, transport@eurocom.ru

УДК 621.562

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫБОРОЧНОГО КОНТРОЛЯ

Горелов А.С.

Непрерывные выборочные процедуры гарантируют, что средняя доля дефектных изделий в выпускаемой продукции не превысит предела среднего выходного уровня дефектности q_L . Значение q_L устанавливается, исходя из технических условий на выпускаемую продукцию.

Существует несколько моделей непрерывного выборочного контроля.

Согласно методике CSP-1 после включения автомата контролируют подряд все изделия до тех пор, пока автомат не изготовит i годных изделий. После этого сплошной контроль прекращают и контролируют выборочно каждое f^{-1} изделие. Если проконтролированное изделие окажется дефектным, то осуществляют наладку автомата и после наладки снова контролируют i годных изделий, а затем переходят к выборочному контролю. Модель контроля по методике CSP-1 описана в [1].

Недостатком процедуры CSP-1 является необходимость успеть проконтролировать i годных изделий, чтобы своевременно перейти к выборочному контролю. При использовании устройств автоматического выборочного контроля (УАВК) большую часть времени они будут простаивать. Поэтому разработана процедура автоматического непрерывного выборочного контроля АНБК-1, позволяющая проводить контроль ритмично [2]. Согласно методике АНБК-1 после включения автомата контролируют каждое f^{-1} изделие. При этом текущая последовательность i изделий, выпущенных автоматом, находится в накопителе. При появлении среди выборочно контролируемых изделий дефектной объем накопителя уводится из потока на разбраковку, а автомат налаживается. Модель процедуры АНБК-1 описывает зависимость объема накопителя i от периодичности выборочного контроля f^{-1} :

$$i = (1-f) q_1^{-1} f^{-1} (2 - q_1)^{-1},$$

$$q_1 = -0,5 (f - f q_L - 2 q_L - 1) (f q_L - f + 1)^{-1} - [0,25 (f - f q_L - 2 q_L - 1)^2 (f q_L - f + 1)^{-2} - 2 q_L (f q_L - f + 1)^{-1}]^{0,5}$$

При использовании методики CSP-1 в роторно-конвейерных линиях УАВК состоит из ротора контроля с f^{-1} разноименными позициями и устройства выборочной загрузки рабочего ротора.

При использовании процедуры АНБК-1 УАВК включает ротор контроля с f^{-1} разноименными позициями, за которыми расположен роторный или конвейерный накопитель с устройствами сброса.

Литература

1. Коуден Д. Статистические методы контроля качества. – М.: Физматгиз, 1961. – 560 с.
2. Горелов А.С. Разработка схем устройств автоматического выборочного контроля качества продукции, производимой роторными машинами // Безлюдные роторные и гибкие технологии: Сб. науч. трудов. – Тула: ТПИ, 1987. – С. 120-125.

300600 г. Тула, проспект Ленина 92, ТулГУ, каф. ПП, т. 33-24-38, e-mail: gor22@uic.tula.ru

УДК 519.248:681.51

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОМЕРНОГО КОНТРОЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТНОГО КРИТЕРИЯ ХОТЕЛЛИНГА

Клячкин В.Н.

Контроль технологического процесса, как правило, проводится по одному показателю, наиболее важному с точки зрения обеспечения качества изготавливаемого изделия. Между тем качество изделия часто характеризуется несколькими показателями, которые могут быть коррелированы между собой.

Методы многомерного статистического анализа, основанные на статистике Хотеллинга [1], позволяют одновременно вести контроль совокупности показателей. При обычном одномерном контроле (двойные карты Шухарта) по нескольким показателям одновременно, если показатели качества имеют совместное распределение, возможны значительные погрешности. В частности при двумерном нормальном распределении показателей качества доверительная область представляет собой эллипс; статистически управляем процесс, для которого результаты наблюдений оказываются внутри эллипса. При контроле отдельно по каждому показателю доверительная область - прямоугольник, ограниченный верхними и нижними контрольными границами. В этом случае точки, оказывающиеся внутри прямоугольника, но вне эллипса, свидетельствуют об управляемости процесса, хотя на самом деле это не так.

Проведенный нами анализ литературных данных по статистическому контролю реальных процессов производства позволил выявить основные типы корреляционных связей между показателями качества технологического процесса, в частности, при механической обработке: между одноименными показателями на различных одновременно обрабатываемых поверхностях одной детали или разных деталей (групповая обработка); между различными показателями качества для одной и той же поверхности данной детали. Очевидно степень тесноты связи определяется условиями конкретного процесса, однако сам факт их наличия указывает на важность проведения именно многомерного контроля в таких ситуациях.

Использование компьютерной техники и современного программного

обеспечения позволяет без особых проблем строить карту Хотеллинга для многомерного технологического процесса. Для ведения карты для каждой l -й мгновенной выборки ($l = 1 \dots m$) рассчитывается статистика Хотеллинга

$$T_l^2 = n(\bar{\mathbf{X}}_l - \boldsymbol{\mu})^T \mathbf{S}^{-1} (\bar{\mathbf{X}}_l - \boldsymbol{\mu}),$$

где n – объем мгновенной выборки. Вектор средних $\bar{\mathbf{X}}_l = (\bar{x}_{l1}, \dots, \bar{x}_{lp})^T$,

$\bar{x}_{lj}$ – среднее значение в l -й мгновенной выборке по j -му показателю ($j = 1 \dots p$, p – количество контролируемых показателей). Вектор “целевых” средних $\boldsymbol{\mu} = (\mu_1, \dots, \mu_p)^T$, $\mu_j = \sum \sum x_{ijl} / mn$; $i = 1 \dots n$.

Оценки компонент ковариационной матрицы $\mathbf{S}$ размерности $p \times p$, определяющие рассеяние результатов контроля и степень тесноты связи показателей качества, вычисляются по формуле

$$s_{jk} = \sum \sum (x_{ijl} - \mu_j)(x_{ikl} - \mu_k) / m(n-1), \quad j, k = 1, \dots, p.$$

«Целевые» средние и компоненты ковариационной матрицы обычно вычисляются по данным обучающей выборки, которая берется на начальной стадии контроля, когда процесс отлажен.

Критическое значение статистики на уровне значимости α определяется с использованием таблицы квантилей F -распределения

$$T_{kp}^2 = [pm(n-1)/(mn-m-p+1)]F_{1-\alpha}(p, mn-m-p+1).$$

Процесс протекает нормально, если $T_l^2 < T_{kp}^2$.

Карта Хотеллинга, как показывают расчеты, иногда оказывается эффективнее множества одномерных карт: часто она быстрее обнаруживает нарушение технологического процесса [2]. Однако при этом остается неясным вопрос о том, по какому конкретно показателю качества произошло нарушение.

Пусть при некотором $l = l_0$ оказалось, что $T_{l_0}^2 \geq T_{kp}^2$. Для проверки гипотезы о том, что ответственность за нарушение процесса лежит на j -м показателе, может быть использован частный критерий Хотеллинга [3]. Гипотеза верна, если

$$T_j^2 = n[\mathbf{c}_j^T (\bar{\mathbf{X}}_{l_0} - \boldsymbol{\mu})]^2 / [\mathbf{c}_j^T \mathbf{S} \mathbf{c}_j] > T_{kp}^2,$$

где $\mathbf{c}_j$ – вектор-столбец, состоящий из нулей во всех строках, кроме j -й, и единицы в j -й строке. Если все p гипотез отвергаются, то это означает, что нарушение процесса вызвано совместным воздействием нескольких показателей. Для проверки таких гипотез, например, о совместном влиянии двух показателей одновременно, столбец $\mathbf{c}_j$ корректируется: в соответствующих двух строках нули заменяются единицами. Таким образом, используя частный критерий Хотеллинга, можно выявить причину, по которой произошло нарушение технологического процесса.

Литература

1. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. – М.: Физматгиз, 1963. – 500 с.
2. Клячкин В.Н. Оценка эффективности многомерного контроля технологического процесса // Вестник УлГТУ. Информационные технологии. – 1999. – № 2. – С. 59-62.
3. Сошникова Л.А., Тамашевич В.Н., Уебе Г., Шефер М. Многомерный статистический анализ в экономике. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 598 с.

ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА*Тарасов А.Н.*

При создании автоматизированных систем (АС) технологических задач часто не учитывается информационное обеспечение смежных АС, используемых, или разрабатываемых для конкретного производства. Поэтому при создании и развитии таких АС необходима формализация процессов формирования информационного обеспечения конкретной предметной области, создание математических моделей для совмещения баз данных этих АС в структуру интегрированной автоматизированной системы (ИАС), используя при этом единую методологическую основу.

На первом этапе решения этой задачи необходимо создать функциональную структуру ИАС конкретного производства. Выявить, обосновать и утвердить элементарную информационную единицу (ЭИЕ), необходимую для описания объектов этого производства. На основе ЭИЕ описать предметную область производства, разработать логическую структуру центральной базы данных (ЦБД); провести унификацию, классификацию, стандартизацию всех составляющих технологии производства, сформировать в ЦБД взаимосвязанную комплексную информацию о процессах изготовления продукции.

В соответствии с этим при разработке ИАС следует рекомендовать сосредоточить усилия на проработке схемы функционирования системы не во всех подразделениях предприятия, а в наиболее представительных, но таким образом, чтобы далее можно было бы последовательно расширять эту систему. Для достижения информационной совместимости разрабатываемой АС с существующими АС необходимо разработать прикладное программное обеспечение (ППО), реализующее автоматизированный интерфейс информационных потоков между необходимыми АС. Такое ППО в свою очередь является АС, позволяющей создавать программы - конвертеры по передаче информации баз данных между различными информационными системами и ЦБД, а так же программы "мониторинга" по распределению и управлению процессами между всеми АС и ЦБД, то есть технологию экспорта и импорта информации.

Для автоматизированного формирования баз данных, должны быть предусмотрены средства, упрощающие пользователям вводить информацию предметной области. К таким средствам относится АС генерации проектов, которая позволяет интерактивно и в пакетном режиме генерировать формы для ввода и вывода информации, разрабатывать программные модули для автоматизации необходимых задач конкретных этапов технологии производства.

Литература

1. Тарасов А.Н. Представление данных и знаний в автоматизированных системах // Динамика ПАХТ-94: Тезисы докладов IV Всероссийской научной конференции. – Ярославль: ЯГТУ, 1994. – Т. 2. – С. 108-109.

СИСТЕМА ВИРТУАЛЬНОЙ ОТЛАДКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ УЧПУ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ

Филипас А.А., Прокофьев Г.В.

Современное развитие производства предполагает все более широкое применение систем числового программного управления автоматизированными технологическими комплексами и системами. Разрабатываемая система отладки управляющих программ для УЧПУ предполагает ее использование: в учебном процессе; при разработке, оптимизации и отладке реальных программ управления.

Система состоит из нескольких блоков: подпрограммы-имитатора; подпрограммы-интерфейса, программы-оболочки. Такое деление позволяет заложить в систему известную гибкость, необходимую при ее модернизации и расширении. С целью упрощения процесса освоения методики написания управляющих программ, первый вариант системы отладки управляющих программ для УЧПУ ограничен одним исполнительным механизмом - координатой R робота-манипулятора.

Подпрограмма-имитатор имитирует стойку УЧПУ вместе с роботом манипулятором, исполняя роль виртуальной аппаратной части реальной системы. Она строится на основе математического описания электромеханической части робота манипулятора М20П.40.01 и схеме электроавтоматики УЧПУ Контур – 1. Математическая модель исполнительской части составляется по дифференциальным, логическим уравнениям и функциональным зависимостям элементов реальной системы методом имитационного структурного моделирования. Основными ее частями являются модели блоков: входных и выходных сигналов, электропривода КЕМЕК, связи с датчиками, механической части манипулятора. Подпрограмма-интерфейс разработана на основе использования упрощенных процедур при работе пользователя с системой. Кроме этого имеется возможность вывода статических и динамических характеристик изучаемой системы. Эта возможность позволяет использовать предлагаемую систему как основу для изучения курсов не связанных с написанием управляющих программ. Программа-оболочка исполняет роль связующего в системе. Кроме этого система снабжена: блокировками от несанкционированного вмешательства в систему, блоками поиска и интерпретации ошибок, контрольной задачей для проверки работоспособности системы в целом

В качестве основной среды программирования, для написания управляющей программы используется Turbo Pascal 7.0, т.к. это наиболее распространенный язык программирования. Система может быть реализована на Intel совместимом компьютере не ниже 486.

СОДЕРЖАНИЕ

Бородай А.В., Клименко А.В., Пономарев В.И. О стержневой модели макроскопического движения	4
Пашкевич А.П., Кожевников М.М. Моделирование столкновения для роботоманипулятора.....	11
Игнатьев В.М., Ткачёва О.А. Модель управления изготовлением сложной детали....	16
Зимнухова Ж.Е., Немтинова Ю.В. Оценка затрат на химико-термическую обработку машиностроительных изделий.....	19
Отроков А.В. Моделирование грузопотока клиновой погрузочной машины при работе под завалом горной массы.....	20
Сыса А.А., Голик В.И., Сыса А.Б. Закономерности процесса механоактивации твердых материалов.....	23
Хазанович Г.Ш., Ревякина Е.А. Математическое моделирование рабочих процессов погрузочных и транспортных машин при взаимодействии с крупнокусковой средой	24
Максимов В.П. Математическое моделирование процесса взаимодействия фрезерного рабочего органа с почвой	27
Михеев А.В., Долматов Н.П. Математическая модель технологического процесса очистки дренажа в зоне орошения	34
Аникеева Л.В., Румянская Н.С., Саакян О.В. Применение сетевых моделей в задачах оптимизации технологических процессов изготовления швейных изделий.....	37
Ларина Л.В., Адигамов К.А. Математическое моделирование процесса вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок обуви.....	39
Танаев В.Ф., Шахов В.Г. Использование имитационного моделирования в анализе работы локомотивных бригад.....	43
Барайшук В.С., Берсенов В.А., Буяльский А.Л., Телегин О.М., Тэттэр В.Ю., Щедрин В.И. Оценка состояния подвижных деталей по их моделям во временной и частотной областях	44
Горелов А.С. Моделирование работы устройств автоматического выборочного контроля.....	47
Клячкин В.Н. Интерпретация результатов многомерного контроля с использованием частного критерия Хоттелинга.....	48
Тарасов А.Н. Подход к автоматизации технологии производства	50
Филипас А.А., Прокофьев Г.В. Система виртуальной отладки управляющих программ для УЧПУ на основе модели аппаратной части	51

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства
Материалы международной научно-практической конференции
Часть 4

Технический редактор: Чебанов И.Р.

ЛР № 020417 12.02.1997 г. Подписано в печать 08.05.2001 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.

Печ. л. 3,3. Тираж 100 экз. Заказ 01/12.

Учебно-производственный центр «Набла»
Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)
346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ.
ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

Материалы
международной научно-практической
конференции

11 апреля 2001 года
г. Новочеркасск

Часть 5

Новочеркасск 2001

УДК 519.688
ББК 22.18 в6
М 74

Организаторы конференции:

Министерство образования Российской Федерации;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Горбатенко Н.И., профессор (РФ) – председатель;
Бахвалов Ю.А., профессор (РФ);
Вурмус Г., профессор (ФРГ);
Загороднюк В.Т., профессор (РФ);
Йегер Г., профессор (ФРГ);
Калленбах Е., профессор (ФРГ);
Ланкин М.В., доцент (РФ) – зам. председателя;
Никитенко Н.Ф., профессор (РФ);
Плаксин В.А., доцент (РФ);
Савельев М.В., профессор (РФ);
Чернов В.Н., профессор (РФ).

Редакционная коллегия:

Горбатенко Н.И. – ответственный редактор;
Плаксин В.А. – зам. ответственного редактора;
Ланкин М.В.

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы междунар.
науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 11 апреля 2001 г.: В 8 ч. / Юж.-Рос.
гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2001. –
Ч. 5. – 60 с.
ISBN 5-88998-266-4

Тексты докладов помещены в сборник, включающий 8 частей. Часть 5 содержит
статьи, посвященные математическим моделям в энергетике, электро-
машиностроении, химии и металлургии.

Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 519.688 :[621.3+66]

ISBN 5-88998-266-4

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2001
© Авторы, указанные в оглавлении, 2001

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) — крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные международные научно-технические контакты, — выступил инициатором проведения ряда международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе INTERNET.

В апреле 2001 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие представители вузов Москвы, Минска, Тирасполя, Санкт-Петербурга, Тулы, Днепропетровска, Новгорода, Екатеринбурга, Тамбова, Владикавказа, Омска, Томска, Новочеркасска и других городов России и ближнего зарубежья. На конференцию представлено 164 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из восьми частей. Каждая часть содержит материалы по одному или нескольким научным направлениям.

Первая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию в строительстве.

Во вторую часть вошла первая половина статей о математическом моделировании социальных и экономических процессов.

Третья часть содержит вторую половину докладов о математическом моделировании социальных и экономических процессов, а также статьи, посвященные физическому моделированию в науке и технике и учебно-методическим вопросам преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Четвертая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию технологических процессов.

Пятая часть содержит статьи о математических моделях в энергетике, электромашиностроении, химии и металлургии.

В шестую часть вошли доклады, посвященные математическим моделям в медицине, биологии и экологии, а также математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем.

Седьмая часть включает доклады, освещающие общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений.

Восьмая часть содержит статьи о математических моделях в теплотехнике и гидравлике, в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, и с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРУГОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДИЭЛЕКТРИКА

Костюков Н.С., Еремин И.Е.

Согласно общей теории поляризации диэлектриков, электронные поляризуемости ионов значительно возрастают с ростом их радиусов, поскольку наибольшее смещение под действием электрического поля испытывают внешние (оптические) электроны. Таким образом, для описания электронной поляризации иона k -ой разновидности в первом приближении можно ограничиться уравнением колебаний его оптической оболочки, заряд и масса которой определяются количеством составляющих ее электронов – Z_k , относительно атомного остатка с эффективным зарядом – $Q_k e$, обусловленным экранизацией ядра внутренними электронными оболочками. Кроме того, учитывая, что на молекулярно-атомном уровне диэлектрик не является непрерывной средой, то силу, вынуждающую колебания, следует описывать не только напряженностью внешнего поля $E_0(t)$ [1], а совокупностью полей, действующих на частицу внутри поляризуемого материала, т.е. напряженностью локального поля [2].

На основании вышеизложенного, в качестве математической модели процесса упругой электронной поляризации диэлектрика авторами работы предлагается использовать следующую систему уравнений:

$$\frac{d^2 \mu_k(t)}{dt^2} + 2\beta_k \frac{d\mu_k(t)}{dt} + \omega_{0k}^2 \mu_k(t) = \frac{Z_k e^2}{m_e} \left(E_0(t) - \frac{2}{3\epsilon_0} \sum_{i=1}^K n_i \mu_i(t) \right), \quad k = \overline{1, K},$$

где $\mu_k(t)$ – индуцированный дипольный момент; ω_{0k} и β_k – соответственно, собственная частота и коэффициент затухания колебаний электронного облака

$$\omega_{0k}^2 = \frac{Q_k e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r_k^3},$$

$$2\beta_k = \frac{\mu_0 Z_k e^2 \omega_{0k}^2}{6\pi m_e c};$$

e и m_e – заряд и масса электрона; K – число разновидностей ионов; n_i – их концентрации; ϵ_0 и μ_0 – электрическая и магнитная постоянные; r_k – ионный радиус; c – скорость света в вакууме.

Литература

1. Деккер А. Физика электротехнических материалов. – М.; Л.: ГЭИ, 1962. – 262 с.
2. Костюков Н.С., Еремин И.Е. Математические модели общей поляризации диэлектрика // Вестник АмГУ. – 2001. – № 11. – С. 47-48.

675000, Россия, г. Благовещенск, пер. Релочный, д. 1, Амур КНИИ ДВО РАН,
e-mail: eie@freemail.amursu.ru

К РАСЧЕТУ НЕЛИНЕЙНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ

Птах Г.К., Линёв А.И., Плешков А.И.

При моделировании электромагнитных процессов в электрических машинах возникает задача расчета нелинейно-параметрической схемы замещения магнитной системы машины, которая содержит нелинейные элементы (НЭ), соответствующие ферромагнитным участкам статора и ротора, и параметрические элементы (ПЭ), учитывающие магнитные свойства изменяющегося во времени воздушного зазора. На каждом шаге дискретизации расчетного интервала времени приходится решать систему нелинейных алгебраических уравнений, описывающих состояние магнитной цепи. В [1] описан прием, позволяющий исключить этап решения СЛАУ при итерационном расчете магнитной цепи, используя определенные параметры линеаризации ВАХ НЭ. В настоящем сообщении предлагается эквивалентировать ПЭ активными двухполюсниками, пассивная составляющая которых является константой, а величина источника МДС, учитывающего согласно теореме компенсации напряжение на переменной составляющей магнитного сопротивления зазора, корректируется в процессе итерационного расчета. Так как в этом случае матрица расчетных коэффициентов остается при вращении ротора неизменной, то её достаточно один раз инвертировать и в дальнейшем использовать без изменения на всем расчетном интервале времени. Для апробации предложенного метода был выполнен расчет тестовых задач для двухузловой и разветвленной магнитных цепей. На рис.1 приведены упрощенный аналог схемы замещения однофазной индукторной машины и результаты расчета в виде графиков магнитных проницаемостей НЭ при следующих исходных данных: сталь 2411, $F_1 = 5000 \text{ А}$, $F_2 = F_3 = 1000 \cdot \sin(\omega t - \pi/6) \text{ А}$; $R_{\delta 2} = 4400 - 3600 \cdot \cos \omega t, \text{ Гн}^{-1}$; $R_{\delta 3} = 4400 + 3600 \cdot \cos \omega t, \text{ Гн}^{-1}$. Пунктиром показан режим холостого хода $F_2 = F_3 = 0$. Эффективность метода начинает заметно проявляться при расчете разветвленной цепи. В этом случае время расчета в 2-3 раза меньше сравнению с методом Ньютона.

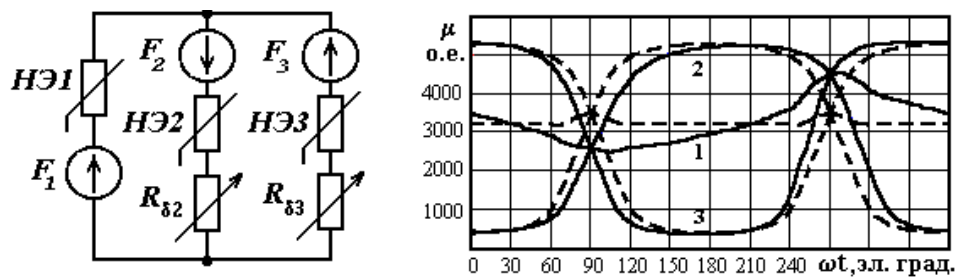


Рис.1

Литература

1. Птах Г.К. Метод расчета магнитных цепей // Интеллект. электромех. устр-ва, сист. и компл.: Материалы междунар. науч.-практ. конф.: В 4-х ч. / ЮРГТУ(НПИ). – Новочеркасск: НАБЛА, 2000. – Ч. 1. – С. 30-31.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), кафедра ТОЭ,
тел. (863-52) 5-53-08. Email: ptah@toe.srstu.ru.

РАСЧЕТ ТОРЦЕВОГО ГЕНЕРАТОРА МЕТОДОМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ПО ИСТОЧНИКАМ ПОЛЯ

Леонов С.В., Щипков А.А.

Для уточнения параметров схемы замещения при проектировании торцевого генератора классическим методом расчета с сосредоточенными параметрами необходимо рассматривать полевую задачу с трехмерным описанием картины магнитного поля и элементов магнитной системы.

Решение полевой задачи производится методом интегрирования по источникам поля. При этом первичными источниками являются макроскопические токи и намагниченность постоянных магнитов, а вторичными – магнитные диполи, возникающие в результате поляризации вещества и распределенные по объему пассивных элементов магнитной системы. Метод позволяет численно рассчитывать магнитные системы любой конфигурации с учетом нелинейной характеристики $B(H)$. Основой метода является интегро-дифференциальное уравнение [1]:

$$\overline{H}(q) = \frac{J}{4\pi} \int_{V_o} \frac{[\overline{dl}, \overline{r}_{pq}]}{r_{pq}^3} dS_p - \frac{1}{4\pi} \text{grad}_q \int_{V_s} \frac{\overline{M}_p \overline{r}_{pq}}{r_{pq}^3} dV_p,$$

где $\overline{M}_p$ - намагниченность элементарного объема dV_p , J - плотность тока.

Основной трудностью при реализации данного метода считается итерационный процесс [2,3]. Неудовлетворительная сходимость итерационного процесса особенно проявляется при расчете поля электромеханических устройств со сложной геометрией элементов магнитной системы. В связи с этим в расчетах был применен алгоритм с линеаризацией на этапе определения взаимодействия магнитных диполей:

1. итерационный расчет по распределению намагниченности внутри элементов системы без учета их нелинейной характеристики;
2. учет нелинейной характеристики $B(H)$ в пределах каждого dV_p ;
3. переход к п.1 до выполнения условия неизменности искомой величины.

Программа расчета магнитного поля торцевого генератора реализована в системе Matlab. При расчетах итерационный процесс достаточно быстро сходится, а результаты расчета повторяют экспериментально полученные данные.

Литература

1. Никитенко А.Г., Пеккер И.И. Расчет электромагнитных механизмов на вычислительных машинах. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Вержбицкий В.М. Численные методы. – М.: Высшая школа, 2000.
3. Подгорный Д.Э. Расчет магнитных полей в магнитопроводах трансформаторов тока // Изв. вузов. Электромеханика. – 1996. – № 1-2.

УДК 621.318.43

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ИНДУКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Курсанов А.Г., Архипов А.Н.

В публикациях, например в [1,2], посвященных математическому моделированию индукторных двигателей (ИД), подчеркивается громоздкость и трудоемкость используемых математических моделей, требующих больших затрат компьютерного времени при их использовании. Применение моделей встречает трудности при выполнении многовариантных расчетов, для решения задач оптимизационного характера.

Поэтому разработка модели, которая при удовлетворительной точности, имела бы высокое быстродействие является актуальной задачей. Авторы разработали модель, которая позволяет определять мгновенное значение тока и момента. Учитываются все свойства магнитной системы двигателя в том числе и насыщение. Используются методы теории цепей. Модель реализована в системе MathCAD 7.0 PRO. Насыщение учитывалось путем использования эмпирических коэффициентов, подбор которых, при наличии опыта электромагнитных расчетов и интерфейса системы MathCAD трудностей не представляет. Оценка результатов, полученных при расчете реального ИД показала, что погрешности в определении тока и момента являются вполне приемлемыми, а время расчета одного варианта на ПК Pentium I менее одной минуты.

Разработанная модель может быть использована на начальной стадии проектирования ИД. Результаты численных экспериментов показали перспективность разработанной модели, а также необходимость продолжения исследований для более эффективного учета насыщения, без потери быстродействия.

Литература

1. Miller T. SRM and Their Control. – Oxford University Press, 1993.
2. Коломейцев Л.Ф., Пахомин С.А., Квятковский И.А. К расчету реактивного индукторного двигателя малой мощности // Изв. вузов. Электромеханика. – 1999. – № 1. – С. 15-17.

346428, Россия, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ(НПИ), тел. (863-52) 55-308, E-mail: ptah@toe.srstu.novoch.ru

УДК 510.67

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТЕРЬ ВОЗДУШНОЙ МАГИСТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ С НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКОЙ

Троицкий А. И.

Распределительные сети проектируют так, что активные сопротивления линейных проводов одинаковы. Потери активной мощности на отдельном участке четырехпроводной линии (в трех линейных проводах и нулевом проводе):

$$\Delta P_4 = R_F \sum I_p^2 + I_N^2 R_N, \quad (1)$$

где I_p, I_N – модули линейного тока p -ой фазы и тока в нулевом проводе; R_F, R_N – активные сопротивления линейного и нулевого проводов. Поскольку согласно [1]:

$$\begin{cases} \sum I_i^2 = 3(I_0^2 + I_1^2 + I_2^2); \\ I_N^2 = 9I_0^2 = \left| \sum \dot{I}_p \right|^2; \\ I_0^2 = \frac{1}{9} \sum (I_p^2 + 2I_p I_q \cos(240^\circ + \varphi_p - \varphi_q)); \\ I_1^2 = \frac{1}{9} \sum (I_p^2 + 2I_p I_q \cos(\varphi_p - \varphi_q)); \\ I_2^2 = \frac{1}{9} \sum (I_p^2 + 2I_p I_q \cos(120^\circ + \varphi_p - \varphi_q)); \end{cases}$$

то из уравнения (1) с учетом последней системы уравнений имеем:

$$\Delta P_4 = R_F \sum I_p^2 + R_N \left(\sum I_p^2 - \sum I_p I_g (\cos(\varphi_p - \varphi_g) + \sqrt{3} \sin(\varphi_p - \varphi_g)) \right). \quad (2)$$

В уравнениях квадратов симметричных составляющих токов I_0, I_1, I_2 – модули нулевой (ТНП), прямой (ТПП) и обратной (ТОП) последовательностей линейных токов. В них и в уравнении (2) индексы у независимых переменных принимают значения согласно правилу: $\begin{cases} p = a, b, c; \\ g = b, c, a. \end{cases} \quad (3)$

При этом углы линейных токов $(\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c)$ берут в фазовых координатах. Первое слагаемое в правой части уравнения (2) учитывает потери в линейных проводах, а второе слагаемое – в нулевом проводе. Запишем уравнение (2) в следующем виде:

$$\Delta P_4 = (R_F + R_N) \sum I_p^2 - R_N \sum I_p I_g (\cos(\varphi_p - \varphi_g) + \sqrt{3} \sin(\varphi_p - \varphi_g)). \quad (4)$$

Уравнение (4) позволяет представить потери на участке линии в виде потерь от средних значений линейных проводов, их дисперсной и корреляционной составляющих согласно [2]. Правые части уравнений (1), (2) тождественно равны, поэтому

$$I_N^2 = \sum (I_p^2 - I_p I_g (\cos(\varphi_p - \varphi_g) + \sqrt{3} \sin(\varphi_p - \varphi_g))) \quad (5)$$

Когда сечение нулевого провода в два раза меньше, чем сечение фазного провода, что справедливо для подавляющего числа ВМЛ, то

$$\Delta P_4 = 3(7I_0^2 + I_1^2 + I_2^2)R_F, \quad (6)$$

Из уравнений (2), (6) видна значительная роль токов нулевой последовательности. Действительно, для снижения потерь в ВМЛ 0,4 кВ следует уменьшить значения сопротивления проводов, что связано с удорожанием линии, и ССТ. Однако уменьшение ТПП нежелательно, поскольку приведет к снижению нагрузки потребителей. Для уменьшения потерь активной мощности в ВМЛ следовало бы уменьшить ТНП и ТОП, но предпочтение следует отдать компенсации или фильтрации ТНП, так как потери от ТНП в 4-7 раз больше, чем от ТОП, когда $I_0 = I_2$. Это имеет место, если

$$I_A I_B \cos(\varphi_B - \varphi_A) + I_A I_C \cos(\varphi_C - \varphi_A) + I_B I_C \cos(\varphi_C - \varphi_B) = I_A I_B \cos(240^\circ + \varphi_B + \varphi_A) + \rightarrow$$

$$\rightarrow +I_A I_C \cos(120^\circ + \varphi_C - \varphi_A) + I_B I_C \cos(120^\circ + \varphi_B - \varphi_C) \quad , \quad (7)$$

где $\varphi_A = 360^\circ - \varphi_a$; $\varphi_B = 360^\circ - \varphi_b$; $\varphi_C = 360^\circ - \varphi_c$.

Равенство (7) запишем в фазовых координатах

$$I_A I_B \sin(\varphi_a - \varphi_b) + I_A I_C \sin(\varphi_c - \varphi_a) + I_B I_C \sin(\varphi_b - \varphi_c) = 0. \quad (8)$$

Левая часть уравнения (8) тождественно равно нулю, когда: а) вся НН включена на одну фазу; б) нагрузка лишь в одной фазе отличается от нагрузок двух других фаз; в) $\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c$, т. е. при амплитудной несимметрии.

Результаты исследований лаборатории режимов энергосистем показали, что в ВМЛ 0,4 кВ Минтопэнерго, как правило, преобладает амплитудная несимметрия [3].

Разделим левую и правую части уравнения (6) на $3 I_I^2 R_F$ (потери от токов прямой последовательности), тогда, если $2R_F = R_N$, то

$$\Delta P_4 / (3 I_I^2 R_F) = 1 + k_2^2 + 7 k_0^2; \quad (9)$$

$$\text{Пусть } R_N / R_F = \gamma, \quad (10)$$

$$\text{тогда } \Delta P_4 / (3 I_I^2 R_F) = 1 + k_2^2 + (1 + 3\gamma) k_0^2 \quad (11)$$

Уравнение (11) представляют собой уравнения эллиптического параболоида поверхности второго порядка в системе $0, k_2, k_0$. В силу физических соображений модули КНТ и КНУ не могут принимать отрицательные значения. Их значения могут изменяться в интервале от нуля до единицы, поэтому эти уравнения имеет смысл рассматривать только в первом октанте в указанном интервале изменения k_2 и k_0 . Функции (11) имеют глобальный минимум в точке с координатами $(0, 0, 1)$. Уравнения (11) есть уравнения относительных потерь активной мощности в магистральной четырехпроводной линии с НН, когда активное сопротивление нулевого провода вдвое больше активного сопротивления фазного провода. При этом суммарные потери активной мощности от ТПП, ТОП и ТНП сравниваются с потерями активной мощности лишь от ТПП.

Потери мощности воздушной магистральной линии складываются из потерь на головном участке, на магистральных и концевых участках.

$$\Delta P = \Delta P_r + \Delta P_m + \Delta P_k \quad (12)$$

Точно определить потери мощности на головном участке можно, используя формулу (2). Для этого, кроме модулей, необходимо знать также углы линейных токов. При обследовании нагрузок линий измерение углов линейных токов сопряжено со значительными трудностями. Поэтому в директивных методиках [3] принимают равными углы линейных токов в фазовых координатах. Формула (2) в этом случае примет вид:

$$\Delta P_3 = R_F \sum I_p^2 + R_N \sum (I_p^2 - I_p I_g) \quad (13)$$

Абсолютная методическая погрешность такого допущения:

$$\Delta = \sum I_p I_g \delta_{pg},$$

$$\text{где } \delta_{pg} = 1 - (\cos(\varphi_p - \varphi_g) + \sqrt{3} \sin(\varphi_p - \varphi_g)). \quad (14)$$

Потери мощности на концевых участках

$$\Delta P_k = \sum_{k=1}^n \left((R_{Fk} + R_{Nk}) \sum I_{pk}^2 - R_{Nk} \sum I_{pk} I_{gk} \left(\cos(\varphi_{pk} - \varphi_{gk}) + \sqrt{3} \sin(\varphi_{pk} - \varphi_{gk}) \right) \right) \quad (15)$$

Концевые участки могут быть как четырехпроводные, так и двух- трех- проводные. Правила (3) изменения индексов в формуле (15) можно применить только для четырехпроводных участков. Для двухпроводных и трехпроводных участков требуется соответствующая корректировка.

Для симметричного режима потери мощности на магистральных участках равны утроенной сумме произведений активного сопротивления m -го магистрального участка на частичную сумму токов концевых участков от хвоста линии до этого магистрального участка.

$$\Delta P_m = 3 \sum_{m=1}^{n-2} R_m \left| \sum_{k=1}^{m+1} \dot{I}_k \right|^2, \text{ где } \dot{I}_k - \text{ комплексный ток } k - \text{ го ответвления от } m - \text{ го}$$

участка магистрали, R_m – его активное сопротивление; а квадрат модуля частичной суммы токов ответвлений –

$$\left| \sum_{k=1}^{m+1} \dot{I}_k \right|^2 = \sum_{l=1}^{b+1} I_k^2 + 2 \sum_{\substack{s \geq r \\ r=1 \\ s=2}}^{C_n^2/2} I_s I_r \cos(\varphi_s - \varphi_r).$$

Для несимметричного режима

$$\begin{aligned} \Delta P_m &= \sum_{m=1}^{n-2} (R_{Fm} + R_{Nm}) \left(\sum_{l=1}^{b+1} I_{kp}^2 + 2 \sum_{\substack{s \geq r \\ r=1 \\ s=2}}^{C_n^2/2} I_{sp} I_{rp} \cos(\varphi_{sp} - \varphi_{rp}) \right) \rightarrow \\ &\rightarrow -R_{Nm} \sum \left(\sum_{l=1}^{b+1} I_{kp}^2 + 2 \sum_{\substack{s \geq r \\ r=1 \\ s=2}}^{C_n^2/2} I_{sp} I_{rp} \cos(\varphi_{sp} - \varphi_{rp}) \right) \left(\sum_{l=1}^{b+1} I_{kq}^2 + 2 \sum_{\substack{s \geq r \\ r=1 \\ s=2}}^{C_n^2/2} I_{sq} I_{rq} \cos(\varphi_{sq} - \varphi_{rq}) \right) * \rightarrow (16) \\ &\rightarrow * (I_{kp}^2 - I_p I_q (\cos(\varphi_{pm} - \varphi_{qm}) + \sqrt{3} \sin(\varphi_{pm} - \varphi_{qm}))) \end{aligned}$$

Правила изменения индексов p, q под знаком частичной суммы, определяющей величину тока m -ой магистрали с числом концевых участков k , аналогичны правилам для формулы потерь мощности концевых участков.

Считая значение тока головного участка постоянной величиной, используя формулы (2,12,15,16), на ПЭВМ были выполнены расчеты. Они показали, что при числе ответвлений от магистрали более десяти их увеличение на единицу практически не влияет на результат вычислений потерь в магистральной линии. При внимательном рассмотрении структуры формулы (16) видно, что ее график имеет асимптоту, к которой стремится значение относительных потерь, уменьшаясь при увеличении числа ответвлений. Дисперсная составляющая потерь при этом уменьшается за счет увеличения корреляционной составляющей. Таким образом, при расчете потерь в ВМЛ число ответвлений, равное десяти, является счетным множеством. В распределительных сетях 0,4 кВ республик Адыгея и Калмыкия были проведены обследования, согласно которым среднее число ответвлений, из выборки 600 ВМЛ, равно двадцати. При этом очевидно,

можно утверждать, что даже если будет изменяться ток головного участка, то относительные потери в головном, магистральных и концевых участках в сравнении с потерями в линии не будут практически изменяться. Иными словами, точечный результат определения относительных потерь в ВМЛ с числом ответвлений более десяти можно использовать для интегральных показателей, например, для расчета потерь в ВМЛ за любой промежуток времени, располагая лишь данными по головному участку.

Литература

1. Троицкий А. И. Внутреннее симметрирование нагрузок: Пособие к курсу «Электротехнологические установки». – Новочеркасск: НГТУ, 1995. – 36 с.
2. Каялов Г. М. Определение потерь энергии в электрической сети по средним значениям нагрузок в ее узлах // Электричество. – 1976. – № 6. – С. 19-24.
3. Железко Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. ЭПП и Г, т. 55-650
e-mail: troic@esp.srstu.novoch.ru

УДК 621.316.925

МОДЕЛЬ НЕСИММЕТРИЧНОГО ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ЧЕРЕЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ДУГУ

Нагай В.И.

Ужесточение требований к надежности работы электрооборудования требует его совершенствования, уточнения аномальных и аварийных режимов работы, разработки новых алгоритмов функционирования устройств защиты и автоматики. Это в полной мере относится к комплектным распределительным устройства (КРУ) имеющих ограниченную локализационную способность, основную опасность, для которых представляют короткие замыкания (КЗ) через электрическую дугу (ЭД). При этом из-за малых габаритных размеров практически все двухфазные короткие замыкания переходят в трехфазные КЗ, что подтверждается как исследованиями [1], так и данными, полученными автором при проведении натурных испытаний в сетях напряжением 6-10 кВ. Дуга может гореть как между всеми фазами и заземленным корпусом ячейки КРУ, так и между соседними фазами. В общем случае длины дуг не равны, что и вызывает появление несимметрии в токах и напряжениях. В связи с тем, что данный вопрос в технической литературе недостаточно освещен и не определены предельные соотношения для токов и напряжений в указанном аварийном режиме, это и явилось предметом исследования данной работы.

Принятые допущения. Расчеты токов КЗ выполняются для сети с односторонним питанием. В схеме, приведенной на рис.1, система эквивалентирована симметричным трехфазным источником ЭДС с симметричным сопротивлением всех трех фаз Z_{ϕ} .

При этом не учитывается сопротивления взаимоиндукции, как это сде-

лано в [2] при определении несимметрии, обусловленной неполнотой транспозиции фаз воздушных линий, и емкостная проводимость.

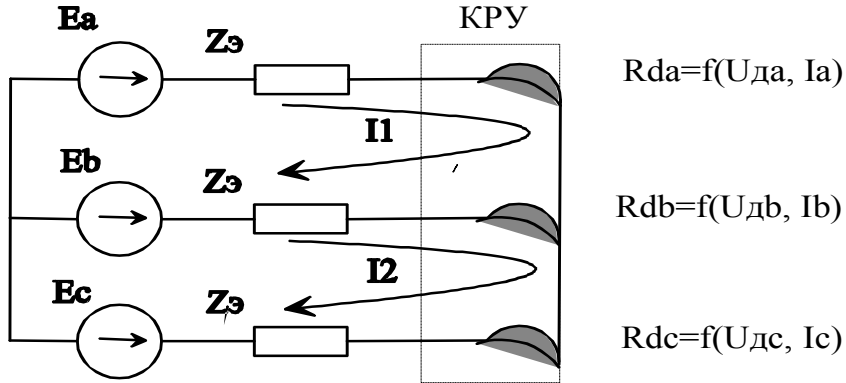


Рис.1. Поясняющая схема электрической сети для расчета трехфазного КЗ через электрическую дугу

Переходное сопротивление электрической дуги принято активным и равным $R_d = E_d l_d / I_{K3}$ [3], где E_d – напряженность электрического поля в столбе дуги длиной l_d ; I_{K3} – ток КЗ, протекающий в столбе дуги. Напряженность электрического поля в столбе дуги в КРУ из-за их замкнутого объема и как следствие повышенного давления превышает значения напряженности при горении дуги на открытом воздухе и составляет $E_d = 1,05 \div 1,5$ кВ/м [1]. При максимальных линейных размерах основных отсеков КРУ, составляющих около одного метра, напряжение на столбе дуги, как правило, не превышает $U_d = E_d l_d \leq 1,5$ кВ. Будем считать, что дуга горит между крайними фазами и средней фазой или между фазами и заземленным корпусом электроустановки.

Расчет токов и напряжений с учетом несимметрии, вносимой электрической дугой. Для рассматриваемой сети (рис.1) можно записать систему нелинейных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} I_1(2Z_\phi + R_{da}) + (I_1 - I_2)R_{db} - I_2 Z_\phi &= E_{ab} \\ -I_1 Z_\phi + (I_1 - I_2)R_{db} + I_2(2Z_\phi + R_{dc}) &= E_{bc} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где $R_{da} = f(U_{da} / |I_1|)$ (2), $R_{db} = f(U_{db} / |I_1 - I_2|)$ (3), $R_{dc} = f(U_{dc} / |I_2|)$ (4) – переходное сопротивление столба дуги в фазах А, В, С.

Задачу определения фазных токов $I_a = I_1$, $I_b = -I_1 + I_2$, $I_c = -I_2$ выполним на основе решения системы уравнений (1) итерационным способом. Будем считать, что дуга горит между фазами А,В и В,С. Эту же задачу можно решить с помощью встроенных в математическую систему MathCAD 2000 функций *Find* или *Miner* для решения систем нелинейных уравнений.

На рис.2 представлены зависимости модулей и аргументов фазных токов, определенных в предположении равенства напряжений $U_{da} = U_{dc}$ и $U_{db} = 0$ и выполнении условий (2) – (4). Данные токи определены в относительных единицах. За базу принят ток металлического трехфазного КЗ сети с параметрами: $Z_\phi = 1,25$ Ом, $\beta_\phi = \arg(Z_\phi) = 85^\circ$, $U_d \leq 1500$ В,

$$E_{ab} = E_{bc} = 10500 \text{ В.}$$

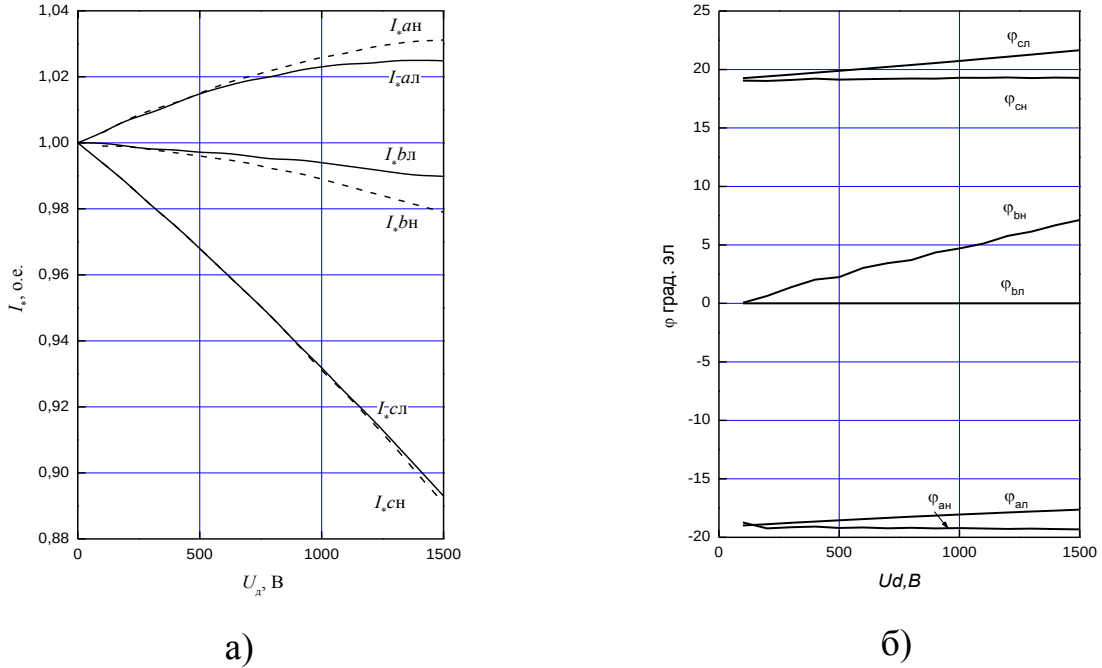


Рис.2. Зависимости модулей фазных токов от падения напряжения на дуге при ее горении между фазами А,В и В,С

Из приведенных графиков можно сделать предварительный вывод, что изменение модулей фазных токов не превышает 11% от значения тока трехфазного металлического КЗ при падениях напряжения на столбе дуги $U_d \leq 0,15U_{\text{ном}}$, где $U_{\text{ном}}$ – номинальное междуфазное напряжение электроустановки. Это позволяет заменить нелинейное сопротивление электрической дуги линейным сопротивлением, значение которого зависит только от падения напряжения и тока металлического КЗ и равно при этом $R_d = U_d / I_{\text{КЗм}}$. Подобная замена позволяет получить приближенное аналитическое выражение для определения интересующих нас токов и напряжений. Таким образом, полагая, что сопротивление столба дуги R_d зависит от падения напряжения на нем U_d и от тока трехфазного металлического КЗ $I_{\text{КЗм}}$ его значение можно определить $R_{da} = U_{da} / I_{\text{КЗм}}$, $R_{db} = U_{db} / I_{\text{КЗм}}$, $R_{dc} = U_{dc} / I_{\text{КЗм}}$ и получить приближенное аналитическое выражение для определения фазных токов

$$I_a = \frac{E_{ab}(2Z_{\varphi} + R_{db} + R_{dc}) + E_{bc}(Z_{\varphi} + R_{db})}{(2Z_{\varphi} + R_{da} + R_{db}) \cdot (2Z_{\varphi} + R_{db} + R_{dc}) - (Z_{\varphi} + R_{db})^2}, \quad (5)$$

$$I_b = \left[\frac{E_{bc}(Z_{\varphi} + R_{da}) - E_{ab}(Z_{\varphi} + R_{dc})}{(2Z_{\varphi} + R_{da} + R_{db}) \cdot (2Z_{\varphi} + R_{db} + R_{dc}) - (Z_{\varphi} + R_{db})^2} \right], \quad (6)$$

$$I_c = - \left[\frac{E_{bc}(2Z_{\varphi} + R_{da} + R_{db}) + E_{ab}(Z_{\varphi} + R_{db})}{(2Z_{\varphi} + R_{da} + R_{db}) \cdot (2Z_{\varphi} + R_{db} + R_{dc}) - (Z_{\varphi} + R_{db})^2} \right]. \quad (7)$$

На том же рис.2 представлены зависимости модулей фазных токов (пунктирные линии), определенные по выражениям (5) – (7). Погрешности в определении указанных токов путем решения системы нелинейных уравнений

(1) и по выражениям (5) – (7) не превышает 1%, что позволяет использовать последние для расчетов, принятых в практике релейной защиты и допускающих возможные погрешности 5...10 %.

Аргументы фазных токов для указанного случая, определенные как $\beta_j = \arg(E_j - I_j Z_\Sigma) - \arg(I_j)$, (где $j = A, B, C$), изменяются незначительно и составляют $\beta_a \approx 20^\circ$, $\beta_b \approx 0^\circ$, $\beta_c \approx -20^\circ$. При изменении же аргумента напряжений $U_{да} = U_{дс} = 0...1500$ В и $U_{дб} = 0...1500$ В эти же фазовые соотношения находятся в диапазонах $-20^\circ \leq \beta_a \leq 65^\circ$, $\beta_b \approx 0^\circ$, $-53^\circ \leq \beta_c \leq 20^\circ$ (рис.3). На данном рисунке показаны линии уровня аргументов токов фаз А и С соответственно (ось абсцисс – напряжение на дуге фазы В, а ось ординат – напряжение на дугах фаз А и С). Необходимо отметить, что погрешности, в определении фазовых соотношений токов по (9)–(11), возрастают по мере увеличения напряжения на столбе дуги и составляют, например, для $U_{да} = U_{дс} = 1500$ В и $U_{дб} = 0$, около 7° .

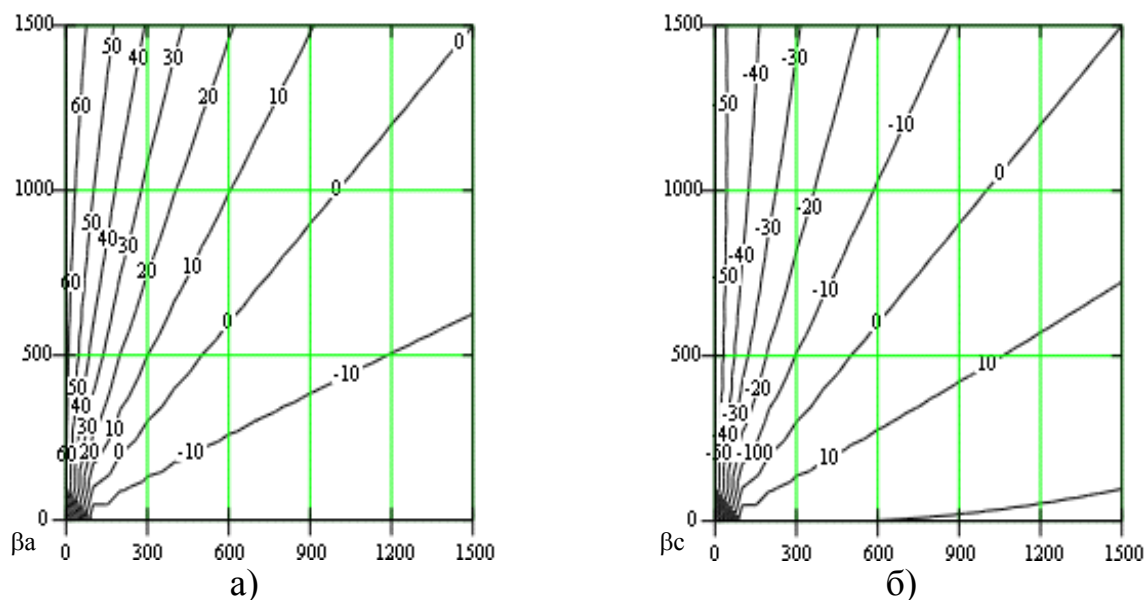


Рис.3. Зависимости аргументов токов фаз А и С от напряжения на столбе дуги при трехфазном коротком замыкании

Модуль одного из фазных токов может превышать значение тока металлического КЗ, что объясняется смещением нейтрали в сети данного класса напряжений (изолированная и компенсированная нейтраль), значение которого можно определить по формуле [5]

$$U_n = (E_a Y_a + E_b Y_b + E_c Y_c) / (Y_a + Y_b + Y_c),$$

где Y_a, Y_b, Y_c – проводимости фаз в схеме по рис.1.

Это проявляется в большей степени при увеличении аргумента сопротивления Z_Σ .

Токи обратной последовательности для этого же случая можно определить по выражению:

$$I_2 = I_{КЗМ} \cdot k(U_{да} / U_{ном} - U_{дс} / U_{ном}),$$

где для сети с приведенными выше параметрами $I_{КЗМ} = 4850$ А, $k = 0,558$.

Напряжение обратной последовательности на шинах КРУ составляет значения $U_2 \leq 0,03U_{\text{ном}}$, а ток обратной последовательности не превышает значений $I_2 \leq 0,1I_{\text{КЗм}}$. Фазовые соотношения тока обратной последовательности, определенного как $\varphi_2 = \arg(U_2) - \arg(I_2)$, практически зависят только от аргумента сопротивления системы Z_Σ и связаны с ним соотношением $\varphi_2 \approx -180^\circ + \arg(Z_\Sigma)$. Ввиду малых значений напряжения обратной последовательности при несимметричных трехфазных КЗ в КРУ сопоставимых с напряжениями небаланса фильтров симметричных составляющих и напряжением обратной последовательности, обусловленного несимметрией сети, представляется возможным использовать его приращение, что позволит не учитывать указанные выше напряжения небаланса. Для пуска быстродействующих дуговых защит КРУ предпочтительней будет контроль модулей и аргументов фазных токов и токов обратной последовательности, а также модулей фазных напряжений.

Выводы

1. Для расчета токов короткого замыкания в электроустановках корпусной конструкции напряжением 6...10 кВ возможно представление сопротивления электрической дуги как линейного сопротивления, зависящего от падения напряжения на столбе дуги и тока металлического короткого замыкания. Погрешность в определении модулей токов не превышает 1% при падении напряжения на дуге не более 15% от номинального значения напряжения.
2. Модуль тока короткого замыкания через электрическую дугу в одной из фаз может превышать ток металлического трехфазного короткого замыкания, что обусловлено смещением нейтрали.
3. Наиболее стабильным параметром, характеризующим дуговое короткое замыкание в электроустановках корпусной конструкции является аргумент тока обратной последовательности, зависящий только от параметров питающей сети.
4. Наличие несимметрии при трехфазных коротких замыканиях может являться одним из критериев внутреннего короткого замыкания и использовано при построении дуговых защит комплектных распределительных устройств и резервных защит повышенной чувствительности.
5. Методика расчета токов короткого замыкания через электрическую дугу может быть использована в учебном процессе при преподавании дисциплины «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах».

Литература

1. Долинский Ю.М., Бойко В.П., Середа Н.Н. Мощность дугового КЗ в закрытых распределительных устройствах // Изв. вузов. Электромеханика. – 1990. – № 2. – С. 102-108.
2. Подгорный Э.В., Цыгулев Н.И. Расчет трехфазного короткого замыкания при несимметрии фаз // Изв. вузов. Энергетика. – 1987. – № 12. – С. 44-47.
3. Жуков В.В., Далла А. Расчет сопротивления открытой электрической дуги // Электричество. – 1990. – № 1. – С. 29-30.
4. Богатырев О.М. Расчет цепей с нелинейными инерционными элементами // Электриче-

ство. – 1961. – № 1. – С. 69-76.

Россия, 346428, г. Новочеркасск Ростовской области, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. «Электрические станции», тел. (863-52)-55-291, 55-211, факс (863-52)-55-909, 2-87-43, E-mail: nagay@novoch.ru, nagay@pwrs.srstu.novoch.ru

УДК 621.316.925

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ И КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Чмыхалов Г.Н., Нагай В.И.

Распределительные сети напряжением 6-35 кВ являются наиболее протяженными электрическими сетями. При этом самым распространенным видом повреждения в них являются однофазные замыкания на землю, при которых допустима длительная работа сети. Однако это во многих случаях приводит к повреждению в второй точке сети и как следствие – к междуфазным коротким замыканиям. Поэтому является актуальным своевременное выявление вида повреждения в указанных сетях и формирование управляющего воздействия на них с целью уменьшения возможного объема повреждения. Для этого служат защиты от замыканий на землю, испытаниям которых и посвящена данная работа. Для повышения технического совершенства указанных защит требуется разработка новых алгоритмов функционирования и апробация их на математических и физических моделях. В последнем случае удастся провести испытания разрабатываемых защит в условиях максимально приближенных к условиям их эксплуатации, т.е. с учетом электромагнитной совместимости первичного оборудования и электронной аппаратуры, что особенно актуально для микропроцессорных устройств релейной защиты.

На кафедре «Электрические станции» ЮРГТУ(НПИ) для указанных целей разработана физическая модель сети с изолированной и компенсированной нейтралью, упрощенная схема которой приведена на рис.1.

Модель сети, питается от сети переменного напряжения 220 В через автоматический выключатель $SF1$, что обеспечивает защиту от аварийных режимов. К шинам подключены три линии, емкостная проводимость которых моделируется конденсаторами C , $C2$, $C3$ с изменяемыми параметрами. При этом возможно как отключение любой из линий, так и создание искусственного замыкания на землю в фазе A с помощью переключателя SA .

Режим нейтрали (изолированная, недокомпенсированная, перекомпенсированная нейтраль) обеспечивается путем включения в схему силового трансформатора T и дросселя L с регулируемой индуктивностью. Вид моделируемого замыкания (металлическое замыкание или замыкание на землю через электрическую дугу) определяется режимом блока MD . Указанный блок представляет собой модель электрической дуги. В рассматриваемой модели возможно включение дополнительных блоков, что позволяет изменять как емкостную проводимость сети, так и активное сопротивление линий.

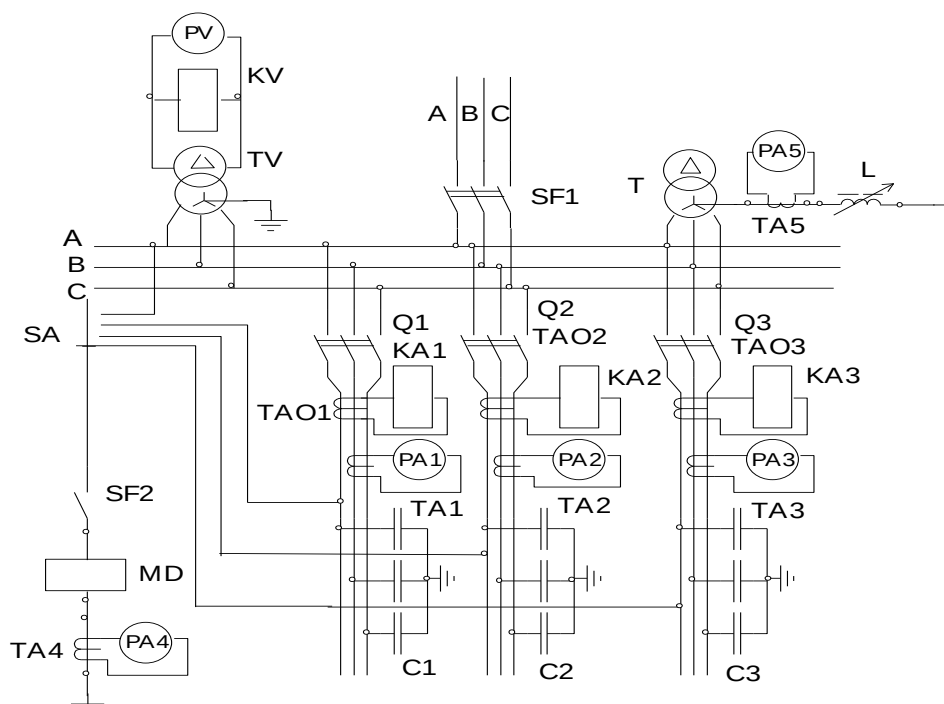


Рис.1. Поясняющая схема физической модели сети напряжением 6-35 кВ

На описанной модели проведены испытания разработанных авторами устройств защиты от замыканий на землю, как индивидуального принципа действия, так и централизованного принципа действия, которые показали удовлетворительное совпадение процессов замыкания на землю с результатами натурных испытаний в сетях напряжением 6-35 кВ.

Россия, 346428, г. Новочеркасск Ростовской области, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. «Электрические станции», тел. (863-52)-55-291, 55-211, факс (863-52)-55-909, 2-87-43, E-mail: nagay@novoch.ru, nagay@pwrs.srstu.novoch.ru

УДК 621.316.925

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ И ТОКОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ РЕЗЕРВНЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ

Нагай В.И., Нагай В.В.

Реализация принципа дальнего резервирования (ДР) релейных защит (РЗ) в распределительных электрических сетях с трансформаторами на ответвлениях воздушных линий напряжением 110–220 кВ, а также на линиях напряжением 6-35 кВ зачастую затруднена из-за сложности распознавания аварийных режимов, при которых должно обеспечиваться резервирование, на фоне максимальных нагрузочных режимов. В рассматриваемых распределительных сетях (рис.1) токи короткого замыкания (КЗ) за трансформаторами ответвительных подстанций напряжением 6-110 кВ и даже на линиях зачастую сопоставимы по модулю с вышеуказанными токами со стороны питающих подстан-

ций, а переходное сопротивление в месте КЗ оказывает существенное влияние на изменение модуля и аргумента этого тока. Примеры рассматриваемой сети приведены на рис.1.

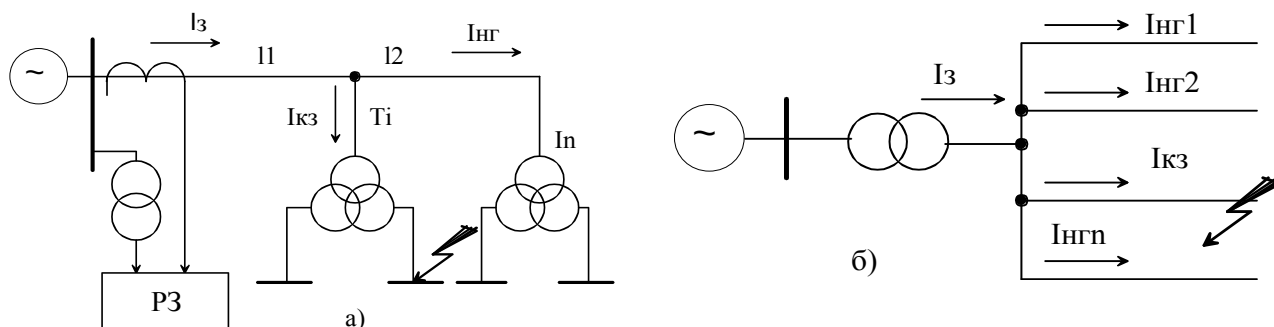


Рис.1. Поясняющая схема защищаемой сети

Задачей авторов данной работы являлось исследование чувствительности измерительных органов (ИО), контролирующих величину сопротивления (ИОС) и тока (ИОТ) со стороны питающих подстанций при трехфазных коротких замыканиях (КЗ). При этом рассмотрены варианты построения указанных ИО как по традиционным алгоритмам с контролем полных величин, так и на основе алгоритмов с контролем приращений сопротивлений и токов.

Контролируемое сопротивление на зажимах ИОС определялось по соотношениям $Z1 = U / I_{БЛ}$ или $Z2 = U / \Delta I_{БЛ}$. Контролируемый ток для ИОТ определялся соответственно $I1 = I_{БЛ}$ или $I1 = \Delta I_{БЛ}$, где приращение тока $\Delta I_{БЛ}$, представляющего разность вектора тока в аварийном режиме (режиме КЗ) и вектора тока максимального нагрузочного режима.

Результаты исследований нормальных и аварийных режимов приведены на рис.2.

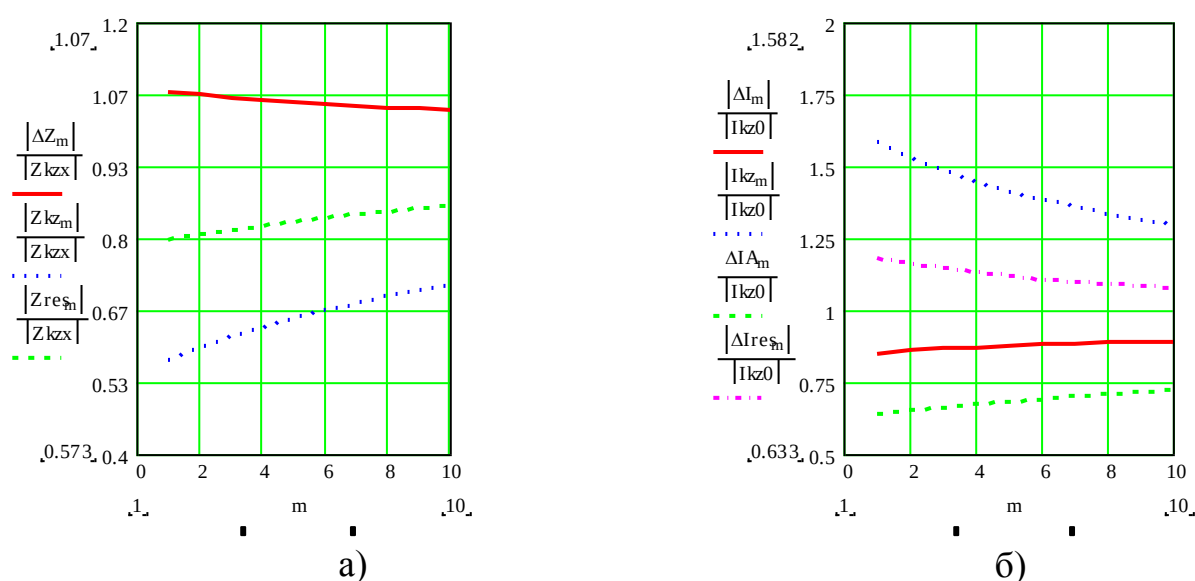


Рис.2. Зависимости относительных сопротивлений и токов на входе ИОС и ИОТ

Анализ приведенных зависимостей (при изменении нагрузки от Zng_{min} до

$10Zng_{min}$, где $m = Zng / Zng_{min}$) показывает, что наименее подвержены изменению сопротивления нагрузки устройства защиты, контролирующие приращение токов и напряжений. Это также позволяет их использовать, например и для построения фиксирующих приборов, измеряющих расстояние до места повреждения.

Россия, 346428, г. Новочеркасск Ростовской области, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. «Электрические станции», тел. (863-52)-55-291, 55-211, факс (863-52)-55-909, 2-87-43, E-mail: nagay@novoch.ru, nagay@pwrs.srstu.novoch.ru

УДК 621.311.001.57:622.3.06

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ЕЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Кравченко О.А.

Оптимизация пропускной способности системы электроснабжения угольной шахты является одной из задач оптимального использования ресурсов. Наряду с существующими факторами, определяющими производственную мощность угольной шахты, такими как: технические возможности шахты по фронту горных работ, пропускная способность подземного транспорта, пропускная способность скипового угольного подъема, технические возможности по вентиляции, пропускная способность технологического комплекса поверхности шахты, учеными предлагалось рассматривать пропускную способность системы электроснабжения [1]. В настоящее время уделяется большое внимание моделированию пропускной способности технологических звеньев шахты, в частности, - моделированию объемов добываемого угля, функционирования аккумулирующего бункера под углевыдающим стволом, развития горных работ в период освоения шахтой проектной мощности [2].

В работах В.А. Кардаша представлен целый ряд экономико – математических моделей функционирования энергосистем [3] и рассмотрено их прикладное значение на примере ОАО «Ростовэнерго» [4]. Одной из наиболее важнейших черт этих моделей является подход к функционированию системы электроснабжения как сложнейшему процессу, зависящему от целого ряда случайных факторов, как внешней среды, так и возникающих вследствие функционирования самой системы электроснабжения.

На современном этапе необходимо определить особенности моделирования функционирования системы электроснабжения шахты при оптимизации пропускной способности с учетом стохастических факторов, определяющих специфику функционирования отдельных технологических звеньев.

В существующих методах определения электрических нагрузок, таких как: метод коэффициента спроса, определения нагрузки по средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузки, удельного расхода электроэнергии

недостаточно учитывается специфика функционирования конкретного предприятия, особенности влияния случайных факторов, в частности, горно-геологических условий.

В соответствии с проведенными исследованиями [5], а также, результатами анализа использования мощностей системы электроснабжения шахты имени Чиха ОАО «Ростовуголь», проведенного авторами, выявлена необходимость корректировки мощности в условиях неопределенности.

В первую очередь, при оптимизации пропускной способности системы электроснабжения угольной шахты, необходимо учитывать ее взаимосвязь с динамикой величин характеризующих производственную мощность шахты. Как показали исследования, ограничивающим фактором производственной мощности угледобывающего предприятия, как правило, являются технические возможности по фронту горных работ [2]. Поэтому, в первую очередь необходимо определить перспективы увеличения числа очистных забоев, степень влияния факторов экономического и техногенного характера на рост объемов добычи угля и наиболее эффективное оборудование для данных условий разработки полезного ископаемого.

С помощью экономико – математической модели прогнозирования количества очистных забоев на угледобывающем предприятии [6] обосновывается число очистных забоев и тип оборудования, при этом период прогнозирования должен соответствовать сроку службы оборудования главной понизительной подстанции, как основного элемента системы электроснабжения, максимальная величина срока службы которого составляет 24 года, в соответствии с Правилами устройства электроустановок [7]. Расчетный период пропускной способности системы электроснабжения во много раз превышает периоды, факторов, ограничивающих производственную мощность угледобывающего предприятия [1].

Одной из особенностей функционирования системы электроснабжения угледобывающего предприятия является обеспечение электроэнергией по I-й категории, от двух независимых источников. При этом Правилами устройства электроустановок установлены категории энергоснабжения каждого из подразделений шахты.

Электроприемники I-й категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания и перерыв их электроснабжения может быть допущен на время автоматического ввода резервного питания [7]. На поверхности угольных шахт к потребителям I –й категории относят: клетевой подъем и его собственные нужды, вентилятор главного проветривания и его собственные нужды, котельную, противопожарные насосы, в подземных выработках угольных шахт - центральную подземную подстанцию, главный водоотлив, центральную и перекачную углесосные станции [8].

Ко II-й категории, относят электроприемники, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым недовыпуском продукции, простоем рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушением нормальной деятельности значительного количества населения. Для электроприемников II категории допускается перерыв электроснабжения на время, необходимое для

включения резервного питания [7]. В эту группу входят скиповые подъемы, компрессорные станции, технологический комплекс, вспомогательные вентиляторы, очистные работы, электровозную откатку и зумпфовый водоотлив [8].

К III-й категории относят все остальные электроприемники, неподходящие под определения I-й и II-й категорий, перерыв в электроснабжении которых в течение времени ремонта и замены поврежденного электрооборудования не вызывает значительного ущерба у потребителя. К потребителям III-й категории относятся: механические мастерские, лесной склад, административно-бытовой комбинат, освещение промплощадки и зданий, подготовительные работы. При этом время перерыва электроснабжения не должно превышать одних суток [7].

Необходимо отметить целый ряд внешних стохастических факторов, влияющих на функционирование системы электроснабжения, таких как: стоимость электроэнергии, цена угля, цена эксплуатационных услуг. К факторам, возникающим вследствие работы технологических звеньев шахты, следует отнести: объем эксплуатационных услуг на функционирование системы электроснабжения шахты, количество потребляемой электроэнергии подразделениями, потери трансформатора главной понизительной подстанции, время простоев подразделений. Величины цены угля, стоимости электроэнергии, затрат на эксплуатационные услуги, перед статистической обработкой следует дисконтировать по индексу инфляции, устанавливаемому Государственным Комитетом по статистике Российской Федерации.

На основе статистических данных выразим некоторые случайные величины, используемые при моделировании системы электроснабжения шахты. Минимальное и максимальное значения цены угля в рассматриваемый период составляли [9] соответственно: $\underline{L} = 263$ руб./т., $\overline{L} = 371,57$ руб./т., тогда случайную величину цены угля можно выразить функцией: $L(\omega_k) = \underline{L} + \omega_k(\overline{L} - \underline{L})$, $\omega_k \in [0,1]$ - случайная величина, равномерно распределенная в интервале $[0,1]$. Тогда получим: $L(\omega_k) = 263 + 108,57\omega_k$, $\omega_k \in [0,1]$ - случайная величина, равномерно распределенная в интервале $[0,1]$.

Минимальное и максимальное значения суммы эксплуатационных затрат на единицу мощности в рассматриваемый период составляли соответственно $\underline{q} = 337,40$ руб./МВт, $\overline{q} = 1291,39$ руб./МВт, тогда случайную величину удельных эксплуатационных затрат можно выразить функцией: $q(\omega_k) = \underline{q} + \omega_k(\overline{q} - \underline{q})$, где $\omega_k \in [0,1]$ - случайная величина, равномерно распределенная в интервале $[0,1]$, отсюда, $q(\omega_k) = 337,40 + 953,99\omega_k$, $\omega_k \in [0,1]$ - случайная величина, равномерно распределенная в интервале $[0,1]$.

Минимальное и максимальное значения стоимости электроэнергии в рассматриваемый период составляли соответственно $\underline{c} = 0,198$ руб., $\overline{c} = 0,334$ руб., тогда случайную величину стоимости электроэнергии можно выразить функцией: $c(\omega_k) = \underline{c} + \omega_k(\overline{c} - \underline{c})$, где $\omega_k \in [0,1]$ - случайная величина, равномерно распределенная в интервале $[0,1]$. Таким образом, $c(\omega_k) = 0,198 + 0,136\omega_k$,

$\omega_k \in [0,1]$ - случайная величина, равномерно распределенная в интервале $[0,1]$.

Как показали статистические исследования добычи угля на шахте имени Чиха ОАО «Ростовуголь», случайная величина объема добываемого угля распределена по нормальному закону распределения, что соответствует исследованиям в этой области [2].

Таким образом, на основе статистических данных получим функцию распределения объема добываемого угля в лаве:

$$Ff(\omega_k) = \frac{1}{41435,75 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^{\omega_k} e^{-\frac{(t-1321975)^2}{2 \cdot 4143575}} dt,$$

где $\omega_k \in [0,1]$ – случайная величина, равномерно распределенная в интервале $[0,1]$.

Время простоев подразделений, как видно из рисунка 1, зависит от множества техногенных, горногеологических, социальных и других факторов.



Рис.1. Классификация случайных факторов,
влияющих на работу лав и внутришахтного транспорта

К социальным факторам следует отнести те ситуации, которые вызывают простои оборудования в силу нарушений правил техники безопасности, низкой квалификации работников, высокой заболеваемости и высокой социальной напряженности, отражающейся на функционировании шахты в виде забастовок. При этом необходимо отметить, что для анализа, систематизации и определения вероятностных характеристик с достаточной степенью достоверности социальных факторов необходимо рассматривать множество событий происшедших за большой период времени, что делает невозможным рассмотрение этого вопроса в настоящей работе.

Как видно из рисунка 1, к горногеологическим факторам относятся: пережим угольного пласта, повышенная обводненность, резкое увеличение горного давления в лаве. Техногенные факторы, влияющие на работу лав, подразделяются следующим образом: отсутствие напряжения, повреждение кабеля, замена и ремонт электрооборудования, уборка породы от обрушения кровли, замена и ремонт оборудования с механическими повреждениями, проведение подготовительных работ в нишах. Среди техногенных стохастических влияний на работу внутришахтного транспорта выделены следующие группы: отсутствие порожних вагонеток, ремонт и замена оборудования, ремонт электровозов.

Таким образом, при моделировании функционирования системы электроснабжения угледобывающего предприятия необходимо учитывать целый ряд факторов, как правило, обладающих стохастическим характером, и позволяющих более точно характеризовать состояние моделируемого объекта.

Литература

1. Науменко К.Д., Кулиш С.А. Организация, планирование производством на предприятиях горной промышленности. – М.: Недра, 1977. – 347 с.
2. Шрамко В.М. Производственные мощности угольных шахт и их использование. – М.: Недра, 1991. – С. 6-8.
3. Кардаш В.А. Решение задач экономической оптимизации структуры генерирующих мощностей в изолированной энергосистеме // Изв. вузов. Электромеханика. – 1994. – № 6. – С. 13-16.
4. Кардаш В.А., Плющев Д.Б. Экономическая оптимизация стохастических систем в электроэнергетике. – Новочеркасск, 1997. – С. 27-37.
5. Волощенко Н. И., Островский Э.П., Мясковский В.И. Эффективное использование электроэнергии и топлива в угольной промышленности. – М.: Недра, 1990. – 55 с.
6. Кравченко О.А. Прогнозирование объемов производства на угольной шахте / Деп. рук. № 7485. – М.: ВИНТИ, 2001.
7. Правила устройства электроустановок. 6-е изд. – Санкт Петербург.: Деан, 2000. – 14 с.
8. Медведев Г.Д. Электрооборудование и электроснабжение горных предприятий. – М.: Недра. – С. 168.
9. Отчет о производственно – хозяйственной деятельности ОАО «Ростовуголь» за 1999 г. – Шахты, 1999. – 76 с.

УДК 681.5

КОМПЛЕКСНАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Диденко А.А.

Вентильный электропривод является наиболее перспективным и находит все более широкое распространение во всех отраслях техники. Однако главным недостатком вентильного электропривода является сложность алгоритмов его управления. Использование аналоговых систем управления приводит к сильному увеличению объема аппаратуры блока управления.

Современное развитие микропроцессорной и полупроводниковой техники позволяет создавать распределенные системы контроля состояния и управления комплексом вентильных электродвигателей.

Рассматриваемая система состоит из пяти функциональных уровней, поддерживающих устройства одного класса.

Низший уровень системы содержит устройства, непосредственно получающие информацию о состоянии электродвигателя. Используются следующие контролирующие работу двигателя датчики.

Датчики тока, необходимые для контроля величины тока, протекающего в обмотках фаз электродвигателя при его работе. Они должны обеспечивать высокую точность и скорость измерения тока, необходимые для выявления и быстрой реакции на аварийные ситуации, гальваническую развязку силовой и информационной частей блока управления.

Датчики положения ротора, необходимые для определения положения ротора электродвигателя перед стартом и в любой другой момент времени его работы. Они устанавливаются на электродвигателе и юстируются таким образом, чтобы их срабатывание соответствовало рабочему циклу фазных обмоток статора.

Датчики, предназначенные для получения управляющей информации от оператора комплекса электроприводов, расположенные на пульте оператора.

К данной информации относятся:

- задаваемая величина скорости вращения ротора электродвигателя, минимальное значение которой обеспечивает запуск вентильного электродвигателя из неподвижного положения при заданной нагрузке;
- направление движения электродвигателя (правое или левое);
- реверс двигателя;
- останов двигателя.

На следующем уровне системы располагается класс устройств, предназначенных для предварительной обработки, согласования по уровню и гальванической развязки всех сигналов поступающих с нижнего уровня.

К данному классу относится устройство предварительной обработки

сигналов от датчиков положения ротора представляет собой компаратор с гистерезисом. Данная конструкция обеспечивает настройку уровня срабатывания датчиков, а также предотвращение многократного переключения компаратора при пилообразном нарастании сигнала.

На этом же уровне располагается инвертор – силовая часть блока управления. Данное устройство предназначено для согласования и преобразования управляющих сигналов контроллера в напряжение на фазных обмотках электродвигателя. В данном устройстве предусмотрена аппаратная защита силовых частей, отключающая подаваемое на фазы напряжение при возникновении аварийных ситуаций.

На третьем уровне, уровне осуществляющем непосредственное управление комплексом в режиме реального времени, располагаются устройства обработки сигналов датчиков и выдачи управляющих воздействий силовой части блока управления. Управление осуществляется контроллером по жестко заданному алгоритму. Работа алгоритма заключается анализе входных сигналов и генерации, на основе и по правилам заданного алгоритма, последовательности выходных сигналов. Сгенерированные сигналы поступают в силовую часть блока управления, а от нее на электродвигатель.

При работе комплекса в автономном режиме управление электродвигателями осуществляется в соответствии с заложенным алгоритмом работы всего комплекса. Режим реального времени используется для корректной и своевременной реакции на входные сигналы, а также быстрого отключения питающего электродвигатель напряжения при возникновении аварийных ситуаций, что сильно повышает общую надежность комплекса.

Использование сетевых возможностей контроллеров позволяет синхронизировать работу отдельных электродвигателей комплекса, что решает проблему использования единого информационного пространства для всех контроллеров комплекса.

Запуск электродвигателя происходит после нажатия оператором одной из кнопок пуска. При этом контроллер по показаниям датчиков положения ротора определяет начальную фазу для запуска электродвигателя. В дальнейшем, согласно алгоритму работы контроллера происходит переключение фазных обмоток управляемого электродвигателя. Управляющие сигналы от контроллера преобразуются в силовой части блока управления в напряжение, подаваемое на фазные обмотки двигателя.

Информация о текущих параметрах, режимах и отклонениях в работе электропривода заносится в оперативную память для дальнейшей передачи на верхний уровень и ее последующего анализа. Параллельно данная информация отображается в цифровом виде на индикаторах пульта оператора.

Самый верхний уровень системы предназначен для статистической обработки и анализа информации о работе комплекса в целом и отдельных электроприводов в частности. По результатам анализа поступившей информации получена возможность прогнозирования возможных неполадок в рассматриваемой системе. Данная возможность имеет прямое отношение к задаче повышения эффективности работы комплекса вентильного электропривода путем под-

держания на нужном уровне показателей надежности и уменьшения затрат на текущий ремонт и обслуживание.

УДК 621.313.045:621.315.61

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Шестаков А.Н., Голоснов Б.Ф.

Зависимость срока службы изоляции от ее температуры имеет резко выраженный нелинейный характер. Сравнительно незначительное (на 7-12%) превышение нормированной рабочей температуры приводит к сокращению срока службы изоляции в 2-3 раза. В условиях электродного завода крановые электродвигатели, установленные в цехе графитации, подвергаются воздействию повышенной температуры, графитовой пыли, вибрации. При выгрузке горячих электродов температура воздуха достигает $70-80^{\circ}\text{C}$, а отдельных частей крана – свыше 100°C . С учетом особенностей работы крановых электродвигателей (частые пуски, реверсы) изоляция обмоток подвергается тепловым ударам.

Для расчета срока службы изоляции электродвигателей использовались экспериментальные зависимости средних сроков службы изоляции обмоточных проводов от температуры и диаграммы изменения температуры обмотки статора, которые были получены для различных реальных условий работы (по температуре окружающей среды и режиму загрузки-выгрузки электродов) электродвигателя.

При получении диаграмм использовался метод двух термопар, одна из которых была непосредственно закреплена на обмотке статора, а другая соприкасалась с окружающим воздухом. Термопары подключались к регистратору величины термоэлектродвижущей силы таким образом, чтобы исключить погрешность от изменяющейся температуры окружающей среды. Время, в течение которого записывались диаграммы, составляло от трех до шести часов.

«Отжитые часы изоляции» за время работы электродвигателя представляют собой сумму «отжитых часов», рассчитанных для каждого интервала времени, взятого из диаграммы, при котором температура изоляции была постоянной.

Диаграммы изменения температуры изоляции позволили выявить многочисленные случаи когда скорость нарастания температуры во много раз превышала предельно допустимую $3^{\circ}\text{C}/\text{с}$, установленную ГОСТом для обмоточных проводов с эмалевой изоляцией, а температура обмотки значительно превышала максимальную рабочую температуру изоляции.

Анализ полученных диаграмм и расчетов использован для выработки рекомендаций эксплуатационным и ремонтным службам предприятия.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ(НПИ), каф. ЭППиГ, т. 55-650,
e-mail: ers@eps.srstu.novoch.ru

УДК 519.71

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПРЯМОГО АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ С КОМПЕНСАТОРОМ

Без применения вычислительных средств на этапе имитационного моделирования невозможен современный уровень проектирования адаптивных систем управления. К таким системам можно отнести и управление энергетическими комплексами, и теплоэнергетику, и популяцию животных, и предприятие, работающее в условиях слабо регулируемых рыночных отношений. В работе рассматривается создание программного комплекса, как удобного, наглядного и достаточно универсального средства имитационного моделирования адаптивных систем управления, описанных уравнениями вида

$$\frac{dx(t)}{dt} = \sum_{i=1}^k A_i x_i(t - \tau_i) + \Gamma \frac{dx(t - \tau_0)}{dt} + Bu(t) + f(t); \quad (1)$$

$$x(s) = \varphi(s), \quad s \in [-\tau_k, 0], \quad 0 = \tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_k;$$

$$\frac{dx(s_1)}{ds_1} = \frac{d\varphi_1(s_1)}{ds_1}, \quad s_1 \in [-\tau_0, 0]$$

$$y(t) = L^T x(t), \quad v(t) = G^T(t) y(t), \quad (2)$$

$$u(t) = \chi_1(t) D(p) r(t) + \chi_2(t) [D(p) r(t) - v(t)] + \chi_3(t) g_3^T \frac{dy(t - \tau)}{dt}, \quad (3)$$

Предлагаемая система имитационного моделирования представляет собой автоматизированный расчетно-аналитический пакет прикладных программ, разработанный в рамках интерактивной системы MatLab for Windos . После запуска приложения на экране появляется окно выбора системы управления, область вывода подсказок, управляющие кнопки. Здесь необходимо выбрать интересующую адаптивную систему управления или действие и нажать соответствующую кнопку. После выбора системы управления, на экране появляется окно моделирования выбранной системы управления, содержащее область вывода графиков (результатов моделирования). Как и любое приложение программной среды MatLab, предлагаемый ППП обладает необходимой гибкостью и открытостью, что допускает его дальнейшую модификацию с целью создания универсального набора инструментов для имитационного моделирования адаптивных систем управления, а также позволяет, расширять класс решаемых задач и изменять процедуру ввода и вывода информации.

Одним из преимуществ написанной программы является интуитивно понятный многооконный интерфейс, наглядность и простота работы.

675027 г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, 21, АмГУ, каф. ИУС, т. 35-06-81
e-mail: eremin@amursu.ru

УДК 681.5

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Эффективное управление такой сложной социально-экономической системой, как предприятие, невозможно без инструмента аналитической обработки данных о состоянии предприятия и его взаимодействии с внешним миром. Постоянная доступность актуальной информации дает возможность оценить текущее положение дел, а обзор изменения конкретных характеристик во времени позволяет обнаружить тенденции развития системы и сделать прогноз того, что ожидает ее в будущем. Таким образом, встроив методы моделирования и анализа в свои бизнес-процессы, руководство предприятия будет в состоянии принимать грамотные и оперативные управляющие решения.

Для решения подобных задач предназначены системы поддержки принятия решения (СППР) – системы, обеспечивающие на базе имеющихся данных получение управляющим звеном информации, необходимой для тактического планирования деятельности предприятия. Они позволяют выявлять различные функциональные и логические закономерности, а затем осуществлять построение моделей и правил, которые объясняют найденные аномалии и/или (с определенной вероятностью) прогнозируют развитие производственных бизнес-процессов. СППР могут опираться как на анализ данных из корпоративных информационных систем, так и на моделирование деятельности предприятия.

Процесс моделирования позволяет представлять в рамках динамической компьютерной модели действия людей и применение технологий, используемых в изучаемых процессах деятельности предприятия. Как правило, к имитационному моделированию прибегают когда необходимо решать такие задачи, как определение приоритетов экономической политики на среднесрочную и долгосрочную перспективы, выбор механизмов воздействия на процесс производства, повышение эффективности использования ресурсов, определение всевозможных тарифных коэффициентов и т.п. Новая политика, управляющие процедуры, правила принятия решений, организационная структура, потоки информации и т.д. могут быть исследованы без вмешательства в работу реальной системы. Новые технические средства, планы размещения, программное обеспечение, транспортные системы и т. п. могут быть опробованы до того, как деньги, время и другие ресурсы будут потрачены на их приобретение и/или создание. Имитационное моделирование позволяет проверять гипотезы о причинах возникновения тех или иных наблюдаемых феноменов, даёт возможность рассматривать процессы в различных масштабах времени, помогает выделить переменные, наиболее важные для успешного функционирования моделируемой системы, и проанализировать имеющиеся между ними связи, а также выявить "узкие места" в материальных, информационных и других потоках.

Для решения вышеописанных задач применительно к энергетическим предприятиям разрабатывается специализированная СППР. В её основу закладывается функциональная модель типичного предприятия электросетей, учитывающая специфику его производственных процессов. Система предназначена для функционирования на стыке технологической и экономической областей. Недостаток большинства существующих систем состоит в том, что они

чаще всего функционируют либо только в области экономических параметров (системы планирования ресурсов предприятия), либо только в области технологических процессов (системы паспортизации оборудования). А принимать решения зачастую приходится именно на стыке этих областей (например, какой экономический эффект даст внедрение нового технологического процесса). Таким образом, в качестве входных данных модель использует как параметры экономического характера (тарифы и стратегии их изменения, способ начисления амортизации, методы планирования ремонтных работ и т.д.), так и технические характеристики эксплуатируемого оборудования (например, распределение оборудования по группам и его физический износ). Варьируя входные параметры, система позволит моделировать их влияние на интегральные экономические показатели деятельности предприятия с использованием различных стратегий управления. По результатам просчета различных сценариев развития событий можно делать выводы о том, каких стратегий управления лучше придерживаться в тех или иных ситуациях, а также вырабатывать предложения по улучшению существующих бизнес-процессов предприятия.

На настоящий момент реализована упрощенная имитационная модель функционирования энергетического предприятия, позволяющая на основе технико-экономических входных данных спрогнозировать некоторые показатели эффективности деятельности предприятия. Основными входными данными являются характеристики ввода в эксплуатацию и износа оборудования и такие регулируемые параметры, как способ начисления амортизации, правила использования ремонтного фонда, фондов накопления и амортизации, тарифы покупки и продажи и стратегия их изменения и т.п. В качестве результата можно получить такие показатели, как размер чистой прибыли, величины налогов, прогнозируемые затраты на аварийные ремонты и некоторые другие.

Работающая модель копирует текущую деятельность компании. Предприятие представляется неким алгоритмом формирования величин основных денежных потоков на предприятии и изменения состава и состояния своих основных средств. Действия моделирования выполняются в цикле. Тело цикла выполняется для каждого года моделирования и состоит из трех основных этапов – расчет плановых показателей года функционирования экономической системы, ежемесячное моделирование преобразования состава и состояния основных средств, расчет практического состояния экономической системы на конец финансового года. Состав рассчитываемых плановых и фактических характеристик экономической системы в принципе одинаков, но часть из них при расчете плана не вычисляются, а прогнозируются исходя из результатов предыдущего года. Среди общих характеристик экономической системы основными можно считать объем продаваемой электроэнергии, общую себестоимость, тариф отпуска электроэнергии, общую прибыль. При ежемесячном преобразовании состояния основных средств проводится моделирование списания старых и ввода новых основных средств, начисление износа на основные средства, пересчет сроков работы и коэффициентов переработки по группам оборудования (коэффициент переработки определяется как отношение реального срока службы оборудования к сроку полезного использования), расчет средств, необходимых

для проведения комплекса плановых и аварийных ремонтов (фактически это распределение средств ремонтного фонда между аварийными и плановыми). Статистические параметры элементов модели фиксируются, и на основе анализа выходных данных может быть получена оценка эффективности процесса. Варьируя переменные данные в рамках модели можно достаточно точно предсказать, сравнить или оптимизировать показатели эффективности моделируемых процессов деятельности предприятия.

Анализ результатов прогонов модели с различными входными параметрами позволяет делать выводы о целесообразности тех или иных управленческих решений, в частности, целесообразность проведения реструктуризации основных средств, выбор способа начисления амортизации, способ распределения ремонтного фонда и т.п. Например, анализ результатов прогонов модели с различными способами начисления амортизации показал, что для формирования максимального амортизационного фонда в период подготовки к массовому обновлению основных фондов целесообразно фиксировать в учетной политике предприятия линейный способ начисления амортизации, а в последующие за этим годы, когда доля вновь введенных объектов будет достаточно велика, – ускоренные методы начисления амортизации. Анализ результатов прогонов модели с различными стратегиями использования ремонтного фонда показал, что перевод ремонтных фондов, фактически направляемых на реконструкцию, в увеличение стоимости основных средств приводит к увеличению амортизации и прибыли, но также к значительному увеличению налогов.

Таким образом, грамотное проведение моделирования и анализа деятельности предприятия позволяет более эффективно управлять предприятием и принимать грамотные решения по применению мер регулирования, что особенно это актуально при проведении реинжиниринга бизнес-процессов предприятия.

Литература

1. Щавелёв Л.В. Способы аналитической обработки данных для поддержки принятия решений // Системы управления базами данных. – 1998. – № 4-5.
2. Пржиялковский В.В. Сложный анализ данных большого объема: новые перспективы компьютеризации // Системы управления базами данных. – 1996. – № 4.
3. Сахаров А.А. Концепции построения и реализации информационных систем, ориентированных на анализ данных. // Системы управления базами данных. – 1996. – № 4.
4. Львов В. Создание систем поддержки принятия решений на основе хранилищ данных. // Системы управления базами данных. – 1997. – № 3.

620002 г.Екатеринбург, ул.Мира 19, а/я 109, тел. (3432) 59-00-19,
e-mail: dimabubb@daks.utk.ru

МОДЕЛИРУЕМЫЕ СТРАТЕГИИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ПОИСКА НОВЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Иванов В.В.

В основе стратегий целенаправленного поиска неорганических веществ с заданными свойствами лежит возможность разложения любого химического, физического или физико-химического свойства (S) на три компоненты, зависящие соответственно от химического состава (S_C), кристаллической структуры (S_R) и специфического состояния (S_U):

$$S = \alpha S_C + \beta S_R + \gamma S_U \quad \text{или} \quad S = S_C^\alpha S_R^\beta S_U^\gamma$$

Условие выполнения нормировочного соотношения $\alpha + \beta + \gamma = 1$ эквивалентно утверждению о том, что качественные и количественные параметры химического состава вещества полностью определяют его кристаллическую структуру, особенности и параметры которой в свою очередь полностью определяют состояние кристалла [1-3]. В связи с этим могут быть получены три принципиально различные стратегии целенаправленного поиска веществ и соответствующие им три группы прогнозных задач.

Стратегия 1. $((E_C \Rightarrow C) \Rightarrow R_C) \Rightarrow U_C \Rightarrow S_C$. Задачи: а) прогнозирование состава веществ из данных о качественном его содержании; б) моделирование структуры веществ на основе данных о его химическом составе; в) определение параметров состояния вещества по данным о его структуре и составе; г) расчет свойства вещества, чувствительного к составу, по данным о параметрах вызывающего его состояния.

Стратегия 2. $((E_R \Rightarrow R) \Rightarrow C_R) \Rightarrow U_R \Rightarrow S_R$. Задачи: а) прогнозирование структур веществ из первичных структурных элементов; б) прогнозирование состава вещества с заданными структурой и ее особенностями; в) расчет параметров состояния вещества на основе данных о структуре и составе; г) определение структурно-чувствительного свойства вещества по данным о параметрах состояния.

Стратегия 3. $((E_U \Rightarrow U) \Rightarrow R_U) \Rightarrow C_U \Rightarrow S_U$. Задачи: а) определение параметров заданного состояния вещества из первичных данных об элементах состояния; б) моделирование структуры вещества, обуславливающее данное состояние; в) прогнозирование состава веществ по данным о структуре и состоянии; г) расчет свойства вещества, чувствительного к параметрам состояния.

Литература

1. Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 276 с.
2. Урусов В.С. Энергетическая кристаллохимия. – М.: Наука, 1978. – 354 с.
3. Современная кристаллография. В 4-х томах. Т.1. Симметрия кристаллов. Методы структурной кристаллографии. – М.: Наука, 1979. – 364 с.

**КОМБИНАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНЫХ
ФРАГМЕНТАРНЫХ СТРУКТУР НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
КАК ПОСЛЕДНИЙ ЭТАП
СТРУКТУРНО-КОМБИНАТОРНОГО АНАЛИЗА**

Иванов В.В.

Метод структурно-комбинаторного анализа позволяет для определенного структурного типа веществ найти возможные структурно-комбинаторные варианты его реализации в генетически связанных с ним других типах. Он основан на использовании базовых неизолированных фрагментов анализируемого типа структуры: минимальных по объему и инвариантных по топологии структурных единиц, качественный и количественный состав которых соответствует химическому составу вещества.

Процедура реализации метода: 1) структурно-топологический анализ, целью которого является вывод исходных для моделирования структур изолированных и неизолированных фрагментов на основе анализа кристаллохимических особенностей заданного типа структуры вещества; 2) комбинаторный анализ выведенных фрагментов с целью выбора возможных вариантов объединения их в блоки и модули, а также возможных вариантов упаковки полученных модулей в кристаллическом пространстве; 3) структурное моделирование, т.е. создание моделей структур в виде условных кристаллографических моделей, либо в виде графического изображения взаимного расположения структурных единиц; идентификация фрагментарных структур.

Осуществлено моделирование структур шпинеллоидов [1], катионпроводящих структур [2], структур электродов химических источников тока в системах Li-Me (Me = Sn, Pb) [3] и Li-C [4]. Результаты моделирования могут быть использованы для прогнозирования возможных нерелевантных модификаций определенных структурных типов в исследуемых химических системах.

Литература

1. Иванов В.В., Таланов В.М. Мир шпинеллоидов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естественные науки. – 1996. – № 1. – С. 67-73.
2. Иванов В.В., Скалзубов Д.М. Прогноз неорганических катионных проводников $A_aB^{8-a}X_4$ ($a=2,5,6$) и $A_7B^4X_4$ по геометрическим критериям для A_3BX_4 // Неорган. материалы. – 1992. – Т. 28. – № 2. – С. 369-375.
3. Иванов В.В., Калайда В.Г., Ходарев О.Н. Моделирование структур упорядоченных литий-содержащих сплавов в системах Li - Me (Me = Sn, Pb) // Электрохимия мембран и процессы в тонких ионпроводящих пленках и электродах: Матер. Всеросс. конф. – Саратов: СГТУ, 1999. – С.12-14.
4. Иванов В.В. Моделирование одноступенчатых р-слойных структур упорядоченных фаз внедрения металла в графит // Электрохимия мембран и процессы в тонких ионпроводящих пленках и электродах: Матер. Всеросс. конф. – Саратов: СГТУ, 1999. – С.8-11.

КОМБИНАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ КРИСТАЛЛОСТРУКТУРНЫХ ТИПОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ КАК ЭТАП РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА СТРУКТУРНО-ТОПОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Иванов В.В.

Метод структурно-топологического анализа применяется для вывода кристаллоструктурных типов, которые обладают заданным набором структурных особенностей, обеспечивающим необходимые физические или физико-химические свойства веществ. Метод основан на использовании результатов систематического вывода комбинаций заполняющих E^3 -пространство правильных и полуправильных изогонов. Данные изогоны могут быть получены с помощью метода генерирования базовых совокупностей атомов в виде $K_{spf}^{(3)}$ -структур с топологически идентичными $e_{spf}^{(0)}$ -элементами.

Основные этапы реализации метода: 1) геометрико-топологический анализ комбинации изогонов, заключающийся в анализе геометрии структурных каналов и топологии возможных вариантов их заполнения; 2) комбинаторно-топологический анализ и моделирование идеализированных типов веществ, их идентификация; 3) анализ возможных модификаций структурных типов с помощью методов теоретико-решеточного анализа.

С помощью комбинаторного моделирования получены: катионпроводящие структуры веществ, используемых в твердофазных химических источниках тока (а – катионные проводники [1,2], б – электродные материалы [3,4]); структуры антифрикционных материалов, обладающих структурно-фазовой разупорядоченностью, с тригонпризматическими и октаэдрическими структурными типами [5]; структурные модификации шпинели [6].

Литература

1. Иванов В.В., Колomoец А.М. Прогнозирование состава твердых электролитов на основе галогенидов меди // Изв. АН СССР. Неорган.материалы. – 1987. – Т. 23. – №3. – С.501-505.
2. Иванов В.В., Скалoзубов Д.М. Методика поиска неорганических катионных проводников по геометрическим критериям // Изв. АН СССР. Неорган.материалы. – 1990. – Т. 26. – № 11. – С. 2383-2388.
3. Ерейская Г.П., Иванов В.В., Ходарев О.Н., Филимонов Б.П. Исследование обратимости β - MnO_2 электродов в апротонных электролитах // Электрохимия. – 1991. – Т. 27. – № 8. – С. 1046-1049.
4. Иванов В.В. Анализ виртуальных одномерных гомологических рядов оксидов переходных металлов с октаэдрическими структурами // Электрохимия мембран и процессы в тонких ион-проводящих пленках и электродах: Матер. Всеросс. конф. – Саратов:СГТУ, 1999. – С.43-44.
5. Иванов В.В., Логинов В.Т., Башкиров О.М. и др. О структурно-фазовой разупорядоченности на поверхности антифрикционных материалов // Антифрикционные материалы специального назначения: Сб.науч.тр. / Юж.Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999. – С.93-98.
6. Иванов В.В. Возможные кристаллические структуры фаз внедрения лития в диоксиды переходных металлов // Литиевые источники тока: Мат. 6-ой междунар. конф. (Новочеркасск, сент.,2000 г.). – Новочеркасск: Наблa, 2000. – С. 24-25.

GOMOLOGIC MODEL OF STRUCTURE FORMATION AND MODELING OF THE ORDERED AND DISORDERED ALLOYS IN THE SYSTEMS Li-Me (Me = Sn, Pb)

Ivanov V.V., Kalaida V.G.

Приведены результаты использования гомологической модели структурообразования двойных сплавов. Получены составы и идентифицированы структуры возможных упорядоченных состояний в системах Li-Sn и Li-Pb, а также разупорядоченных твердых растворов на их основе.

The gomologic model of structure formation of the binary alloys by 1-dimensional crystallographic displacement in systems Li-Me was suggested. The principal results of this theoretic model are confirmed by the known experimental statistics in systems Li-Sn and Li-Pb.

The possible ordered structures of binary compounds and their characteristics such as the gomolog's number in series, the composition, the corresponding space group, the quantity of formula in unit cell and its relative parameters were determined.

The ordered structures of the first gomologic series $\text{Li}_{3n-2}\text{Me}_n$ are the following:

- $n = 1$. LiMe, $R \bar{3}m$ ($z=6$) ($2 \cdot 3^{-1/2}a_0, 3c_0$);
- $n = 2$. Li_2Me , $P \bar{3}m1$ ($z=1$) (a_0, c_0);
- $n = 3$. Li_7Me_3 , $C2/m$ ($z=4$) ($3^{1/2}a_0, a_0, 6,67c_0, 98^\circ$);
- $n = 4$. Li_5Me_2 , $C2/m$ ($z=4$) ($3^{1/2}a_0, a_0, 4,67c_0, 100^\circ$);
- $n = 5$. $\text{Li}_{13}\text{Me}_5$, $C2/m$ ($z=2$) ($3^{1/2}a_0, a_0, 6c_0, 90^\circ$);
- $n = 6$. Li_8Me_3 , $C2/m$ ($z=2$) ($3^{1/2}a_0, a_0, 3,67c_0, 104^\circ$);
- $n = \infty$. Li_3Me , $Fm3m$ ($z=4$) ($0,67(3a_0^2 + 4c_0^2)^{1/2}$).

The ordered structures of the second gomologic series $\text{Li}_{5n-3}\text{Me}_n$ are:

- $n = 1$. Li_2Me , $P \bar{3}m1$ ($z=1$) (a_0, c_0);
- $n = 2$. Li_7Me_2 , $P \bar{3}m1$ ($z=1$) ($a_0, 3c_0$);
- $n = 3$. Li_4Me , $P \bar{3}m1$ ($z=3$) ($a_0, 5c_0$);
- $n = 4$. $\text{Li}_{17}\text{Me}_4$, $C2/m$ ($z=4$) ($3^{1/2}a_0, a_0, 14c_0, 90^\circ$);
- $n = 5$. $\text{Li}_{22}\text{Me}_5$, $C2/m$ ($z=2$) ($3^{1/2}a_0, a_0, 9c_0, 90^\circ$);
- $n = 6$. Li_9Me_2 , $C2/m$ ($z=1$) ($3^{1/2}a_0, a_0, 7,67c_0, 85^\circ$);
- $n = \infty$. Li_5Me , $P \bar{3}m1$ ($z=4$) ($a_0, 2c_0$).

The conformity of the theoretic structures for alloys LiSn and LiPb ($R \bar{3}m$), Li_2Pb ($P \bar{3}m1$), Li_7Sn_3 , Li_5Sn_2 and $\text{Li}_{13}\text{Sn}_5$ ($C2/m$), Li_3Bi , Li_3Sb and Li_3Pb ($Fm3m$) to real structures was fixed. However, the predicted structures of alloys with compositions $\text{Li}_{5n-3}\text{Me}_n$ ($n \geq 3$) were contradicted to structures which received experimentally. Obviously these structures are a members of some 2- or 3-dimensional gomologic rows. The possibility of existence of the disordered phases and their forming mechanisms were discussed.

MODELING OF THE POSSIBLE 1,P-STRUCTURES OF ORDERED AND DISORDERED ALKALI-GRAPHITE INTERCALATION PHASES

Ivanov V.V.

Приведены результаты моделирования возможных одноступенчатых p-слойных структур упорядоченных фаз внедрения щелочных металлов в графит. Проведен сравнительный анализ с известными экспериментальными данными. Обсуждается возможность образования на их основе разупорядоченных твердых растворов, а также состояния структурно-фазовой разупорядоченности.

The purpose of our structural modeling is essentially to determine the total set of the possible 1,p-structures of the ordered and disordered intercalation phases with general formula MC_n and MC_{n+x} accordingly. Here M denotes the alkali metals, n and x are the composition parameters describing the character of the metal atoms arrangement in epitaxy on the carbon matrix.

Only the ideal structures with a regular stacking of the metallic layers along the $\bar{c}$ axis were considered. The possible basis vectors for trigons of the M-sublattice, and the variants of stacking M-layers in ordered structures were determined.

The description of the possible ordered phases compositions and the corresponding p-layering, stacking codes, space group and quantity of formula in unit cell is the following:

MC_6 : 1 - $(\alpha\alpha)$ P6/mmm (1); 2 - $(\alpha\beta\alpha)$ P6₃/mmc (4); 3 - $(\alpha\beta\gamma\alpha)$ R $\bar{3}m$ (3);

MC_8 : 1 - $(\alpha\alpha)$ P6/mmm (1), $(\alpha\alpha)$ Pmmm (1); 2 - $(\alpha\gamma\alpha)$ Fmmm (4);

3 - $(\alpha\beta\gamma\alpha)$ P6₂₍₄₎22 (3); 4 - $(\alpha\beta\gamma\delta\alpha)$ Fddd (8);

MC_{10} : 1 - $(\alpha\alpha)$ Cmmm (2); 4 - $(\alpha\beta\gamma\delta\alpha)$ Pmn2₁ (8);

MC_{12} : 1 - $(\alpha\alpha)$ Pmmm (1), $(\alpha\alpha)$ P2/m (1); 4 - $(\alpha\beta\gamma\delta\alpha)$ P2₁ (4),
 $(\alpha\beta\gamma\delta\alpha)$ Pmn2₁ (4);

MC_{14} : 1 - $(\alpha\alpha)$ P6/m (1); 2 - $(\alpha\gamma\alpha)$ P2₁/m (2); 3 - $(\alpha\beta\gamma\alpha)$ P3₁₍₂₎ (3);
4 - $(\alpha\beta\gamma\delta\alpha)$ P2₁ (4);

MC_{18} : 1 - $(\alpha\alpha)$ P6/mmm (1), $(\alpha\alpha)$ P2/m (1); 2 - $(\alpha\delta\alpha)$ P6₃/mmc (4);
3 - $(\alpha\delta\delta\alpha)$ R $\bar{3}m$ (3); 4 - $(\alpha\delta\gamma\delta\alpha)$ C222₁ (8), $(\alpha\beta\gamma\delta\alpha)$ P2₁ (4);

MC_{20} : 1 - $(\alpha\alpha)$ P2/m (1); 4 - $(\alpha\beta\gamma\delta\alpha)$ P2₁ (4);

MC_{24} : 1 - $(\alpha\alpha)$ P6/mmm (1); 2 - $(\alpha\epsilon\alpha)$ P6₃/mmc (1), $(\alpha\delta\alpha)$ Fmmm (4);
3 - $(\alpha\epsilon\xi\alpha)$ R $\bar{3}m$ (3), $(\alpha\delta\delta\alpha)$ P6₂₍₄₎22 (3); 4 - $(\alpha\beta\gamma\delta\alpha)$ Fddd (8),
 $(\alpha\epsilon\xi\epsilon\alpha)$ C222₁ (8).

Up to now, one knows only two compositions: MC_6 (M – Li, Na) and MC_8 (M – K, Rb Cs). In this work the existence of hexagonal 1,p-structures with compositions MC_{14} and MC_{18} (when M - Rb, Cs) was predicted.

The existence of possible disordered phases and the condition of structurally-phase disordering was discussed.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АБСОРБЕРА-ОКИСЛИТЕЛЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЕРНОКИСЛОТНОГО МЕЛИОРАНТА

Лыков В.Ю.

Ранее рассматривалась проблема моделирования производства серно-кислотного мелиоранта из отходящих газов промышленных предприятий, в частности тепловых электростанций (ТЭС), содержащих диоксид серы [1]. Для технико-экономического обоснования выбора одного из двух методов была рассмотрена задача математического моделирования основного аппарата кислотно-каталитического способа получения H_2SO_4 – абсорбера-окислителя, результатом решения которой является зависимость между объемом обессериваемых газов и конструктивными размерами аппарата. Эта зависимость станет основой для расчетов экономической эффективности рассматриваемого способа.

Используя рекомендации и допущения [2] была построена модель процесса хемосорбции SO_2 раствором серной кислоты в противоточном абсорбере, которая позволяет рассчитать высоту и диаметр контактного устройства (а значит и оценить производственные затраты) исходя из объема и состава газовой смеси, требуемой степени очистки, температуры, давления и скорости жидкой и газовой фаз. Численное решение было получено для двух случаев: газовая смесь содержит 0,1% об. (обычное топливо для ТЭС) и 0,3% об. (высокосернистое топливо) диоксида серы. В результате были получены зависимости стоимости 1 т. H_2SO_4 , полученной при очистке отходящих газов типовой ТЭС, от объемов очищаемой смеси, учитывающие капитальные и эксплуатационные затраты, а также снижение выплат предприятия за загрязнение окружающей природной среды, см. табл. 1.

Таблица 1

Содерж. SO_2	Стоимость 1т. H_2SO_4 в зависимости от произв-ти абсорбера, руб.					
	$10^4 \text{ м}^3/\text{ч}$	$2,5 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{ч}$	$5 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{ч}$	$7,5 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{ч}$	$10^5 \text{ м}^3/\text{ч}$	$2 \cdot 10^5 \text{ м}^3/\text{ч}$
0,1% об.	1245	1147	1044	948	891	730
0,3% об.	1150	1064	986	896	812	680

Полученные данные станут основой для дальнейших расчетов экономической эффективности предложенной технологии.

Литература

1. Лыков В.Ю. Проблемы моделирования каталитического реактора окисления диоксида серы в аспекте получения сернокислотного мелиоранта // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: Материалы междунар. науч.-практич. конф., Новочеркасск, 8 фев. 2001 г.: В 5 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: НАБЛА, 2001. – Ч. 1. – С. 43-45.
2. Аксельрод Ю.В. Кинетика, моделирование и интенсификация газожидкостных хемосорбционных процессов // Химическая промышленность. – 1985. – № 5. – С. 45-52.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДНЫХ ЛЕНТ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА.

1. КОМПЕНСАЦИЯ ОПЕРЕЖЕНИЯ И ОТСТАВАНИЯ ЛЕНТ

Сербиновский М.Ю., Волощук В.Г., Федорчук В.Е.

Химические источники тока рулонной конструкции перспективны, поэтому решение проблем связанных с их производством, в том числе, с изготовлением ленточных электродов является важной и актуальной задачей.

Процесс формования электродных лент обычно включает прокатку лент активной массы и последующую накатку их на сетчатый токоотвод. Обеспечение стабильности такого процесса связано с поддержанием определенного отношения между скоростью поступления лент активной массы в зону накатки лент на токоотвод и линейной скоростью поверхности валков накатки. Формование электродных лент сопровождается процессами опережения, отставания и усадки лент активной массы. Таким образом, в межвалковом пространстве или

в пространстве между формирующим зазором и зазором валков прокатки абсолютная деформация лент Δl складывается из трех составляющих:

$$\Delta l = \Delta l_{on} + \Delta l_{om} - \Delta l_{yc}, \quad (1)$$

где Δl_{on} , Δl_{om} и Δl_{yc} — соответственно, опережение, отставание и усадка лент активной массы.

Опережение лент активной массы проявляется только в случае формования в валках с гладкой поверхностью. Применение рифленых валков и валков, обтянутых тканью, позволяет исключить опережение, т.е. в этом случае $\Delta l_{on} = 0$. Отставание лент не удается ликвидировать. Усадка лент зависит от температуры в межвалковом пространстве. При комнатной температуре усадка мала и ее величиной за время пребывания в межвалковом пространстве можно пренебречь ($\Delta l_{yc} = 0$).

Устройство формования ленточных электродов, выполненное по схеме 1 (см. рис.1), может иметь отдельные управляемые приводы

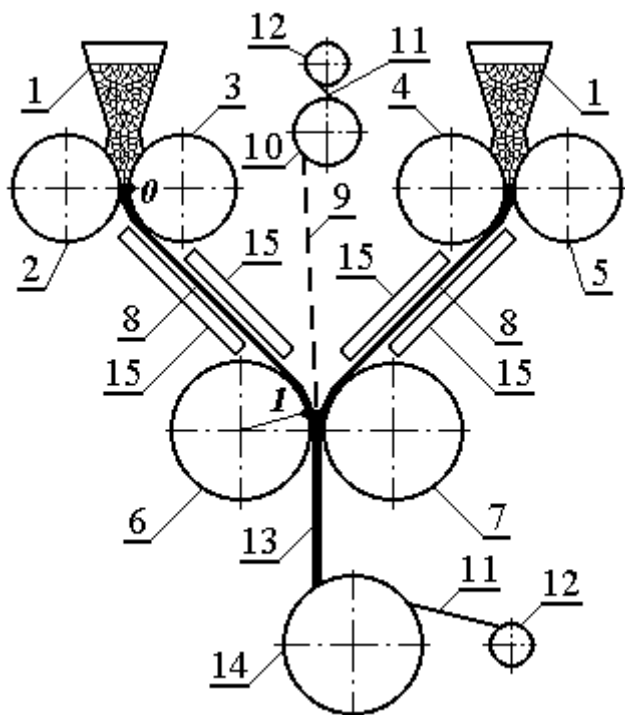


Рис.1. Схема установки формования электродной ленты (схема 1):

1 — бункер с активной массой, 2-5 — валки формования лент активной массы, 6 и 7 — валки накатки лент, 8 — лента активной массы, 9 — лента токоотвода, 10 — бобина с лентой токоотвода, 11 — прокладочная лента, 12 — бобина для прокладочной ленты, 13 — электродная лента, 14 — бобина намотки электродной ленты, 15 — нагреватели

вращения валков формирования активной массы и валков накатки, либо валки могут быть кинематически связаны.

В первом случае деформация лент активной массы компенсируется регулированием угловых скоростей первых и второй пар валков, т.е. формирующих валков и валков накатки.

Если за некоторый интервал времени прокатки деформация части ленты активной массы в межвалковом пространстве равна Δl , то нетрудно определить требуемую скорость накатки: $v_2 = v_1 \cdot \frac{l+\Delta l}{l}$, где v_1 - скорость формирования лент активной массы, т.е. скорость первых пар валков; v_2 - скорость накатки, т.е. скорость второй пары валков; l - длина лент активной массы в межвалковом пространстве (на рис.1 - l соответствует расстоянию между точками 0 и 1).

В устройстве, выполненном по схеме 2, использовать отдельные приводы для каждого валка нельзя, поскольку средние валки 2 и 3 (см. рис. 2) одновременно входят в две прокатные пары. Все валки кинематически связаны, поэтому нужно искать другие пути компенсации деформации лент в межвалковом пространстве. Использование натяжителей, петленакопителей и компенсирующих валков нецелесообразно. Во-первых, это усложняет конструкцию

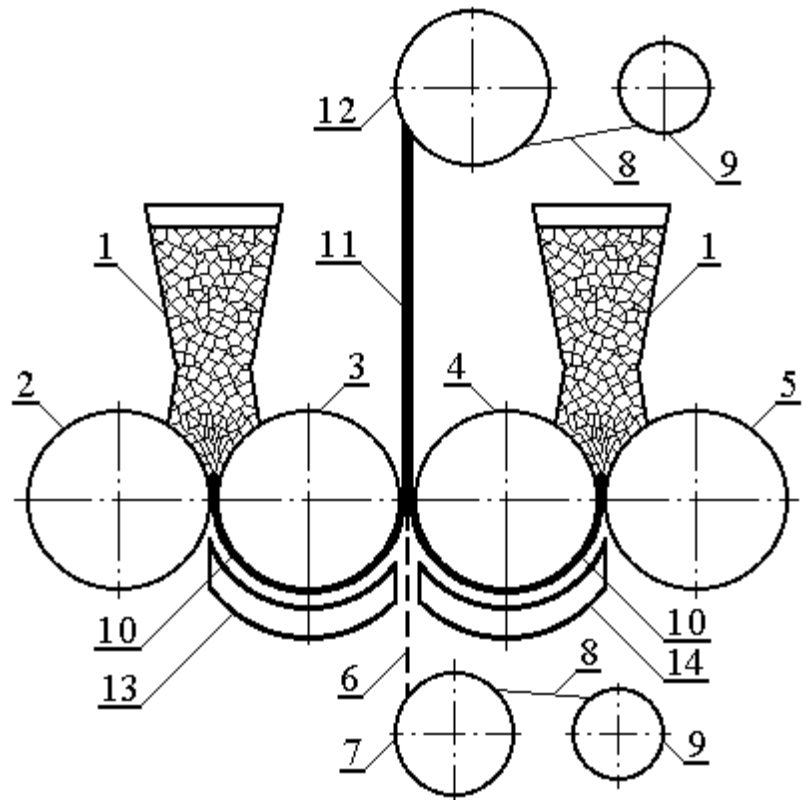


Рис.2. Схема установки формирования электродной ленты (схема 2):

- 1 – бункер с активной массой, 2-5 – формирующие валки, 6 – лента токоотвода, 7 – бобина с лентой токоотвода, 8 – прокладочная лента, 9 – бобина для прокладочной ленты, 10 – лента активной массы, 11 – электродная лента, 12 – бобина для намотки электродной ленты, 13, 14 – нагреватели

лент и, при достижении максимальной величины компенсирующей петли, необходимо останавливать прокатку. Лишь после ликвидации петли отставшей части лент активной массы процесс возобновляется. Для обеспечения непрерывности процесса прокатки электродов с помощью устройства, выполненного по схеме 2, был предложен способ компенсации отставания и опережения за счет усадки лент в межвалковом пространстве.

В работе [1] рассмотрена математическая модель процесса формирования угольных электродных лент в рифленых валках, т.е. при $\Delta l_{on} = 0$. Согласно [1] коэффициенты отставания k_{om} и усадки m , а также абсолютные величины Δl_{om} и Δl_{yc} могут быть определены по формулам:

$$k_{om} = \frac{\gamma_{л2} \cdot [h_{эл} - h_c \cdot (1 - K)]}{2\gamma_{л1} \cdot h_{л1}} \cdot \frac{b_2}{b_1}, \quad (2)$$

$$\Delta l_{om} = \frac{2\gamma_{л1} \cdot h_{л1} - \gamma_{л2} \cdot [h_{эл} - h_c \cdot (1 - K)]}{\gamma_{л2} \cdot [h_{эл} - h_c \cdot (1 - K)]} \cdot \frac{b_1}{b_2} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h}, \quad (3)$$

$$m_{min} = 2 - \frac{2\sqrt{R \cdot \Delta h}}{\pi \cdot R - \sqrt{R \cdot \Delta h}} \cdot \frac{2\gamma_{л1} \cdot h_{л1} - \gamma_{л2} \cdot [h_{эл} - h_c \cdot (1 - K)]}{\gamma_{л2} \cdot [h_{эл} - h_c \cdot (1 - K)]} \cdot \frac{b_1}{b_2}, \quad (4)$$

$$\Delta l_{yc} = (\pi \cdot R - \sqrt{R \cdot \Delta h}) \cdot \frac{2 - m}{2}, \quad (5)$$

где m_{min} – минимальный коэффициент усадки; $\gamma_{л1}$ и $h_{л1}$ – соответственно плотность и толщина ленты активной массы перед накаткой на токоотвод; $\gamma_{л2}$ и $h_{л2}$ – соответственно плотность слоя активной массы электрода после накатки на токоотвод и толщина половины этого слоя; $h_{эл}$ – толщина электрода равная $h_{эл} = 2h_{л2} + h_{эс}$, где $h_{эс}$ – эффективная толщина сетки-токоотвода, в свою очередь равная $h_{эс} = h_c \cdot (1 - K)$; h_c – толщина сетки-токоотвода; K – коэффициент открытия сетки, равный: $K = F_1/F_2$, где F_1 – площадь отверстий сетки; F_2 – общая площадь поверхности сетки; b_1 и b_2 – соответственно ширина лент до и после накатки; R – радиус валков; Δh – обжатие равное $\Delta h = h_{л1} - h_{л2}$.

Значение минимального коэффициента усадки m_{min} в работе [1] предложено рассчитывать из условия $\Delta l_{om} = \Delta l_{yc}$, при этом величина действительного коэффициента m может назначаться из интервала $1 \geq m \geq m_{min}$.

При формировании электродных лент в валках с рифленой поверхностью или валках, обтянутых тканью при комнатной температуре, т.е. при $\Delta l_{on} = 0$ и $\Delta l_{yc} = 0$, для устройства с индивидуальными приводами валков, выполненного по схеме 1 получено выражение для линейной скорости поверхности валков накатки v_2 :

$$v_2 = \frac{2v_1 \cdot \gamma_{л1} \cdot h_{л1}}{\gamma_{л2} \cdot [h_{эл} - h_c \cdot (1 - K)]} \cdot \frac{b_1}{b_2}.$$

Нужно отметить, что в производстве электродов обычно применяют сетки, изготовленные способом безотходной просечки-вытяжки. Тогда массовые и геометрические параметры сетки можно охарактеризовать толщиной сетки h_c и коэффициентом открытия сетки K ($K = (n - p) / p$, где n – шаг вытяжки; p – шаг подачи заготовки, наиболее часто используют сетки с $h_c = 0,02 \div 0,2$ мм и

$K = 0,38 \div 0,92$) [2].

В случае формования электродных лент в гладких валках нужно стремиться, чтобы $\Delta l_{on} + \Delta l_{om} = \Delta l_{yc}$. При $\Delta l_{on} + \Delta l_{om} > \Delta l_{yc}$ происходит провисание лент активной массы, образуются и накапливаются петли, что приводит к браку электродов, например, образованию складок и др. Если $\Delta l_{on} + \Delta l_{om} < \Delta l_{yc}$ петли не образуются, но ленты активной массы подвергаются деформации растяжения и возможен их разрыв. Поэтому разность $\Delta l_{yc} - (\Delta l_{on} + \Delta l_{om})$ не должна превышать величины предельной деформации ленты активной массы Δl_N . Учитывая условие неразрывности лент активной массы, задача сводится к определению таких параметров процесса, при которых:

$$0 \leq \Delta l_{yc} - (\Delta l_{on} + \Delta l_{om}) \leq \Delta l_N. \quad (6)$$

Абсолютная величина опережения Δl_{on} , соответствующая длине ленты в межвалковом пространстве l , равна:

$$\Delta l_{on} = S_{on} \cdot l. \quad (7)$$

Опережение ленты S_{on} равно:

$$S_{on} = \frac{v_l - v_1}{v_1}; \quad (8)$$

где v_l — скорость ленты активной массы на выходе из зазора валков формования. Так как опережение связано со скольжением ленты в направлении прокатки после прохождения нейтрального сечения зоны очага деформации, то величину S_{on} обычно связывают с параметрами ленты в нейтральном сечении [3], например:

$$S_{on} = \frac{\gamma_n \cdot [h_{l1} + D \cdot (1 - \cos \gamma)] \cdot \cos \gamma}{h_{l1} \cdot \gamma_{l1}} - 1 \quad (9)$$

где γ_n — плотность ленты в нейтральном сечении; γ_{l1} и h_{l1} — соответственно плотность и толщина ленты активной массы; D — диаметр валков; γ — нейтральный угол. Более удобна для оценки величины S_{on} усовершенствованная Е.Б. Ложечниковым [4] формула Головина-Дрездена:

$$S_{on} = g_{l1} \cdot \frac{R}{h_{l1}} \cdot \gamma^2; \quad (10)$$

где g_{l1} — относительная плотность ленты активной массы, $g_{l1} = \gamma_{l1} / \gamma_{ист}$; $\gamma_{ист}$ — истинная плотность активной массы; R — радиус валков. Использование формул (9) и (10) затруднено тем, что определения величин γ_n и γ в производственных условиях проблематично, поэтому нужно экспериментально определять S_{on} или величину нейтрального угла для различных условий формования.

Нами использованы критериальные зависимости для S_{on} с эмпирическими коэффициентами, полученные для угольных, диоксидномарганцевых и оксидномедных электродов. Зависимости имеют вид:

$$S_{on} = C_1(\gamma_{л1} \cdot D/h_{л1}) + C_0,$$

где C_1 и C_0 – соответствующие эмпирические коэффициенты, которые зависят от состава активной массы.

Величина коэффициента усадки в уравнении (5) также определяется эмпирическими зависимостями вида:

$$m = C_b \cdot (1/b_1) + C_h \cdot (1/h_{л1}) - C_q \cdot q + C_\gamma \cdot \gamma_{л1} + C_{m0},$$

где q – относительное содержание жидкости в ленте активной массы, а C_b , C_h , C_q , C_γ и C_{m0} – эмпирические коэффициенты, зависящие от состава активной массы.

Используя условие $\Delta l_{on} + \Delta l_{om} = \Delta l_{yc}$ и учитывая выражений (3), (5), (8) и то, что свободная длина ленты активной массы между выходом из формирующего зазора и входом в зону накатки для устройства 2 составляет:

$$l_{01} = \pi \cdot R - \sqrt{R \cdot \Delta h},$$

получаем:

$$\begin{aligned} S_{on} \cdot (\pi \cdot R - \sqrt{R \cdot \Delta h}) + \frac{2\gamma_{л1} \cdot h_{л1} - \gamma_{л2} \cdot [h_{эл} - h_c \cdot (1 - K)]}{\gamma_{л2} \cdot [h_{эл} - h_c \cdot (1 - K)]} \cdot \frac{b_1}{b_2} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} = \\ = (\pi \cdot R - \sqrt{R \cdot \Delta h}) \cdot \frac{2 - m_{min}}{2}. \end{aligned}$$

Отсюда минимальный коэффициент усадки m_{min} равен:

$$m_{min} = 2 - 2S_{on} - \left\{ \frac{2\gamma_{л1} \cdot h_{л1} - \gamma_{л2} \cdot [h_{эл} - h_c \cdot (1 - K)]}{\gamma_{л2} \cdot [h_{эл} - h_c \cdot (1 - K)]} \cdot \frac{b_1}{b_2} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} \right\}.$$

Для устройств, выполненных по схеме 1 с индивидуальными приводами валков, угловые скорости связаны соотношением:

$$\omega_1 \cdot \frac{b_1}{b_2} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{l + \Delta l}{l} \leq \omega_2 \leq \omega_1 \cdot \frac{b_1}{b_2} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{l + \Delta l + \Delta l_N}{l}.$$

Если формование электродных лент проводится с помощью установки, выполненной по схеме 1 с кинематически связанными валками, имеющими гладкую поверхность и снабженной нагревателями лент в межвалковом пространстве, то усадка лент определяется зависимостью:

$$\Delta l_{yc} = l \cdot \left(\frac{2 - m}{2} \right),$$

где l – длина ленты в межвалковом пространстве, соответствующая длине ленты между точками 0 и 1 на рис. 1. Тогда величина Δl равная $\Delta l = \Delta l_{on} + \Delta l_{om} - \Delta l_{yc}$ будет вычисляться как:

$$\Delta l = l \cdot \left(\frac{2 - m}{2} - S_{on} \right) + \left\{ - \frac{2\gamma_{л1} \cdot h_{л1} - \gamma_{л2} \cdot [h_{эл} - h_c \cdot (1 - K)]}{\gamma_{л2} \cdot [h_{эл} - h_c \cdot (1 - K)]} \cdot \frac{b_1}{b_2} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} \right\}.$$

В приведенных выше зависимостях используется величина абсолютной предельной деформации растяжения лент активной массы в межвалковом пространстве Δl_N . Для установок, выполненных по схеме 1,

$$\Delta l_N = \varepsilon_{lim} \cdot l_{01},$$

где ε_{lim} - величина относительной предельной деформации растяжения лент в долях единицы, l_{01} - длина ленты в межвалковом пространстве. Для установок, выполненных по схеме 2,

$$\Delta l_N = \varepsilon_{lim} \cdot (\pi \cdot R - \sqrt{R \cdot \Delta h}).$$

Представленные зависимости позволяют определить отношение скорости формования лент активной массы и скорости накатки их на токоотвод при использовании различных формующих устройств и валкового инструмента. Кроме того, эти зависимости служат частью математической модели оптимизации параметров процесса прокатки ленточных электродов и конструктивных параметров прокатных установок.

Литература

1. Думчус А.М. Механизированная технология изготовления ленточных угольных электродов литиевых источников тока / Дисс. ... канд.техн. наук. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 1999. – 167 с.
2. Чувпило А.В. Расчет удельных характеристик сеток, полученных способом безотходной просечки-вытяжки // Расчет, конструирование и исследование оборудования производства источников тока: Сб. науч. тр. – М.: Энергия, 1968. – С. 52–56.
3. Степаненко А.В., Исаевич Л.А. Непрерывное формование металлических порошков и гранул. – Минск: Наука и техника, 1980. – 256 с.
4. Ложечников Е.Б. // Порошковая металлургия. – 1976. – № 5. – С. 9-11.

346428, г, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. СМСИПМ, т. 55-327.

УДК 624.012:539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Резниченко А.И.

Предлагается экспериментально-теоретический метод моделирования упругих и теплофизических свойств композитных материалов (КМ), предусматривающий:

- тензометрирование нагружаемого изделия из исследуемого КМ;
- проведение серии численных экспериментов по расчету напряженно-деформированного состояния изделия и сигналов системы измерения (СИ);
- формирование математической модели целевой функции при квадратичном критерии качества;
- расчет значений параметров реологической модели КМ.

Рассмотрим задачу о нахождении приведенных упругих характеристик $\vec{p} \in R^V$ КМ при заданных температуре, условиях закрепления и нагружения.

Область возможных значений упругих характеристик (варьируемых параметров) назначаем на основе анализа информации об упругих свойствах фаз КМ или аналогов материала:

$$\vec{p}^H \leq \vec{p} \leq \vec{p}^e. \quad (1)$$

Физический эксперимент предусматривает:

- выбор устройства нагружения и системы измерения деформации изделия;
- проведение серии идентичных статических нагружений и регистрацию соответствующих показаний СИ.

Система измерения должна обеспечивать полную наблюдаемость изделия и контроль (дублирование) результатов измерений.

Расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) изделия при заданном векторе $\vec{p}^K$ параметров считаем численным экспериментом, в результате которого по уравнениям

$$H(\vec{p}^K) \vec{Y}^K = \vec{F} \vec{Z}^K = C \vec{Y}^K \quad (2)$$

вычисляем вектор $\vec{Z}^K$ сигналов СИ.

Проведение серии численных экспериментов предусматривает:

- а) назначение области (1) варьируемых параметров $\vec{p}$ и выбор модели целевой функции (критерия адекватности), например, в виде полинома

$$\hat{\phi}(\vec{P}) = a_0 + \sum_{i=1}^v a_i P_i + \sum_{i=1}^v \sum_{e=1}^v a_{ie} P_i P_e + \dots, \quad (3)$$

где a_i, a_{ie} – коэффициенты, подлежащие определению;

$$P_i = (2p_i - p_i^e - p_i^H) / (p_i^e - p_i^H); \quad (4)$$

P_i, p_i – компоненты векторов $\vec{P}, \vec{p}$.

- б) формирование плана численных экспериментов [1]

$$[P] = [\vec{P}^1 \vec{P}^2 \dots \vec{P}^N], \quad (5)$$

где каждый вектор

$$\vec{P}^\cup = [P_1^\cup P_2^\cup \dots P_v^\cup]^* \quad (\cup = 1, \dots, N)$$

соответствует некоторой точке пространства переменных p_i .

Число N точек плана (5) должно быть равно или превышать число неизвестных коэффициентов $a_i, a_{ie}, \dots$.

- в) Выполнение расчетов “модификаций” изделия с параметрами, отвечающими плану (5), вычисление векторов $\vec{Z}^K (K = 1, \dots, N)$ по уравнениям (2) и значений ϕ^K целевой функции вида

$$\phi^K = \frac{1}{2} \left(\tilde{\vec{Z}} - C \vec{Y}^K \right)^* V \left(\tilde{\vec{Z}} - C \vec{Y}^K \right), \quad (6)$$

где $\tilde{\vec{Z}}$ – математическое ожидание сигналов СИ в физических экспериментах; V – матрица весовых коэффициентов. Вектор значений ϕ^K обозначим

$$\vec{\phi} = [\phi^1 \phi^2 \dots \phi^N]^*.$$

г) Определение коэффициентов полинома (3), представляемого в виде

$$\hat{\phi}(\vec{P}) = \vec{P}_{\Sigma} \vec{a}, \quad (7)$$

где векторы $\vec{P}_{\Sigma}$ и $\vec{a}$ формируются по выражениям:

$$\vec{P}_{\Sigma} = \begin{bmatrix} 1 & P_1 \dots P_v & P_1 P_2 \dots P_e P_k \dots P_e^2 \dots P_k^2 \dots \end{bmatrix}^*; \quad (8)$$

$$\vec{a} = \begin{bmatrix} a_0 a_1 \dots a_v & a_{12} \dots a_{ek} \dots a_{ee} \dots a_{kk} \dots \end{bmatrix}^*.$$

По способу наименьших квадратов находим:

$$\vec{a} = \left\{ \begin{bmatrix} P_{\Sigma} & \mathbf{I} \end{bmatrix}^* \right\}^{-1} \begin{bmatrix} P_{\Sigma} \end{bmatrix} \vec{\phi}, \quad (9)$$

где матрица $\begin{bmatrix} P_{\Sigma} \end{bmatrix}$ составляется из векторов (4.38), отвечающих всем точкам плана (5):

$$\begin{bmatrix} P_{\Sigma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{P}_{\Sigma}^1 & \vec{P}_{\Sigma}^2 & \dots & \vec{P}_{\Sigma}^N \end{bmatrix}. \quad (10)$$

д) Нахождение значений $\vec{P}_{ОПТ}$, доставляющих минимум модели (7) целевой функции (6).

Отметим, что матрица V весовых коэффициентов критерия (6) является своеобразным усилителем сигналов СИ, обеспечивающим возможность равноценного учета сигналов различной мощности. Назначение коэффициентов матрицы V производим на основе информации о расчетных показаний различных каналов СИ, полученной при выполнении предварительных расчетов конструкции. В частности, может быть рекомендована форма

$$V = \text{diag}[v_1 \dots v_m], \quad v_i = m z_{i*}^2 / \sum_{j=1}^N z_{i*}^2, \quad (11)$$

где z_{i*}^2 – “показания” СИ в i - ом численном эксперименте.

Построение модели (3) целевой функции (6), в принципе, не является обязательным. При использовании методов случайного поиска отыскание параметров $\vec{P}$, доставляющих минимум критерию (6), может быть произведено непосредственно по уравнениям (2).

Тем не менее, составление модели (3) целесообразно по следующим соображениям:

— реализация оптимального плана численных экспериментов сокращает число расчетов конструкции по МКЭ;

— модель позволяет, в конечном счете, выйти на глобальный минимум многоэкстремальной целевой функции;

— наличие аналитического выражения (3) позволяет ранжировать варьируемые параметры и оценивать влияние погрешностей в определении упругих характеристик на точность расчетов НДС изделия.

При оценке точности определения упругих констант по предлагаемому методу должны быть учтены погрешности:

- экспериментальной установки, включающей устройство нагружения и систему измерения деформаций;
- теоретических расчетов НДС изделия по МКЭ;
- модели (3) целевой функции;
- метода нахождения “оптимальных” значений $\vec{P}_{ОПТ}$, доставляющих минимум модели целевой функции.

Для оценки суммарной погрешности определения компонент вектора $\vec{P}_{ОПТ}$ рассмотрим цепочку соотношений

$$\begin{aligned}\vec{Z}^K &= C\vec{Y}^K, \quad K=1, \dots, N; \\ \varphi_e &= \varphi(\vec{Z}^e, \vec{Z}) = (\vec{Z} - \vec{Z}^e)^* V (\vec{Z} - \vec{Z}^e),\end{aligned}\quad (12)$$

$$\begin{aligned}\vec{\varphi} &= [\varphi_1 \dots \varphi_N]^*; \\ \vec{a} &= \{[P_\Sigma \quad \mathbf{I} P_\Sigma]^*\}^{-1} [P_\Sigma] \vec{\varphi};\end{aligned}\quad (13)$$

$$\begin{aligned}\hat{\varphi} &:= a_0 + \sum a_i P_i + \sum \sum a_{ik} P_i P_k; \\ \frac{\partial \hat{\varphi}}{\partial P_k} &= a_k + \sum a_{ik} P_i = 0, \quad k=1, \dots, \nu; \\ P_{k ОПТ} &= D_k(a_1 \dots a_\nu) / \det[a_{ik}].\end{aligned}\quad (14)$$

Здесь введена квадратичная модель целевой функции (3). Определители D_k получаем согласно теореме Крамера.

По выражению (12) вычислим значения

$$\begin{aligned}\Delta \tilde{\varphi}_e &= \varphi_e(\vec{Z}^e, \vec{Z} + \Delta \vec{Z}) - \varphi_e(\vec{Z}^e, \vec{Z}); \\ \Delta \tilde{\varphi}_e &= \varphi_e(\vec{Z}^e + \Delta \vec{Z}^e, \vec{Z}) - \varphi_e(\vec{Z}^e, \vec{Z}),\end{aligned}$$

где $\Delta \vec{Z}$ и $\Delta \vec{Z}^e$ – оценки погрешностей физического и численных экспериментов.

Далее по формулам (3) и (4) найдем вариации вектора $\Delta \vec{P}_{ОПТ}$ и $\Delta \vec{P}_{ОПТ}$.

Возможной погрешностью определенных кодированных значений упругих характеристик считаем сумму

$$|\Delta \vec{P}_{ОПТ}| + |\Delta \vec{P}_{ОПТ}|.$$

Рассмотренный метод легко обобщается на случай, когда в вектор $\vec{P}$ включаются не только упругие, но и теплофизические характеристики материала.

Метод реализован при построении реологических моделей из углерод-углеродных композитных материалов, выпускаемых Новочеркасским электродным заводом.

Литература

1. Хартман К., Лецкий Э., Шафер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. – М.: Мир, 1977. – 552 с.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИВЕДЕННЫХ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИТА (УУКМ) УПА-3М

Казначеева О.К., Резниченко А.И., Николаев Н.Н.

Выполнено экспериментально-теоретическое определение упругих характеристик композита в готовых изделиях (конических оболочках), получаемых способом газофазного осаждения углерода из метана на сетчатый каркас, плетенный из углеродных жгутов, в вакууме при температуре 2150⁰С с последующей графитацией.

Технология получения УУКМ УПА-3 обеспечивает образование конусной микроструктуры пироуглерода, представляющей систему конусов, у которых вершины расположены на подножке (сетке каркаса), а оси перпендикулярны к ней. В процессе графитации структура пироуглерода постепенно переходит из турбостратной в упорядоченную графитовую, а преимущественная ориентация решетки становится определяющей.

Композит имеет слоистую структуру за исключением пироуплотненного сетчатого армирующего каркаса. Поверхности слоев конгруэнтны срединному армированному слою.

Структурные особенности строения УПА-3М оказывают решающее влияние на характер деформирования и разрушения материала. Определяющее значение имеет также направление нагрузки.

Анализ литературных данных [1] о свойствах углерод-углеродных композитных материалов и сравнение их с результатами испытаний УПА-3М, на образцах показывает, что подобрать его физический аналог практически невозможно. Кроме того, плотность, размеры кристаллов, текстурированность пирографита влияют на технологический режим получения изделия и его последующая термообработка.

Значения упругих характеристик материала, полученные на образцах приведены в таблице 1.

Таблица 1

Экспериментальные значения приведенных упругих характеристик УПА-3

Наименование	Модули упругости, МПа						Коэффициенты Пуассона		
Обозначение	E_{θ}^C	E_s^C	E_n^C	E_s^t	G_{sn}	$G_{s\theta}$	$\nu_{\theta c}$	$\nu_{s\theta}$	$\nu_{n\theta}$
Среднее значение	5875	6240	1198	4770	656	2810	0,165	0,19	0,10
Максимальный разброс, %	10,7	12,2	10,8	7,0	21,8	33,0	46,2	20,0	12,8

Рабочий диапазон напряжений в изделиях не превышает 20 % от пределов прочности. Поэтому при определении средних значений упругих характеристик приняты следующие верхние пределы напряжений: для s (вдоль обра-

зующей) направления 4.5 МПа, для n (перпендикулярно поверхности оболочки) направления 3.5 МПа.

Испытания КМ позволяют сделать следующие заключения:

1. Композит УПА-3М можно моделировать ортотропным квазиоднородным материалом, главные оси анизотропии которого совпадают с меридиональным, окружным и нормальным направлениями оболочки.

2. Учитывая значительные разбросы прочностных и упругих характеристик материала, а также его существенную нелинейность, целесообразно характеризовать деформационные свойства композита УПА-3М значениями приведенных модулей.

3. Поскольку свойства материала в направлениях s и θ примерно одинаковы, достаточно ввести пять упругих приведенных характеристик модели композита УПА-3М.

Физические эксперименты

Принципиальная схема нагружающего устройства показана на рисунках 1, 2. Геометрические параметры изделия и схема размещения тензорезисторов (ТР) представлены на рисунке 3. В эксперименте использованы ТР КФ5П1 с базой 10 мм, начальным сопротивлением 3982 Ом и коэффициентом тензочувствительности $K_{TЧ} \sim 2,21$. Значение $K_{TЧ}$ уточнено при градуировке серии ТР, наклеенных на образцы из стали и УПА-3М, подвергнутых центральному растяжению.

Регистрация и обработка результатов экспериментов осуществлялась с помощью автоматизированной информационно-измерительной тензометрической системы СИИТ-2. Разработано и реализовано программное обеспечение "Тензор" к СИИТ-2 для управления работой системы, автоматизированной обработки, анализа и документирования результатов эксперимента.

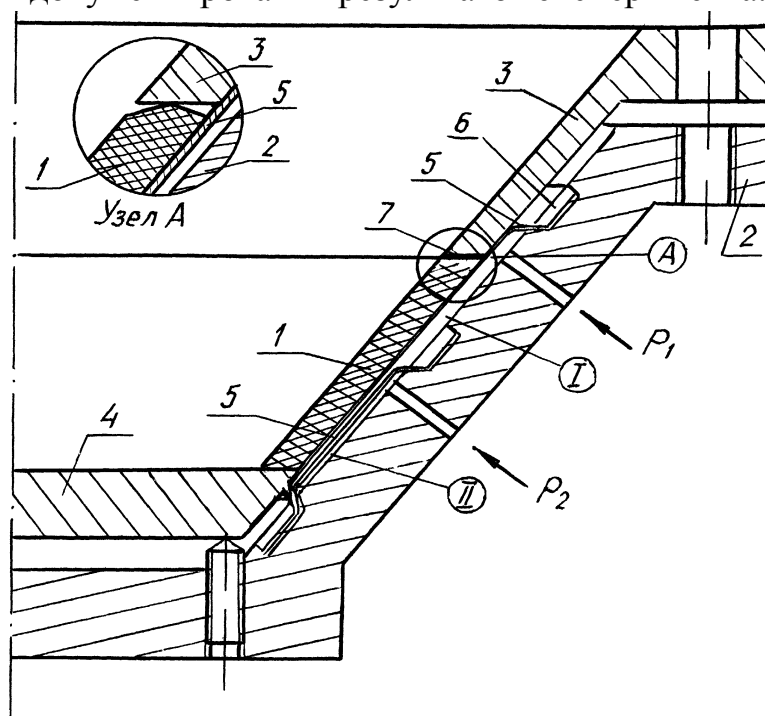


Рис.1. Нагружающее устройство:

I – изделие; 2 – корпус нагружающего устройства; 3 – прижимной фланец; 4 – опорная плита; 5 – стенки камер 1, 2; 6 – прижимное кольцо; 7 – прокладка

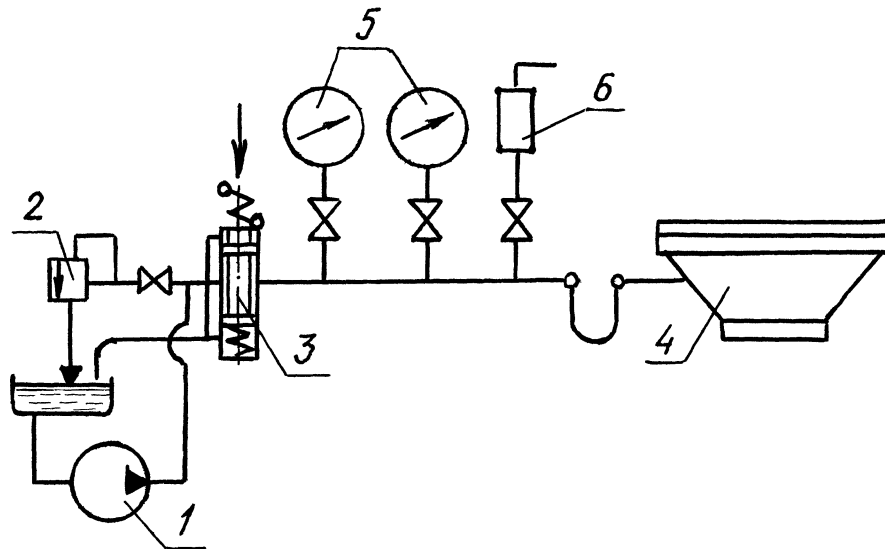


Рис.2. Схема системы гидравлического нагружения:

1 – насос; 2 – регулятор; 3 – электромагнитный золотник; 4 – нагружающее устройство; 5 – манометры; 6 – тензометрический датчик давления

При проведении физических экспериментов обеспечивалась независимость испытаний: демонтаж установки после каждого опыта, повторная сборка установки, проверка равномерности опирания изделия и поверка средств измерения. Выполнено три независимых нагружения ($\mu = 3$) равномерным давлением $p = 0,1$ МПа по всей поверхности изделия (рисунок 3в).

Результаты тензометрических испытаний (компоненты векторов $\vec{U}_*^1$, $\vec{U}_*^2$, $\vec{U}_*^3$) приведены в таблице 2 и на рисунке 4. Каждая компонента получена как среднее значение показаний датчиков, расположенных на одном уровне и направлении.

Таблица 2

Экспериментальные значения показаний датчиков системы измерения

Относительные деформации, 10^6 ЕОД									
№№ датчиков		1	2	3	4	5	6	7	8
Векторы показаний СИ	$\vec{U}_*^1$	-156,1	-209,4	-199,2	-147,6	-180,3	-199,0	-198,4	-131,0
	$\vec{U}_*^2$	-149,2	-202,3	-195,6	-151,7	-189,4	-207,1	-193,6	-125,8
	$\vec{U}_*^3$	-144,3	-201,0	-183,2	-157,2	-179,2	-202,0	-188,1	-126,3
№№ датчиков		9	10	11	12	13	14	15	16
Векторы показаний СИ	$\vec{U}_*^1$	-90,1	-69,4	-27,2	-0,4	-15,4	10,2	22,8	2,1
	$\vec{U}_*^2$	-100,3	-66,9	-32,4	-8,4	-18,6	15,4	30,2	7,3
	$\vec{U}_*^3$	-94,8	-63,3	-20,1	-7,9	-19,4	18,5	30,1	8,4

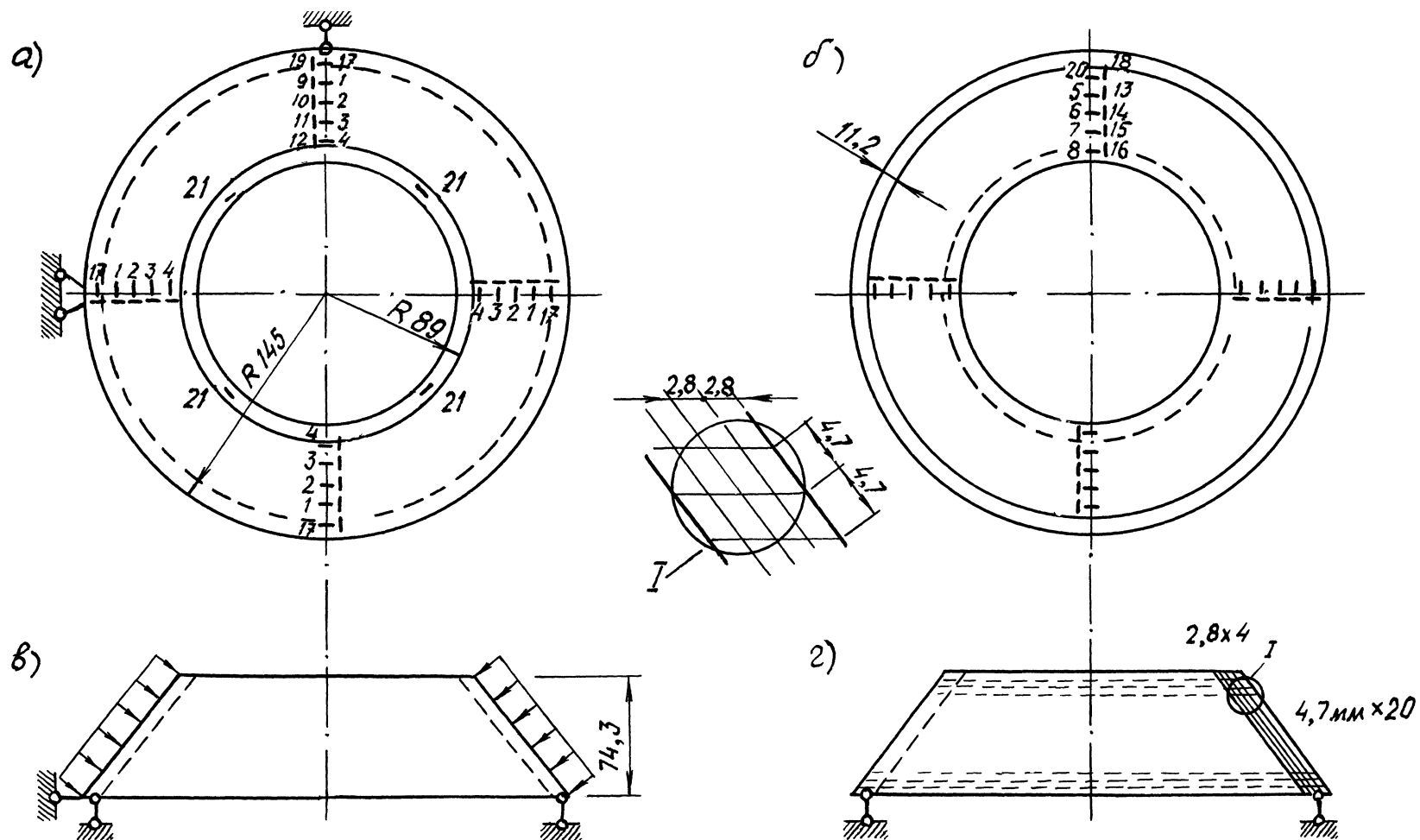


Рис.3. Расчетная схема наблюдаемого изделия:

а) размещение ТР на внешней и б) внутренней поверхностях; в) нагружение и опирание изделия; г) разбивка на конечные элементы

Численные эксперименты

Конечно-элементная модель изделия показана на рисунке 3г. Общее число тороидальных КЭ составляло 80, число степеней свободы ансамбля — 1440. Принято, что оболочка свободно оперта на основание в соответствии с рисунком 3в.

Расчеты деформированного состояния изделий предусматривают: введение КЭ с 18-ю степенями свободы; применение интерполяционных полиномов 2-го порядка (как функций формы); учет криволинейности анизотропии материала.

С целью оценки возможной погрешности МКЭ были произведены расчеты деформированного состояния изотропных оболочек, для которых имеются “точные” решения.

Построение математических моделей и расчет «истинных» значений параметров упругости

При назначении числа и области допустимых значений (ОДЗ) упругих характеристик использованы результаты испытаний образцов УПА-3М. Принято:

а) композит в оболочках приближенно можно считать трансверсально изотропным однородным материалом с пятью независимыми упругими характеристиками

$$p_1 = E_s, \quad p_2 = E_n, \quad p_3 = \nu_{ns}, \quad p_4 = \nu_{s\theta}, \quad p_5 = G_{ns}; \quad (1)$$

б) вариации значений характеристик (1) составляют линейной деформации $\pm 7\%$, модуля сдвига $\pm 21\%$, коэффициентов Пуассона $\pm 23\%$ (все при 95% надежности).

Численный анализ НДС оболочки при эксплуатационных воздействиях показал, что уровни максимальных нормальных напряжений не превышают ± 2 МПа. В этих пределах материал УПА-3 можно считать линейно деформируемым.

Учитывая неадекватность упругих характеристик в образцах и изделиях, а также значительный разброс экспериментальных данных принимаем следующие границы ОДЗ:

$$\begin{aligned} \vec{p}^H &= [5000 \quad 1000 \quad 0,08 \quad 0,10 \quad 300]^*; \\ \vec{p}^B &= [7000 \quad 1400 \quad 0,08 \quad 0,30 \quad 812]^*. \end{aligned} \quad (2)$$

Вводим квадратичную целевую функцию

$$\varphi = a_0 + \sum_{i=1}^5 a_i P_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 a_{ij} P_i P_j, \quad (3)$$

в которой $a_{ij} = a_{ji}$. Для получения наилучших оценок коэффициентов модели (3) при возможно меньшем числе расчетов-экспериментов применяем план Хартли [2], включающий подмножество вершин гиперкуба, множество звездных точек и центральную точку. Общее число точек плана

$$m = 2^{5-1} + 2 \cdot 5 + 1 = 27,$$

что превышает число 21 неизвестных коэффициентов полинома (3).

План Хартли ценен в том отношении, что расположение экспериментальных точек приводит к корреляции лишь между свободными членами (a_0) и коэффициентами при квадратах переменных между собой. Поэтому без пересчета остальных коэффициентов из уравнения целевой функции (3) могут быть исключены незначимые члены и взаимодействия. Центральной точке плана отвечает вектор

$$\vec{p}_0 = [6000 \quad 1200 \quad 0,12 \quad 0,20 \quad 561]^*.$$

Так как направления координатных осей s , θ конечных элементов совпадают с направлениями тензорезисторов, полагаем в выражении

$$\vec{Z}^K = C\vec{Y}^K$$

матрицу C единичной. При этом осредняем относительные деформации по длине каждого резистора.

Показания датчиков 17-21, регистрирующих значительные напряжения, обусловленные краевым эффектом, из расчетов исключаем.

Выполняем расчеты конструкции по МКЭ при значениях $\vec{p}^i (i = 1, \dots, 27)$, и определяем теоретические значения $\vec{U}^1, \vec{U}^2, \dots, \vec{U}^{27}$ показаний датчиков СИ

Находим значения коэффициентов целевой функции, причем

$$\begin{aligned} 10^{-2} \varphi = & 7,83 - 68,55P_1 - 3,99P_2 + 8,56P_3 - 11,83P_4 - 0,47P_5 + \\ & + 83,77P_1^2 + 1,48P_2^2 + 4,78P_3^2 + 30,83P_4^2 + 0,78P_5^2 + \\ & + 8,51P_1P_2 - 25,52P_1P_3 + 29,44P_1P_4 + 3,19P_1P_5 - \\ & - 4,27P_2P_3 + 6,38P_2P_4 + 3,19P_2P_5 - 19,14P_3P_4 - \\ & - 1,06P_3P_5 + 4,25P_4P_5. \end{aligned} \quad (4)$$

Проверка по критерию Стьюдента и Фишера при $\alpha = 0,05$ показала, что все коэффициенты математической модели (4) значимы, а сама целевая функция адекватна эксперименту.

Анализ данных теоретических значений показаний датчиков СИ показывает, что в ОДЗ вариации могут достигать 100 и более процентов по отношению к показаниям в центральной точке плана. Наибольшее отклонение расчетных относительных деформаций в центре плана от физического эксперимента не превышает 50%.

Кодированные значения упругих констант, доставляющие минимум целевой функции (4) находим из условия

$$\partial \varphi / \partial P_i = 0 \quad (i = 1, \dots, n).$$

При этом кодированные значения упругих констант составляют

$$\vec{P}_{OIT} = [0,519 \quad -0,182 \quad 0,922 \quad 0,286 \quad -0,539]^*,$$

что соответствует размерному вектору

$$\vec{P}_{OIT} = [6519 \quad 1164 \quad 0,18 \quad 0,23 \quad 418]^*. \quad (5)$$

Так как координаты точки минимума целевой функции принадлежат ОДЗ, считаем найденные значения приведенных упругих констант окончательными.

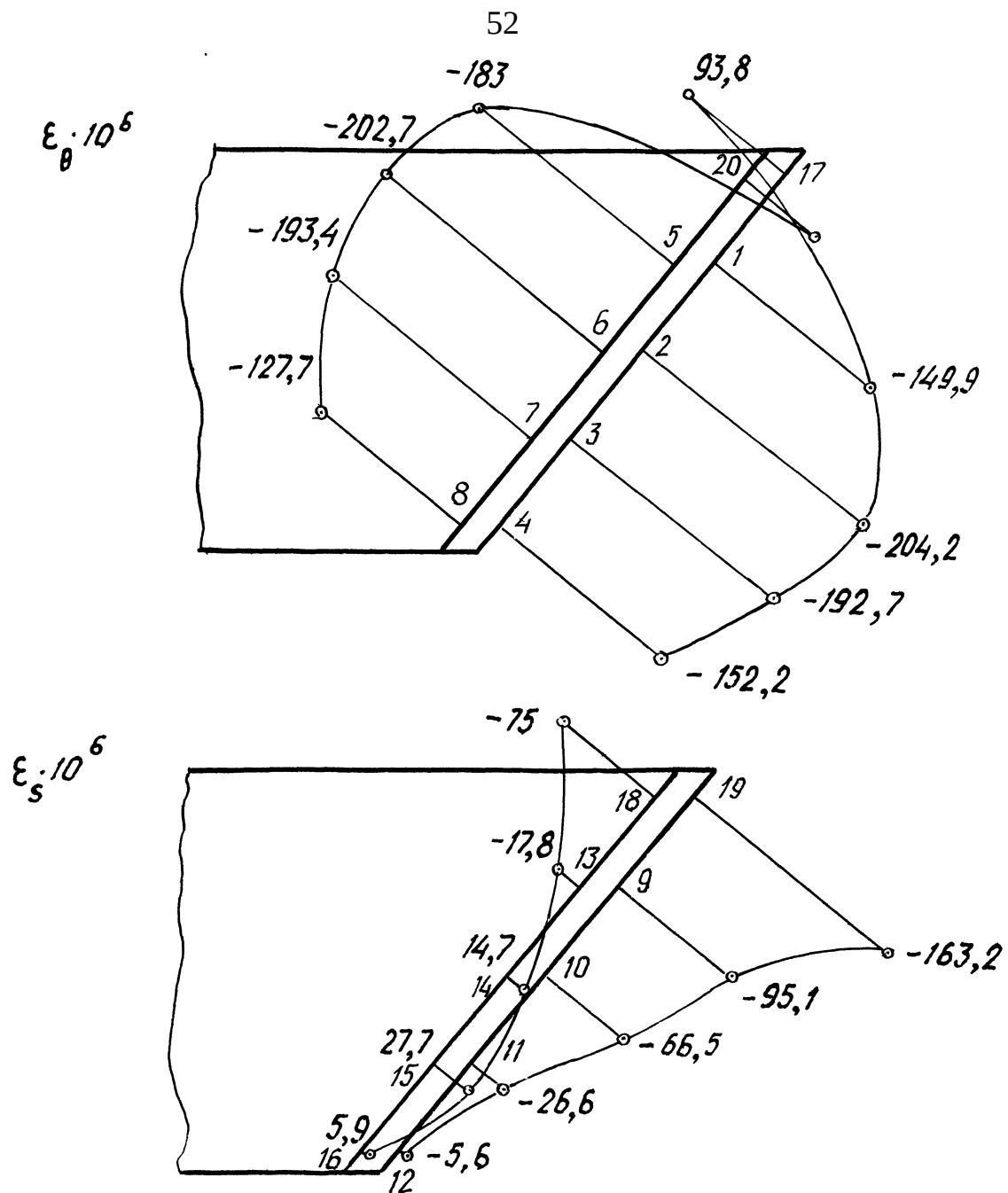


Рис.4. Математические ожидания экспериментальных значений показаний датчиков СИ в окружном ε_θ и меридиональном ε_s направлениях при $p = 0,1$ Мпа

Для исследования устойчивости решения назначаем компоненты матрицы весовых коэффициентов:

$$V = \text{diag}[1,34 \quad 2,48 \quad 2,21 \quad 1,38 \quad 2,00 \quad 2,45 \quad 2,23 \quad 0,97 \\ 0,54 \quad 0,26 \quad 0,041 \quad 0,002 \quad 0,019 \quad 0,013 \quad 0,046 \quad 0,02].$$

При этом целевая функция принимает вид

$$10^{-2} \varphi = 9,69 - 113,6P_1 - 7,03P_2 + 17,67P_3 - 22,45P_4 - 0,23P_5 + \\ + 161,0P_1^2 + 1,41P_2^2 + 4,39P_3^2 + 9,72P_4^2 + 0,39P_5^2 + \\ + 16,24P_1P_2 - 48,72P_1P_3 + 50,99P_1P_4 + 1,55P_1P_5 - \\ - 5,86P_2P_3 + 3,09P_2P_4 + 1,55P_2P_5 - 9,27P_3P_4 - \\ - 0,52P_3P_5 + 8,12P_4P_5, \quad (6)$$

а координаты точки экстремума получают значения

$$\vec{P}_{ОПТ} = [6353 \quad 1228 \quad 0,12 \quad 0,19 \quad 750]^*. \quad (7)$$

Как и в первом случае, точка экстремума находится внутри ОДЗ и, следовательно, дополнительных исследований не требуется.

Учитывая, что значения критерия Фишера для второго варианта расчета меньше, чем для первого ($F_2 = 0,55 < F_1 = 1,17 < F_{кр} = 2,27$), а также сравнивая результаты (5) и (7) с данными таблицы 1, приходим к выводу, что наиболее предпочтительным оказывается подход с дифференцированным назначением матрицы весовых коэффициентов по формулам

$$V = \text{diag}[v_1 \quad \dots \quad v_m], \quad v_i = m z_{i*}^2 / \sum_{j=1}^N z_{j*}^2.$$

Для оценки достоверности полученных результатов выполнено построение целевых функций $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ для каждого из независимых нагружений. В таблице 3 приведены модели целевых функций и значения приведенных упругих характеристик, соответствующие векторам $\vec{P}_{ОПТ}^1, \vec{P}_{ОПТ}^2, \vec{P}_{ОПТ}^3$.

Таблица 3

Значения упругих характеристик,
найденные по данным независимых экспериментов

Упругие характеристики	№№ экспериментов			Доверительные интервалы
	1	2	3	
				при $\alpha=0,05$
E_s , МПа	6344	6323	6421	6363 ± 103
E_n , МПа	1211	1203	1260	1223 ± 62
ν_{ns}	0,13	0,12	0,11	$0,12 \pm 0,03$
ν_θ	0,19	0,19	0,18	$0,18 \pm 0,02$
G_{ns} , МПа	653	758	838	750 ± 261

Литература

1. Свойства конструкционных материалов на основе углерода: Справочник. – М.: Металлургия, 1975. – 335 с.
2. Хартман К., Лецкий Э., Шафер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. – М.: Мир, 1977. – 552 с.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132. ЮРГТУ(НПИ), каф. СМ, СМ, СМ. Тел. 55-3-27
email: nauka@novoch.ru

УДК 546.41:623.723.21

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МКК В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТВЕРДОГО РАСТВОРА АЛЮМОФЕРРИТОВ КАЛЬЦИЯ

Зубарь Г.С., Рубцова В.Н.

Результаты проведённых исследований по изучению процессов образо-

вания твёрдого раствора алюмоферритов кальция в системе $\text{CaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3$, позволили установить пределы изоморфной смесимости компонентов твёрдого раствора алюмоферритов кальция $\text{Ca}_2\text{Fe}_{2(1-c)}\text{Al}_2\text{O}_5$, которые уменьшаются с понижением температуры изотермического разреза системы. При 1623 К алюмоферриты кальция, исследованные в интервале концентраций $0,0 \leq C \leq 0,7$; $\Delta C = 0,1$, лежат в области стабилизации твёрдого раствора.

Установлена возможность применения математической модели – метода квазикристаллов (МКК) для исследования зависимости «состав – структура – свойство» твёрдого раствора $\text{Ca}_2(\text{Fe}_\lambda\text{Al}_{1-\lambda})[\text{Fe}_{2-2C-\lambda}\text{Al}_{2C-1+\lambda}]\text{O}_5$. В рамках метода описаны концентрационные зависимости объёма элементарной ячейки и плотности твёрдого раствора алюмоферритов кальция и определены значения интерпретированных свойств гипотетических квазикристаллов.

Концентрационная зависимость параметров распределения изоморфных ионов по структурнонеэквивалентным позициям кристаллической решётки твёрдого раствора описывается термодинамическим уравнением внутрикристаллического обменного равновесия:

$$K_p = \exp(\Delta H/kT).$$

Установлены концентрационные зависимости параметров кристаллической решётки твёрдого раствора в структуре алюмоферритов кальция, которые могут быть использованы для идентификации состава твёрдого раствора.

346428 г.Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. ТКСиВВ, тел. 55-1-35
e-mail: tkc@tkc.srstu.novoch.ru

УДК 666.714:539.213

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТЕКЛОВАНИЯ В ТЕОРИИ КЛИНКЕРООБРАЗОВАНИЯ

Зубарь Г.С., Зубарь Т.Г.

Выбор оптимального режима синтеза портландцементного клинкера предполагает наличие у исследователя максимума информации о процессе и, в первую очередь, о свойствах клинкерной жидкости (КЖ), появляющейся при спекании, а также о возможности её стеклования при охлаждении. Поэтому весьма актуально использование обширного математического аппарата теорий стеклования, в том числе релаксационной модели и концепции свободного объёма, при исследовании свойств КЖ. Применение математических моделей стеклования позволило произвести оценку стеклообразующей способности КЖ составов, соответствующих величинам глинозёмного модуля клинкера $p = 1 - 16$. Рассчитаны важнейшие физико-химические параметры, характеризующие состояние КЖ: температуры стеклования и максимальной скорости кристаллизации; свободные энергии активации вязкого течения при температурах ликвидуса (160 кДж./К·моль) и стеклования (360 кДж./К·моль); вязкость при температурах ликвидуса (1,3 Па·с) и стеклования ($3,1 \cdot 10^{12}$ Па·с); поверхностное

натяжение при температуре ликвидуса (500 Н/м). Полученные значения существенно отличаются от величин, характерных для силикатных стекол, и, в совокупности с кинетическими параметрами (критерий Груби > 3 , критическая скорость охлаждения 769 К/с), свидетельствуют о плохой стеклообразующей способности и высокой склонности к кристаллизации КЖ.

Установлено, что уравнение Вильямса-Лэндела-Ферри, описывающее температурную зависимость вязкости и времени релаксации стеклующихся жидкостей, позволяет с вполне удовлетворительной точностью рассчитать вязкость КЖ при температуре ликвидуса.

Рассчитанные значения коэффициентов уравнения Вильямса-Лэндела-Ферри дают возможность вычислить некоторые важные характеристики исследуемых КЖ: скачок коэффициента теплового расширения при температуре стеклования ($\Delta\alpha \approx 11 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$); долю флуктуационного свободного объема при температуре ликвидуса ($f=0,087$); температуру образования "идеального стекла"; коэффициент молекулярной упаковки ($K_0=0,798$); энергию образования флуктуационной микропустоты ($E_h \approx 33 - 45 \text{ кДж/моль}$). Постоянные или близкие значения рассчитанных параметров исследуемого массива КЖ свидетельствуют об однотипности их структуры.

Результаты расчетов подтверждены экспериментально. Полученные данные представляют собой универсальный справочный материал для всех видов портландцементов, получаемых жидкофазным спеканием.

346428 г.Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. ТКСиВВ, тел. 55-1-35
e-mail: tk@tk.srstu.novoch.ru

УДК 666.948.8

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЕЛИЗНЫ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Зубарь Г.С., Зубарь Т.Г.

Решение актуальной проблемы повышения качества клинкера белого портландцемента (БПЦ) путём увеличения белизны, характеризуемой коэффициентом отражения (КО), связано с жёстким ограничением содержания в сырье красящих оксидов и оптимизацией технологических параметров, что требует длительных и дорогостоящих экспериментов.

С точки зрения оптики, белизна клинкера БПЦ представляет собой явление диффузионного отражения монохроматического света, описываемое функцией Кубелки – Мунка:

$$F(R_\infty) = (1 - R_\infty)^2 / 2R_\infty = K/S.$$

Учитывая закономерности распределения по клинкерным фазам примесей Fe_2O_3 – красящего соединения, содержащегося в клинкере, авторами предложена математическая модель белизны клинкера БПЦ, описывающая:

1) качественный фазовый состав клинкера;

- 2) количество клинкерных фаз;
- 3) содержание Fe_2O_3 в соответствующих фазах;
- 4) индивидуальный вклад каждой фазы в общую белизну клинкера БПЦ.

Также модель учитывает температуру обжига клинкера, скорость его охлаждения и дисперсность материала.

Программа расчёта КО клинкера БПЦ выполняет:

- 1) расчёт сырьевой смеси по химическому составу сырьевых компонентов и заданным значениям модулей;
- 2) расчёт минералогического состава клинкера БПЦ;
- 3) расчёт КО клинкера БПЦ;
- 4) поиск оптимальных параметров технологии и сырьевой смеси с целью получения БПЦ высшего качества.

Настоящая разработка позволяет не проводя экспериментов оценить пригодность сырья для получения из него БПЦ и подобрать оптимальные параметры производства.

346428 г.Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. ТКСиВВ, тел. 55-1-35
e-mail: tkc@tkc.srstu.novoch.ru

УДК [681.3.06:547.1.024].001.57

КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗА ТОКСИЧНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Кирлан В.В., Кирлан А.В., Кирлан С.А., Тюрина Л.А.

Исследованы зависимости «структура-токсичность» производных азолов, арил- и(или) гетерил- производных мочевины, оксикарбоновых кислот. С помощью компьютерной системы SARD сформированы 138 моделей прогноза острой токсичности соединений (LD_{50} , mg/kg, rat, oral), в которых связь между строением и активностью определена зависимостью типа $A=F(S1 \text{ или } S2)$, где A -активность, $S1$, $S2$ -индивидуальная совокупность структурных дескрипторов для «геометрического подхода» или метода «голосования» соответственно, F -правило распознавания активности. При формировании комплексов (логических схем) прогноза необходимо проводить экзаменационное распознавание структур определённого ряда и отбор оптимальных моделей. В этих целях нами дополнительно сформирован алгоритм и пакет программ, предназначенных для оценки качества распознавания структур по моделям. Пакет состоит из двух программных модулей. Первый модуль предназначен для накопления исходных данных, участвующих в анализе. В частности, на этом этапе необходимо ввести количество моделей, задействованных в анализируемом мультишаге, их системное обозначение, и диапазоны токсичности принадлежащих им структур. Необходимо указать структуры и реальные диапазоны их токсичности. Во втором программном модуле необходимо указать файл с результатами распознавания структур моделями. Считается, если для более 70% исследуемых структур

прогнозные и реальные (опытные данные) диапазоны значений токсичности перекрываются, то структуры отнесены правильно к соответствующим альтернативным классам, а экзаменуемая модель принимается оптимальной. В результате анализа формируется файл с выходными данными по соответствию теоретического распознавания структур моделями их реальным данным. Он используется при формировании комплекса прогноза токсичности соединений с соответствующим структурным подобием. Пакет программ включён в компьютерную систему прогноза токсичности, сформированную нами ранее [1]. Он является полезным инструментом для исследования возможности формирования прогнозных комплексов при расширении обучающего ряда, включающего различные структурные классы. Опробован на следующих структурных рядах: производных азолов, мочевины и оксикарбоновых кислот.

Литература

1. Кирлан А.В., Кирлан В.В. Разработка метода прогноза интервальных значений острой токсичности гетероорганических соединений // Молодые учёные-новому тысячелетию: Сб. науч. статей / УТИС. – Уфа: УТИС, 2000. – С. 179-182.

Научно-исследовательский технологический институт гербицидов, Уфа, ул. Ульяновых, 65

СОДЕРЖАНИЕ

Костюков Н.С., Еремин И.Е. Моделирование процесса упругой электронной поляризации диэлектрика.....	4
Птах Г.К., Линёв А.И., Плешков А.И. К расчету нелинейно-параметрических магнитных цепей.....	5
Леонов С.В., Щипков А.А. Расчет торцевого генератора методом интегрирования по источникам поля	6
Кирсанов А.Г., Архипов А.Н. Математическое моделирование электромагнитных процессов в индукторных двигателях.....	7
Троицкий А. И. Математическая модель потерь воздушной магистральной линии с несимметричной нагрузкой.....	7
Нагай В.И. Модель несимметричного трехфазного короткого замыкания через электрическую дугу	11
Чмыхалов Г.Н., Нагай В.И. Физическое моделирование режимов замыкания на землю в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью	16
Нагай В.И., Нагай В.В. Анализ функционирования дистанционных и токовых измерительных органов резервных защит линий	17
Кравченко О.А. Особенности моделирования функционирования системы электро-снабжения угледобывающего предприятия при оптимизации ее пропускной способности... ..	19
Диденко А.А. Комплексная микропроцессорная система контроля и управления вентильного электропривода	24
Шестаков А.Н., Голоснов Б.Ф. Моделирование процесса старения изоляции кра-новых электродвигателей.....	26
Еремин Е.Л., Самохвалова С.Г., Шевко Д.Г. Имитационное моделирование си-стем прямого адаптивного управления с компенсатором.....	26
Бубб Д.В., Колмогоров Г.С., Ликулин А.А., Чернин А.М. Имитационная модель влияния процесса ремонта оборудования на экономические показатели энергетическо-го предприятия	27
Иванов В.В. Моделируемые стратегии целенаправленного поиска новых неоргани-ческих веществ с заданными свойствами.....	31
Иванов В.В. Комбинаторное моделирование вероятных фрагментарных структур неорганических веществ как последний этап структурно-комбинаторного анализа	32
Иванов В.В. Комбинаторное моделирование возможных кристаллоструктурных типов неорганических веществ как этап реализации метода структурно-топологического анализа.....	33
Ivanov V.V., Kalaida V.G. Gomologic model of structure formation and modeling of the ordered and disordered alloys in the systems Li-Me (Me = Sn, Pb).....	34
Ivanov V.V. Modeling of the possible 1,p-structures of ordered and disordered alkali-graphite intercalation phases	35
Лыков В.Ю. Моделирование абсорбера-окислителя для получения сернокислотно-го мелиоранта	36
Сербиновский М.Ю., Волощук В.Г., Федорчук В.Е. Математическая модель про-цесса формования электродных лент химических источников тока. 1. Компенсация опережения и отставания лент.....	37
Резниченко А.И. Моделирование упругих и теплофизических свойств композит-ных материалов	42
Казначеева О.К., Резниченко А.И., Николаев Н.Н. Методика определения приве-денных упругих характеристик углерод-углеродного композита (УУКМ) УПА-3М.....	46
Зубарь Г.С., Рубцова В.Н. Математическая модель МКК в исследованиях твёрдого раствора алюмоферритов кальция.....	53

Зубарь Г.С., Зубарь Т.Г. Математические модели стеклования в теории клинкеро-образования	54
Зубарь Г.С., Зубарь Т.Г. Математическая модель белизны портландцементного клинкера.....	55
Кирлан В.В., Кирлан А.В, Кирлан С.А., Тюрина Л.А. Компьютерная реализация анализа эффективности моделей прогноза токсичности химических соединений.....	56

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства
Материалы международной научно-практической конференции
Часть 5

Технический редактор: Чебанов И.Р.

ЛР № 020417 12.02.1997 г. Подписано в печать 08.05.2001 г.

Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.

Печ. л. 3,8. Тираж 100 экз. Заказ 01/12.

Учебно-производственный центр «Набла»
Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)
346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ.
ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

Материалы
международной научно-практической
конференции

11 апреля 2001 года
г. Новочеркасск

Часть 6

Новочеркасск 2001

УДК 519.688
ББК 22.18 в6
М 74

Организаторы конференции:

Министерство образования Российской Федерации;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Горбатенко Н.И., профессор (РФ) – председатель;
Бахвалов Ю.А., профессор (РФ);
Вурмус Г., профессор (ФРГ);
Загороднюк В.Т., профессор (РФ);
Йегер Г., профессор (ФРГ);
Калленбах Е., профессор (ФРГ);
Ланкин М.В., доцент (РФ) – зам. председателя;
Никитенко Н.Ф., профессор (РФ);
Плаксин В.А., доцент (РФ);
Савельев М.В., профессор (РФ);
Чернов В.Н., профессор (РФ).

Редакционная коллегия:

Горбатенко Н.И. – ответственный редактор;
Плаксин В.А. – зам. ответственного редактора;
Ланкин М.В.

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы междунар.
науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 11 апреля 2001 г.: В 8 ч. / Юж.-Рос.
гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2001. –
Ч. 6. – 60 с.
ISBN 5-88998-266-4

Тексты докладов помещены в сборник, включающий 8 частей. Часть 6 содержит статьи, посвященные математическим моделям в медицине, биологии и экологии, а также математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем.

Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 519.688 :[61+502+681.3]

ISBN 5-88998-266-4

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2001
© Авторы, указанные в оглавлении, 2001

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) — крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные международные научно-технические контакты, — выступил инициатором проведения ряда международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе INTERNET.

В апреле 2001 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие представители вузов Москвы, Минска, Тирасполя, Санкт-Петербурга, Тулы, Днепропетровска, Новгорода, Екатеринбурга, Тамбова, Владикавказа, Омска, Томска, Новочеркасска и других городов России и ближнего зарубежья. На конференцию представлено 164 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из восьми частей. Каждая часть содержит материалы по одному или нескольким научным направлениям.

Первая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию в строительстве.

Во вторую часть вошла первая половина статей о математическом моделировании социальных и экономических процессов.

Третья часть содержит вторую половину докладов о математическом моделировании социальных и экономических процессов, а также статьи, посвященные физическому моделированию в науке и технике и учебно-методическим вопросам преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Четвертая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию технологических процессов.

Пятая часть содержит статьи о математических моделях в энергетике, электромашиностроении, химии и металлургии.

В шестую часть вошли доклады, посвященные математическим моделям в медицине, биологии и экологии, а также математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем.

Седьмая часть включает доклады, освещающие общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений.

Восьмая часть содержит статьи о математических моделях в теплотехнике и гидравлике, в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, и с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК - ТЕРМОЗАЩИТНАЯ ОДЕЖДА - СРЕДА»

*Бахвалов Ю.А., Бринк И.Ю., Филькин Г.В.,
Черунова И.В., Кудрявцев В.И., Кудрявцева Г.В.*

Математическое моделирование теплообмена в системе «Человек – одежда – окружающая среда» рассмотрено в ряде работ, которые основывались на представлении человека как совокупности геометрических объектов: голова – шар, руки, ноги, туловище – цилиндры [1].

Особенности термозащитной одежды горноспасателя заключаются в том, что в ее модельное представление необходимо внести респиратор с охлаждающим элементом и несимметрично расположенные холодовые элементы, представляющие собой охлажденные до -18°C плоские полиэтиленовые емкости со льдом [2]. Наличие холодовых элементов продиктовано повышенной температурой окружающей среды, а их несимметричность – расположением внутренних органов горноспасателя. На рисунке 1 показано сечение туловища человека в одежде горноспасателя.

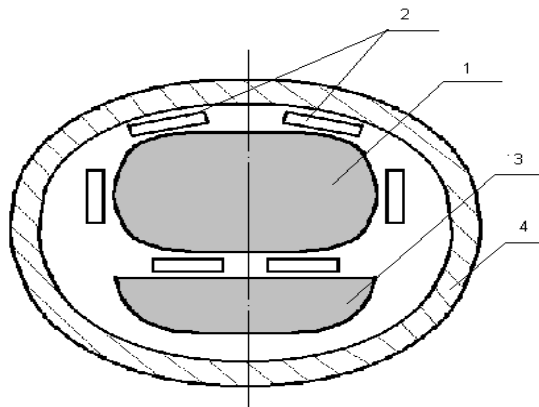


Рис.1. Сечение туловища и одежды горноспасателя:

1 – туловище, 2 – охлаждающие элементы, 3 – респиратор, 4 – термозащитный слой. Учет этих дополнительных элементов одежды не позволяет использовать осесимметричную модель, использовавшуюся ранее.

В настоящей работе, которая ведется при поддержке Минобрания России (Грант-2000), предпринята попытка изменения традиционного модельного представления системы «Человек-одежда-окружающая среда» в виде коаксиальных цилиндров. В силу сплюснутой формы сечения туловища и зеркальной симметрии расположения холодовых элементов и респиратора нами предпринята попытка создания эллиптической модели «Человек-термозащитная одежда-окружающая среда», которая геометрически более адекватна форме тела человека. При этом тепловой баланс системы мы рассчитываем по определённым секторам модели. Таким образом, возникает новое геометрическое описание сечения туловища, которое представлено на рисунке 2.

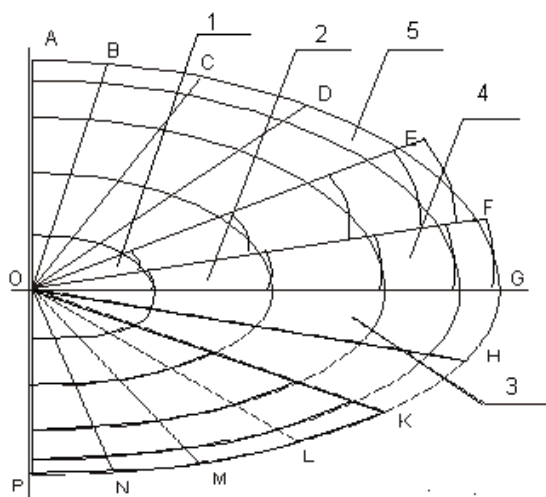


Рис.2. Геометрическое представление внутреннего строения туловища человека: 1-ядро (внутренняя часть); 2 – ядро (внешняя часть); 3- мышцы; 4- жир; 5- кожа.

В таком представлении задача описания тепловых процессов является двумерной, однако, ее можно свести к одномерной, допустив рассмотрение прямолинейного распространения тепла в рамках выделенного сектора с поправкой на его расширение и пренебрегая перетоками тепла из одного сектора в другой по линиям сопряжения. С внешней стороны туловища человека изолировано от воздействия факторов внешней среды дополнительными слоями одежды и внутренними воздушными прослойками: белье, воздушная прослойка, охлаждающий элемент из водяного льда, воздушная прослойка, теплоизоляционным материал. В результате можно рассматривать распространение теплового потока в выделенном секторе поперечного сечения туловища послойно через 10 слоев, каждый из которых характеризуется определенными величинами плотности теплового потока, коэффициентом теплопроводности, теплоемкости, плотности.

Определение температур каждого из выделенных слоев туловища при заданных условиях окружающей среды и поиск оптимальных параметров теплоизолирующих слоев одежды является главной задачей. Ее решение возможно путем математического моделирования рассматриваемого объекта методом конечных элементов, при котором появляется возможность повысить точность геометрического описания изучаемого тела и гибко варьировать параметрами системы при поиске оптимальных решений.

Литература

1. Меликов Е.Х., Привалов А.А., Расторгуева Л.Н. Метод расчета локальной теплоизоляции спецодежды // Швейная промышленность. – 1998. – № 6. – С. 21-22.
2. Бринк И.Ю., Похлебин А.В., Черунова И.В., Вяльцев В.М. К вопросу создания эффективных средств противотепловой защиты // Уголь. – 2000. – № 9. – С. 46-47.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ РЕАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Мугаттаров М.Г.

Любые виртуальные пространственные модели, закладываемые в информационную систему моделирования, представляют собой отражение некоторой области реального мира. Следовательно, необходимо обеспечить выполнение основного требования [1], предъявляемого ко всем типам информационных систем, - адекватность модели предметной области.

Понятие адекватности как явления строго не формализовано, но можно выделить условия, которым должна удовлетворять информационная модель, чтобы она считалась адекватной.

На оценку адекватности влияют множество причин. Во-первых, это так называемое старение информации, которое происходит в случае, если моделируемая область реального мира подвержена быстрому изменению. Лучшим решением является создание динамической модели, в основе которой лежит закон изменения моделируемой области. Более упрощенным вариантом является ограничение времени моделирования и, как следствие, создание ряда моделей для каждого интервала времени. Например, применительно к области антропологии и морфологии человека можно не рассматривать критерий старения информации, так как в относительно узкий промежуток времени (несколько лет – несколько десятков лет) использования автоматизированной системой моделирования в разработанных моделях информации о толщине мягких покровов лица и информации о строении черепа и лица человека сами объекты моделирования – череп и лицо человека – вследствие действия законов эволюции не изменят значительно свою морфологию.

Во-вторых, фактор неполноты информации, заключающийся в том, что в информационную систему не включены какие-либо сведения. К примеру, в модель лица человека не включена информация о генотипе объектов и, следовательно, отсутствует классификация по генной структуре объектов.

К основным критериям оценки адекватности моделей черепа, лица, элементов внешности лица можно отнести следующие.

1. Критерий соответствия моделей черепа человека, лица и его элементов реальным геометрическим соотношениям и характеристикам.

Этот критерий является одним из самых важных, так как геометрия моделей и их взаимные пропорции определяют восприятие как реалистичное отображение объектов в виртуальном пространстве моделирования.

2. Критерий соответствия моделей черепа и лица человека реальным светотеневым характеристикам.

Под светотеневой характеристикой здесь понимается положение вектора нормали поверхности или угол отражения поверхности. Такая характеристика позволяет при моделировании объекта с наложением поверхности правильно

воспроизвести степень освещенности - затемненности участка поверхности. Вследствие того, что действительная оценка моделей ведется с помощью различных средств отображения информации, которые имеют двумерную природу по способу представления графической информации (монитор, принтер), то учет данного критерия имеет важное значение, поскольку степень освещенности позволяет указать на ориентацию участка поверхности по отношению к некоторой определенной точке - источнику света. Таким образом, вывод такой информации как уровень освещенности участка поверхности вводит в плоское графическое изображение модели дополнительную степень свободы и дает более полное представление о рельефе и форме модели.

3. Критерий соответствия моделей цветовым характеристикам реальных объектов.

Помимо геометрии, пропорций и отражательной характеристики моделей на оценку адекватности влияет также цветовая характеристика модели, так как, например, графическое изображение лица с неестественным цветом поверхности при всей правильности его геометрии и пропорций элементов внешности искажает истинное восприятие зрением человека.

Оценку реалистичности моделей по вышеуказанным критериям может осуществить практически любой человек без отклонений в физиологическом развитии, поскольку экспертные знания в области распознавания и идентификации лиц являются важным условием существования в любом сообществе.

Таким образом, к основным критериям оценки адекватности виртуальных моделей пространственным характеристикам реальных геометрических объектов можно отнести следующие:

- геометрический критерий оценки
- пропорциональный критерий оценки
- световой критерий оценки
- цветовой критерий оценки.

Литература

1. Криницкий Н.А., Миронов А.Г., Фролов Г.Д. Автоматизированные информационные системы. – М.: Наука, 1982. – 384 с.

450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, корп. 6, УГАТУ, каф. ТК; тел. (3472) 237835;
e-mail: mmg@mail.rb.ru

УДК 519.7÷681.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕКОНСТРУКЦИИ ЛИЦА ПО ЧЕРЕПУ ЧЕЛОВЕКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СКАНИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ

Галиулин Р.М., Ильясов Б.Г., Мугаттаров М.Г.

На основе лазерно-оптоэлектронных методов измерения разрабатывается объемный компьютерный способ реконструкции лица по черепу.

Структуру черепа и лица человека составляют взаимосвязанные подсистемы, которые определяют геометрические характеристики и особенности строения поверхности соответственно черепа и лица человека. Геометрические характеристики элементов лица определяют также способность к изменению поверхности лица человека. В свою очередь элементы внешности представляют собой сложные объекты, как правило, с постоянными геометрическими характеристиками. Соблюдение физиологических и морфологических признаков строения черепа и лица человека является основным принципом в процессе реконструкции.



Рис.1. Функциональная схема процесса реконструкции

Моделирование процесса автоматизированной реконструкции по разработанной функциональной схеме заключается в следующем. Начальным этапом процесса реконструкции является этап автоматизированного измерения геометрических параметров черепа с помощью профилометрической лазерной системы измерения трехмерных объектов. В блоке обработки исходных данных вычисляются истинные координаты точки поверхности по данным калибровки системы. По обработанным данным на следующем этапе реконструкции формируется точечная модель черепа, а также модель черепа с наложением поверхности на точечную модель. Распознавание основных краниометрических характеристик и классификация черепа выполняется в блоке распознавания объекта. По полученным результатам классификации на следующем этапе выполняется

автоматизированная реконструкция точек поверхности лица. На следующем этапе по результатам реконструкции моделируется лицо человека. Затем создается полная модель лица человека с использованием элементов внешности. С целью оценки адекватности полученной модели производится сравнительный анализ по экспертным данным. В случае необходимости происходит коррекция краниометрической информации. Блок хранения информации выполняет функции записи, хранения и восстановления исходных данных, модели лица, полной модели лица с элементами внешности.

Преимущества разработанной на общесистемных подходах и принципах функциональной схемы перед существующими методами реконструкции заключаются в следующем:

- 1) полная формализация процесса реконструкции;
- 2) моделирование в виртуальном пространстве;
- 3) возможность многократного моделирования;
- 4) вследствие многообразия композиций элементов внешности лица существует возможность моделирования большого количества разнообразных типов конкретное лица;
- 5) использование блока оценки адекватности позволяет проводить корректировку результатов моделирования.

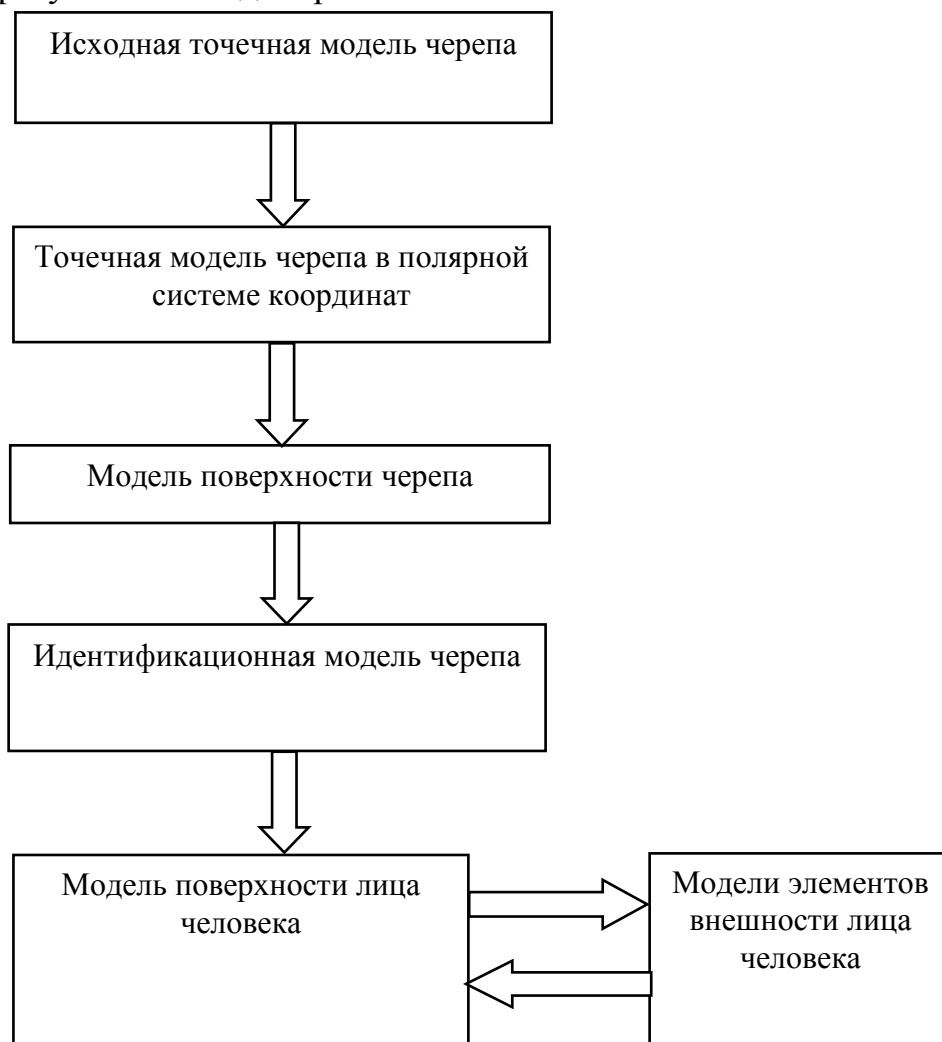


Рис.2. Этапы формирования моделей в процессе автоматизированной реконструкции лица человека по черепу

Таким образом, предложенная функциональная схема процесса реконструкции, разработанная на основе общенаучных подходов, служит в дальнейшем основой для построения математических моделей черепа, лица и его элементов.

Процесс автоматизированной реконструкции в виде последовательных этапов формирования моделей показан на рисунке 2.

Первым этапом в процессе моделирования лица человека является формирование исходной точечной модели черепа по данным профилометрии черепа. На следующем этапе по точечной модели черепа вычисляется модель поверхности черепа, затем формируется идентификационная модель черепа, на основе которой создается модель поверхности лица человека. Завершающим этапом процесса реконструкции является полная модель поверхности лица человека с варьируемыми элементами внешности.

Взаимодействие всех элементов внешности в полной системе как результат моделирования дает лицо с практически уникальными идентификационными признаками, так как, например, раздельное моделирование правых и левых частей одноименных элементов (глаз, ухо, нос) позволяет сформировать на лице индивидуальную асимметрию.

Таким образом, на основе предложенной схемы реализуется моделирование процесса реконструкции лица по черепу человека по результатам сканирования лазерной измерительной системой. В результате процесса моделирования автоматизированной реконструкции формируется полная модель лица, которая включает в себя модели начальной поверхности лица и системно объединенные в единую композицию элементы внешности лица человека.

450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, корп. 6, УГАТУ, каф. ТК; тел. (3472) 237835;
e-mail: mmg@mail.rb.ru

УДК 61

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАРУШЕНИЙ В РАБОТЕ ПОДСИСТЕМ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Прокопчук Ю.А., Харченко О.А.

Представим организм человека в виде совокупности взаимосвязанных подсистем FS_i ($i=1, \dots, n$). Пусть $D_{ij}(t)$ - j -я истинная проблема (диагноз) в работе i -ой подсистемы в момент времени t . Весь набор проблем обозначим $D_p(t)$. Будем считать, что в каждый момент времени t любая проблема может находиться в одной из стадий (фаз) $d_{ij} \in N$. Каждая проблема имеет определенную динамику развития, которую опишем числами $v_{ij} \in \{-1, 0, +1\}$. Имеющиеся заболевания могут привести к нарушениям в состоянии здоровья $C_k(t)$ (ограничения слуха, зрения и т.п.) определенной степени тяжести c_k . Нарушения в состоянии здоровья могут привести к ограничениям жизнедеятельности $B_l(t)$ (самообслуживанию, способности к самостоятельному передвижению, общению и т.п.) степени тяжести b_l . Последние могут привести к социальной недостаточности $S_m(t)$

(ограничениям в учебе, работе и т.п.) определенной степени тяжести s_m . Соответственно имеем множества: $D_p(t) = \{ \langle D_{ij}, d_{ij}, v_{ij} \rangle \}$; $C_p(t) = \{ \langle C_k, c_k \rangle \}$; $B_p(t) = \{ \langle B_l, b_l \rangle \}$; $S_p(t) = \{ \langle S_m, s_m \rangle \}$.

Между проблемами существуют причинно - следственные связи нескольких типов, например: а) появление некоторой проблемы с высокой вероятностью приводит к появлению других проблем; б) без устранения проблемы - причины невозможно устранить проблему - следствие; в) устранение проблемы - причины автоматически устраняет цепочку проблем - следствий; г) появление проблемы на короткое время и в легкой форме предупреждает появление подобной проблемы в тяжелой форме (стадии) на длительное время (пример - вакцинация); д) устранение опасной проблемы возможно лишь путем ее трансформации в другую - менее опасную проблему (пример - удаление пораженного органа); е) улучшение состояния по одним проблемам может ухудшить состояние по другим проблемам.

Согласно установленным причинно – следственным связям для каждого пациента строится граф $G_p = \langle D_p, C_p, B_p, S_p \rangle$. Граф позволяет определить программу реабилитации, состоящую из серии этапов, обеспечивающих достижение максимального реабилитационного потенциала (РП). Простой РП по конкретной проблеме определяется как разница между текущей степенью тяжести и потенциально достижимой (более низкой). Интегральный РП по проблеме определяется на основе графа и является взвешенной суммой простых РП всей ветви, выходящей из данной проблемы.

Кафедра информационных технологий и кибернетики Украинского государственного химико-технологического университета, yury@rdc.dp.ua

Харченко О.А. Лаборатория функциональной диагностики УкрГосНИИ медико-социальной помощи инвалидам, Украина, 49027, г.Днепропетровск, ул.Советская 1а, т.: (0562)47-02-20

УДК 681.3:61

МОДЕЛЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФАКТОРОВ РИСКА ИЗ МЕДИЦИНСКОЙ КАРТЫ

Прокопчук Ю.А., Костра В.В.

Медицинская карта MC_p пациента с кодом p состоит из множества первичных документов $\{D_{pq}\}$ (q – уникальный код документа) и всевозможных обзоров $\{V_{pr}\}$ (вторичных документов). В свою очередь, первичный документ состоит из заголовка H и множества параметров $\{X\}$, т.е. $D_{pq} = \langle H, \{X\} \rangle_{pq}$. Параметры X могут быть числовыми, символьными, текстовыми блоками и т.д. Для ввода информации в текстовый блок может применяться специализированный лексический процессор LP [1], который работает с лексическими деревьями LT. Для обработки данных и вывода заключений в рамках локального документа D_{pq} может применяться семантический процессор SP [1]. Для поиска и структурирования информации в рамках всей медкарты MC_p используется аналитическая система AS. Для решения задач автоматизированной диагностики и про-

гнозирования с использованием информации всей медкарты MC_p применяется проблемный решатель PS [1].

Факторы риска (ФР) развития угрожающих состояний $\{F_t\}_p$ различаются уровнем общности (индекс - t), который определяется следующим образом: $t=0$ – уровень LT; $t=1$ – уровень параметра X ; $t=2$ – уровень документа D_{pq} ; $t=3$ – уровень карты MC_p . При переходе на более высокий уровень ФР предыдущего уровня становятся недоступными или удаляются. ФР 3-го уровня хранятся в специальном документе $D_{pf} = \langle H, \{F_3\} \rangle_p$ под названием "Факторы риска". Таким образом, имеем:

LP: LT $\rightarrow \{F_t\}_{pq}$, где $t=0,1,2,3$;

SP: $D_{pq} \rightarrow \{F_t\}_{pq}$, где $t=1,2,3$;

AS: $MC_p \rightarrow D_{pf}$.

PS: $D_{pf} \rightarrow \{U\}_p$, где U – угрожающие состояния [2].

Таким образом, построена многоуровневая система извлечения факторов риска угрожающих состояний из медицинской карты.

Литература

1. Алпатов А.П., Прокопчук Ю.А., Костра В.В., Пилипченко И.А. Интеллектуальные управляющие информационные системы // Автоматика-2000: Сб. трудов межд. конф. по автоматическому управлению. Т.6. – Львов: ГосНИИ информационной инфраструктуры, 2000. – С. 20-24.
2. Прокопчук Ю.А., Овсяк Л.И., Пилипченко И.А. Прогнозирование угрожающих состояний на основе активных баз данных. // Вестник ХГПУ «Системный анализ, управление и информационные технологии». – 1999. – Вып. 72. – С. 193-198.

Институт технической механики НАНУ, Украина, 49600, ГСП-5, г. Днепропетровск, ул. Лешко-Попеля 15, yury@rdc.dp.ua

УДК 681.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ БАЛЬНЕОФАКТОРА И ЕГО ОПТИМИЗАЦИЯ

Гребенищikov А.П.

Предпринята попытка средствами математического моделирования, описать механизм действия бальнеофактора (хлоридных натриевых иодобромных ванн) и найти оптимальное соотношение компонентов ванны.

Клинический эксперимент строился в соответствии с матрицей включающего в себя перебор всех возможных вариантов химических компонентов ванны. Оптимизация строилась на больных ишемической болезнью сердца со стенокардией напряжения I-II функционального класса.

Конструкция плана эксперимента определялась целью, с которой отыскивалась математическая модель. Поскольку основной задачей было изучение механизма действия лечебного фактора, то использовалась ортогональное планирование, позволяющее находить отдельные оценки коэффициентов уравнения. При выборке действующих на объект (субъект) факторов определены гра-

ницы, в которых варьирование ими не приводило к вредным для организма большим значениям отклика.

Поскольку задача отыскания по полученным уравнениям оптимальных вариантов лечебного воздействия весьма сложна из-за использования одновременно большого числа показателей, а используемая система уравнений часто оказывалась нелинейной, то эту задачу решали по частям, выделяя каждый раз относительно небольшие группы показателей состояния организма. План эксперимента требовал реализации 28 комбинаций с повторением каждой от 6 до 10 раз. В клиническом эксперименте приняло участие 226 больных ИБС.

Для построения адекватной модели применялся индуктивный регрессионный анализ в сочетании с «селекцией выборки».

В ходе решения задачи были получены уравнения с лучшими оценками точности на обучающей выборке, выделить факторы и их сочетания входящих в абсолютное большинство уравнений. Проверка на значительном контингенте больных в клинике показало высокую степень совпадений фактических прогнозируемых результатов.

*Медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий
г. Екатеринбург.*

УДК 577.112

МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АНТИТЕЛ ПРОТИВ 2,4-ДИХЛОРОФЕНОКСИ-УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ.

Колясников О.В., Крикунова В.С., Григоренко В.Г., Егоров А.М.

Общей проблемой современной структурной биологии является постоянно растущий разрыв между числом известных первичных последовательностей белков и числом расшифрованных пространственных структур. Заполнить этот разрыв возможно с помощью методов молекулярного моделирования, в первую очередь, моделирования по гомологии.

Структура антител крайне консервативна, что позволяет осуществлять моделирование с высокой степенью аккуратности, приближающейся к точности рентгеноструктурного анализа.

Объектами нашей работы были родственные антитела E2/B5 и E4/C2 против широко распространенного пестицида 2,4-дихлорофенокси-уксусной кислоты (2,4-Д) [1]. На основе известной аминокислотной последовательности их переменных фрагментов [2] были проведено моделирование пространственной структуры данных антител.

Сайт связывания лиганда в обеих структурах представляет собой глубокую полость на стыке гипервариабельных петель H3 и L3. Был произведен докинг 2,4-Д и его структурных аналогов в сайты связывания модельных структур. В обеих антителах доминирующую роль в связывании 2,4-Д играет TyrH95, образующий π -стекинг взаимодействие с ароматическим ядром лигандов.

Также следует подчеркнуть гидрофобные остатки стенки полости и гид-

рофильное дно полости, с прочно связанными молекулами воды. На основании результатов докинга мы подразделяем лиганды данных антител на три подгруппы, что позволяет объяснить кросс-реактивность данных антител. Молекулы первой из них имеют дополнительные атомы, обращенные в полость и стерически препятствующие связыванию. К их числу относится 2,4,5-трихлорофенокси-уксусная кислота (2,4,5-Т). Ко второй группе относятся лиганды, оставляющие на поверхности результирующего комплекса гидрофобные группы. Их сольватация приводит к проигрышу в энтропии связывания. Примером здесь служит 2-метил-4-хлорофенокси-уксусная кислота (МСРА). В третьей группе находятся молекулы, лишенные атома хлора в 4-м положении. Его место замещается молекулой воды, что опять-таки ухудшает энтропию связывания. Таким соединением является 2-хлорофенокси-уксусная кислота.

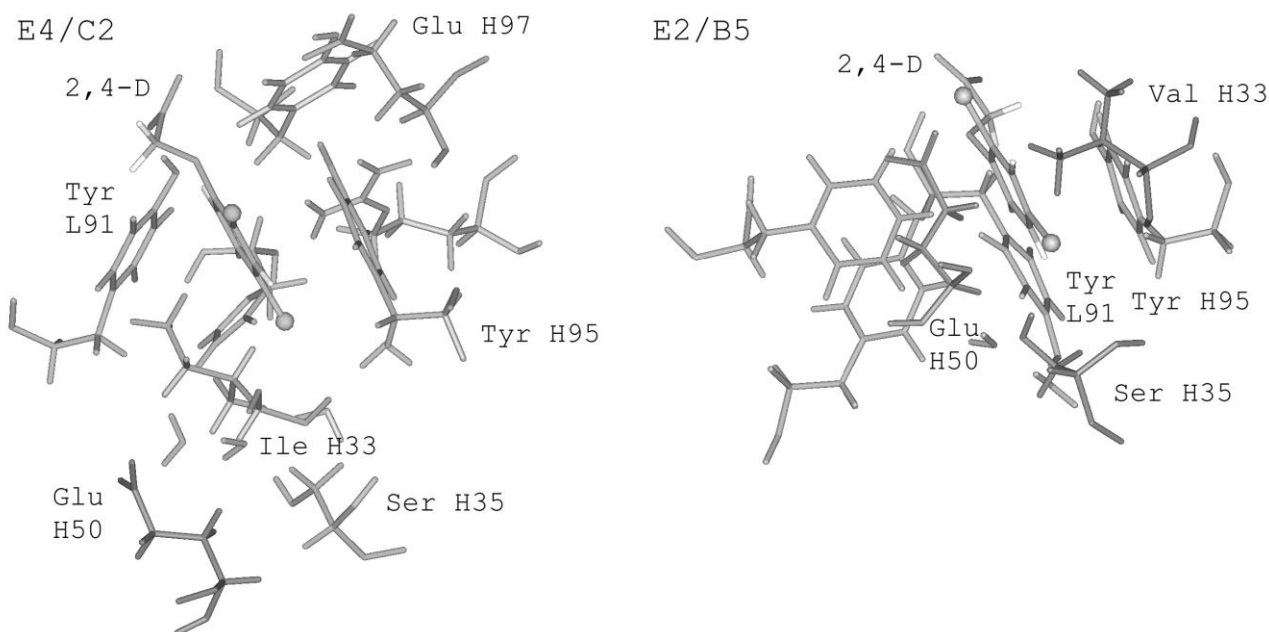


Рис.1

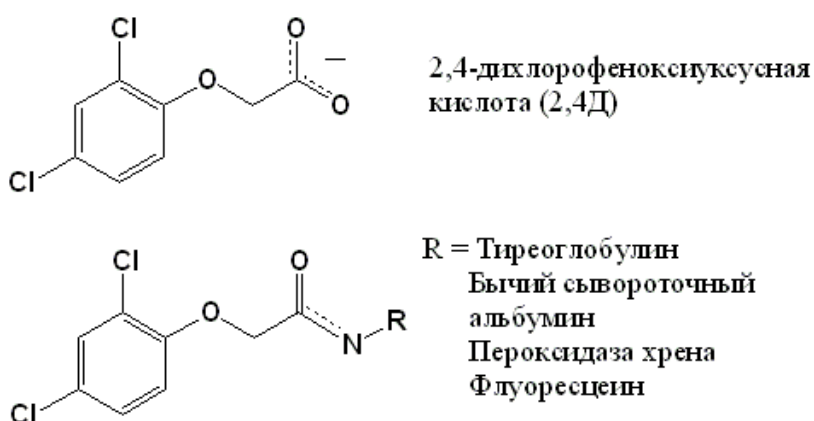


Рис.2

Необходимо выделить ещё одну общую черту обеих структур - наличие на входе в полость отрицательно заряженного остатка глутаминовой кислоты (GluH50 в E2/B5 и GluH97 в E4/C2). Мы объясняем этот факт тем, что антитела нарабатывались против его конъюгата 2,4 с тиреоглобулином. Поэтому

собственно 2,4-Д связывается с антителом хуже, чем любой конъюгат 2,4-Д, будь то конъюгаты с БСА или пероксидазой, используемые в иммуноферментном анализе, или конъюгат с флуоресцеином, используемый в поляризационном флуоресцентном иммуноанализе (ПФИА). Из этого факта вытекают след-

ствия, позволяющие поднять чувствительность анализа на 2,4-Д в самых распространенных конкурентных схемах:

- 1) Использовать конъюгат с более низкой константой связывания, чем у 2,4-Д.
- 2) Видоизменить антитело с изменением его кросс-реактивности.

Первый путь был нами успешно реализован. При использовании конъюгата МСРА с флуоресцеином, вместо конъюгата 2,4-Д, удалось достичь увеличения чувствительности ПФИА на 2,4-Д в 12 раз.

Второй путь предстоит реализовать на практике. Ранее был получен рекомбинантный Fab-фрагмент антитела E2/B5 [2]. Из моделирования мутантных вариантов данного антитела следует, что замена GluH50Ala или GluH50Gln приводит к нарушению структуры сайта связывания, в то время как при заменах GluH50Ser и GluH50Lys полость сохраняется и расчетная энергия связывания 2,4-Д превосходит энергию связывания амида 2,4-Д.

Литература

1. Franek M, Kolar V, Granatova M, Nevorankova Z. Monoclonal ELISA for 2,4-dichlorophenoxyacetic acid: characterization of antibodies and assay optimization // J. Agric. Food Chem. – 1994. – Т. 42. – № 6. – С. 1369-1374.
2. Borchers T, Schmengler K, неопубликованные результаты.

119899 г. Москва, Ленгоры, МГУ им. Ломоносова, Химический факультет, каф. Энзимологии т. (095)939-34-07, e-mail: olkol@enz.chem.msu.ru

УДК 681.3

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ МЕДИКО-КРИМИНАЛИСТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Даценко Н.В.

Судебно-медицинская экспертиза, в том числе анализ расстройства здоровья и смерти от воздействия химических факторов, предполагает обработку больших объемов информации. Для оказания эффективной помощи специалисту при подготовке экспертных заключений случаев отравлений предлагается использовать автоматизированную информационную систему (АИС).

Вся информация, необходимая для построения логических выводов и, в конечном итоге, экспертного заключения, хранится в базе знаний (БЗ) системы. Структурирование этой информации осуществляется путем ее представления с помощью двух форматов данных. Первый - содержит знания о конкретном ядовитом веществе:

$\{\text{Poison}, n, (j, \text{МД}, \text{МНД})\},$

где Poison - название яда; n - число симптомов, которые могут быть использованы для подтверждения отравления ядом Poison; (j, МД, МНД) - тройки чисел, соответствующие каждому из n симптомов: j - номер симптома, МД и МНД - определяемые экспертом соответственно мера доверия и мера недоверия гипотезе h (причина отравления - яд Poison) при свидетельствах e.

Для получения значений МД и МНД гипотез используется метод направленного опроса специалистов, при котором эксперты назначают «вес» каждой гипотезе в интервале $[0;1]$. МД и МНД необходимы для вычисления коэффициентов уверенности гипотез АИС:

$$КУ[h:e] = МД[h:e] - МНД[h:e],$$

где $КУ[h:e]$ - уверенность в гипотезе h с учетом свидетельств e .

Второй формат данных содержит знания о симптомах:

$$\{Number, Name, Question\},$$

где Number - номер симптома, который используется для ссылок на симптом в данных о ядовитом веществе; Name - симптом; Question - вопрос, который можно задать пользователю АИС при попытке определить, проявляется ли симптом Name в данном случае отравления.

Предлагаемый способ структурирования знаний в автоматизированной информационной системе медико-криминалистической экспертизы воздействия химических факторов позволяет легко и быстро осуществлять модификацию данных (удаление, дополнение, исправление и т.п.) в случае поступления новой информации.

394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53, Воронежский институт МВД, кафедра ИТО ОВД, т.(0732)78-89-22

УДК 614.254.3:519.86; 677

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАИСКОРЕЙШЕГО ПУТИ К БОЛЬНОМУ

Бойченко Л.П., Федотова Н.А.

Участковый врач-терапевт с первых дней своей трудовой деятельности каждодневно сталкивается с задачей выбора наискорейшего пути к больному, обслуживая вызовы на дому. Задача ставится следующим образом. Пусть требуется добраться из пункта S_0 в пункт $S_{кон}$ (где $S_{кон}$ - пункт нахождения больного). Имеется целый ряд возможных вариантов пути, составленных из участков дорог, не равноценных по качеству (асфальтированных, не благоустроенных и даже проселочных). Кроме того, на пути, как правило, встречаются перекрестки, проезды, на которых перемещение задерживается.

Задача состоит в том, чтобы выбрать такой путь из S_0 в $S_{кон}$, который врач пройдет за минимальное время [1].

Для приближенного решения данной насущной задачи методом динамического программирования введем в нее искусственно некоторую “поэтапность”. Для этого разделим расстояние D от S_0 до $S_{кон}$ на m равных частей длиной $\Delta D = D/m$ и будем считать, что за каждый “шаг” процесса перемещения из S_0 в $S_{кон}$ преодолевается m -я часть расстояния. Другими словами, каждый “шаг” представляет собой перемещение с одной из опорных прямых, перпендикулярных S_0 - $S_{кон}$, на соседнюю, более близкую к $S_{кон}$.

Деля процесс на шаги таким образом, мы, естественно, должны условиться, что перемещение от шага к шагу допускается только в положительном направлении (т.е. от S_0 к $S_{кон}$, а не обратно); иными словами, после того как определенный шаг пройден, возвращение обратно, в ту же полосу между двумя

опорными прямыми, не допускается. Такое ограничение представляется достаточно приемлемым для практики.

Итак, предположим, что путь из S_0 в $S_{\text{кон}}$ разбит на m шагов, в каждом из которых врач перемещается с одной из опорных прямых $(i)-(i)$ на следующую по порядку $(i+1)-(i+1)$ ($i=0,1,\dots,m$).

Проведенные нами опорные прямые пересекают дорожную сеть в каких-то точках. Для решения задачи нам известно время, требуемое для прохода каждого участка пути, а также время задержки на каждом перекрестке (переезде). Для моделирования конкретного примера нами было построено семь опорных прямых и, таким образом, процесс перемещения врача из S_0 в $S_{\text{кон}}$ мы разделили на семь шагов. После чего начиналось построение оптимального пути с последнего (m -го) шага. Намечая на опорной прямой $(m-1)-(m-1)$ все возможные положения врача в момент окончания предпоследнего ($(m-1)$ -го) шага. Это есть гипотезы о положении врача после $(m-1)-(m-1)$ -го шага, для каждой из которых мы должны найти условное оптимальное управление на m -м шаге. Из каждого такого положения мы выбирали оптимальный (кратчайший по времени) путь в точку $S_{\text{кон}}$. Рассматривая сначала первую из отмеченных точек – точку A на прямой $(m-1)-(m-1)$. Из нее в точку $S_{\text{кон}}$ (в пределах полосы m -го шага) ведет единственный путь занимающий по времени 35 минут.

Выбор этого пути представляет собой условное оптимальное управление при условии, что предыдущий шаг привел врача в точку A . Данное обстоятельство означает, что перемещаясь из S_0 в $S_{\text{кон}}$, врач на последнем шаге должен двигаться из точки A и должен затратить при этом 35 минут. Затем переходим к следующей точке (B) на прямой $(m-1)-(m-1)$. И, анализируя время перемещения от каждой точки опорной линии до конечного пункта, мы находим скорейший путь.

Продолжая таким образом, находим для каждой точки на прямой $(m-1)-(m-1)$ оптимальное продолжение пути.

После того как это выполнено, переходим к планированию $(m-1)$ -го шага. Гипотезы о том, где может находиться врач после предпоследнего $(m-2)$ -го шага, отмечены на прямой $(m-2)-(m-2)$.

Далее для каждой из отмеченных точек мы должны найти условное оптимальное управление, т.е. такой путь с прямой $(m-2)-(m-2)$ на прямую $(m-1)-(m-1)$, который совместно с уже оптимизированным последним шагом, дает возможность достигнуть путь $S_{\text{кон}}$ за минимальное время. Чтобы найти это условное оптимальное управление мы должны для каждой точки на прямой $(m-2)-(m-2)$ перебрать все возможные способы перехода на прямую $(m-1)-(m-1)$ и время, потребное на этот переход, сложить с минимальным временем последнего шага. Из всех возможных путей выбирается тот, для которого это суммарное время минимально.

В результате цепочки таких построений, перемещаясь шаг за шагом с одной опорной прямой на другую, врач, наконец, дойдет до исходной точки S_0 . Для нее мы определим оптимальный путь на прямую $(1)-(1)$ и найдем соответствующее оптимальное время у точки S_0 . Таким образом, поставленная задача решена. На компьютере можно реализовывать задачи с любой исходной информацией.

Литература

1. Бойченко Л.П., Туманова О.Н. Экономико-математические методы и модели: Учебное пособие. – Ухта, 1999. – 124 с.

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ РЕПРОДУКТИВНЫХ КАЧЕСТВ СВИНОМАТОК

Михайлов Н.В., Третьякова О.Л., Харитонов Т.А.

Закономерности жизненных циклов впервые описали [1,2], изобразив их в виде «возрастных таблиц плодovitости». Они отметили, что изучение жизненных циклов, это попытка создать эквивалент, выявить общие черты и закономерности. Основные показатели жизненных циклов отражают особенности репродукции популяций и стадии ее развития. Основным коэффициентом воспроизводства R_o - показатель, который характеризует сумму текущего репродуктивного выхода. Как отмечают [3] возраст особи не лучший показатель ее племенной ценности. Объективным показателем племенного использования свиноматок является количество опоросов. Следует отметить, что изучение жизненных циклов связано обычно с относительными, а не абсолютными величинами. Так для расчета основного коэффициента воспроизводства применяют следующую формулу: $R_o = \sum_{X=1}^t Fx / a_1$, где t – количество опоросов на момент оценки; Fx – количество потомков полученное на опорос X ; a_1 – количество свиноматок на первый опорос. Средняя продолжительность использования свиноматок в популяции рассчитывается по формуле: $T_c = \sum_{X=1}^t x \cdot Fx / \sum_{X=1}^t Fx$. Приращение численности за единицу времени в пересчете на одну особь является относительной скоростью увеличения численности популяции и оценивается по формуле: $r \approx \ln R_o / T_c$. Число полученных от свиноматки потомков N_t рассчитывается по формуле $N_t = N_o R_o$, где N_o - число потомков на первый опорос.

Объединить показатели в оценочный комплекс позволяет концепция «репродуктивной ценности» разработанная Фишером [4]. Репродуктивный потенциал свиноматок, т.е. вклад отдельной особи в будущее популяции, характеризует репродуктивная ценность RV . Этот показатель оценивает сумму потомства последующих стадий на некоторый заданный период. Репродуктивная ценность RV особи в возрасте или на стадии X (RV_x) определяется равенством: $RV_x = \sum_{t=x}^{x+p} m_t \cdot S_{x \rightarrow t} \cdot \frac{N_{T(x)}}{N_{T(t)}}$, где p – период прогноза; m_t - многоплодие в возрасте t ; $S_{x \rightarrow t}$ - вероятность использования особи возраста X до возраста t ; $N_{T(x)} / N_{T(t)}$ - изменение численности популяции на стадии t относительно стадии X ; $N_{T(x)}$ - число полученных от свиноматки потомков на стадии X ; $N_{T(t)}$ - ожидаемое количество потомков особи в возрасте t . Это уравнение можно представить как сумму двух слагаемых:

$$RV_x = m_x + \sum_{t=x+1}^{x+p} m_t \cdot S_{x \rightarrow t} \cdot \frac{N_{T(x)}}{N_{T(t)}}$$

где m_x -многоплодие; $m_t \bullet S_{x \rightarrow t}$ - ожидаемое потомство на стадии t , т.е. успех размножения особи с поправкой на вероятность достижения ею стадии t .

Определяя оценку племенной ценности животного, необходимо сосредоточить внимание на численности его потомков полученных в процессе использования. Приведенные показатели характеризуют репродукцию новых особей и уже использующихся в стаде. Каждая особь может произвести несколько потомков, некоторые из которых останутся, а некоторые погибнут или будут выбракованы. Эти уравнения позволяют связать численность потомства популяции, скорость ее увеличения, смену поколений и время.

В качестве примера приведен расчет основных показателей в возрастной таблице плодовитости свиноматок ГПЗ «Венцы-Заря» Краснодарского края.

Таблица 1

Возрастная таблица плодовитости основных свиноматок ГПЗ «Венцы-Заря»

Возрастная стадия (опорос)	Количество свиноматок на начало опороса, гол.	Количество свиноматок в пересчете на первый опорос	Количество потомков полученных на каждый опорос, гол.	Многоплодие, гол.	Количество потомков в пересчете на первый опорос, гол.
X	a_x	l_x	F_x	m_x	$l_x m_x$
1-й опорос	43	1,000	488,05	11,35	11,35
2-й опорос	66	1,534	691,68	10,48	16,07
3-й опорос	93	2,163	964,41	10,37	22,43
4-й опорос	64	1,488	635,52	9,93	14,77
5-й опорос	72	1,674	716,4	9,95	16,66
6-й опорос	42	0,976	413,28	9,84	9,60
7-й опорос	31	0,721	316,51	10,21	7,36
8-й опорос	14	0,325	142,1	10,15	3,29
9-й опрос	6	0,139	64,56	10,76	1,49
10-й опорос	6	0,139	57,42	9,57	1,33
Сумма			4489,93		104,35

Основной коэффициент воспроизводства составил $R_0=104,35$ гол. при удельной скорости увеличения популяции $r=1,17$ гол., средней продолжительности использования свиноматок в популяции $T_c = 3,98$ опороса, среднем количестве потомков от свиноматок за период использования $N_t = 1184,4$ потомка.

Литература

1. Richard O.W., Waloff N. Studies on the biology and population dynamics in British grasshoppers // Anti-Locust Bulletin. – 1954. – № 17. – P. 1-182.
2. Southwood T.R.E. Habitat, the templet for ecological strategies? // Journal of Animal Ecology. – 1977. – V. 46. – P. 337-365.
3. Leverich W.J., Levin D.A. Age-specific survivorship and reproduction in *Phlox drummondii* // American Naturalist. – 1979. – V. 113. – P. 881-903.
4. Fisher R.A. The Genetical Theory of Natural Selection. – Oxford: Clarendon Press, 1930.

УДК 636.32/38

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАСТРИГА ШЕРСТИ ОВЕЦ

Гуревнина И.В.

Отбор животных для дальнейшего воспроизводства проводится по фенотипу. Важным является предварительная оценка продуктивных качеств овец по количественным признакам. Для этого необходимо определить воздействие этих признаков на результативный показатель, выявить характер и степень связи этих показателей.

Нами проведены исследования на поголовье овец сальской породы ГПЗ «Северный». В обработку включено 5 половозрастных групп: бараны-производители по 107 гол., бараны-годовики - 320 гол., матки - 131 гол., ярки – 110 гол., переярки – 181 гол. Учитывались следующие признаки: X_1 - длина шерсти, см; X_2 - тонина шерсти, мкм; X_3 - живая масса, кг, X_4 – настриг шерсти.

В результате корреляционно-регрессионного анализа определена степень связи между X_1 - X_3 для баранов-производителей (0,3), для баранов-годовиков (0,4), для маток (0,06), для ярок (0,3), для переярок (0,2). Между X_1 - X_2 по половозрастным группам соответственно: 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1. Между X_1 - X_4 соответственно: 0,7; 0,3; 0,3; 0,4; 0,5. Это позволило выразить взаимосвязь между изучаемыми признаками как линейную функцию $Y = y - R_{y/x}(x_i - \bar{X})$. Построены простые линейные уравнения, позволяющие предсказать и оценить настриг шерсти овец по длине, тонине шерсти и живой массе. Ниже приведены уравнения для расчета настрига шерсти по 1) длине шерсти для каждой половозрастной группы: баранов-производителей $Y = 11,2 + 0,108X$; баранов-годовиков $Y = 7,22 + 0,001X$; маток $Y = 6,5 + 0,213X$; ярок $Y = 2,17 + 0,599X$; переярок $Y = 8,3 + 0,104X$; 2) тонине шерсти соответственно: $Y = 1,97 + 0,421X$, $Y = 6,24 + 0,0416X$, $Y = 0,0588 + 0,363X$, $Y = 6,19 + 0,0528X$, $Y = 5,58 + 0,646X$; 3) по живой массе : $Y = 7,46 + 0,0452X$; $Y = 6,13 + 0,0182X$; $Y = 3,34 + 0,0706X$; $Y = 1,05 + 0,174X$; $Y = 5,15 + 0,0603X$.

По рассчитанным уравнениям можно определить признак Y по другому известному признаку X .

Это диктуется необходимостью иметь информацию об изменении признаков при проведении селекционно-племенной работы, установлении селекционных границ отбора, селекционного дифференциала и других генетико-популяционных показателей.

УДК 504.45.06.001.57

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЭКОСИСТЕМЫ РЕЧНОГО БАССЕЙНА НА ПРИМЕРЕ Р. ДОН

Лагутов В.В.

Устойчивое развитие является на сегодняшний день, пожалуй, одним из наиболее популярных и избитых терминов такой относительно новой науки как

экология, а также центром многих политических и экономических дискуссий. Тем не менее до сих пор не существует не только общепринятого определения данной концепции, но также и единой методологии и методов оценки. Экономисты, экологи, социологи, политологи предлагают свои точки зрения, зачастую диаметрально противоположные. Несмотря на это исследования в этой области и попытки создания единой базы для дальнейших исследований ведутся уже давно. Так, на Международном Конгрессе по Окружающей среде под эгидой ООН (Дублин, 1992) географической территориальной единицей наиболее подходящей для разработки и внедрения принципов устойчивого развития был признан речной бассейн [4].

Очевидно, что проблема сосуществования экосистемы и различных видов деятельности человека должна быть рассмотрена с междисциплинарной точки зрения и требует учета большого числа параметров и переменных. Естественным ответом может быть использование аппарата математического моделирования. Однако, для моделирования такой сложной нелинейной системы каковой является взаимодействие речной экосистемы и регионального хозяйственного комплекса классические подходы и методы математического моделирования слабо применимы. Возросшие за последнее время возможности ЭВМ позволяют применить в данном случае аппарат имитационного моделирования. Комплексный имитационный подход позволяет повысить адекватность создаваемой модели за счет более полного использования эмпирических данных. Причинно-следственные связи в имитационных моделях прослеживаются не до конца, что позволяет анализировать системы в условиях большой размерности и неполной информации об их строении. Последнее условие является чрезвычайно важным, так как в отличие от точных наук таких как физика или химия, мы очень мало знаем о взаимодействии различных компонент экосистем [1].

В данной работе была предпринята попытка оптимизации работы народно-хозяйственного комплекса речного бассейна с целью предотвращения деградации речной экосистемы на примере реки Дон. Подобный выбор определяется необходимостью принятия скорейших мер для улучшения крайне неблагоприятной экологической ситуации в бассейне реки, большим числом потребителей водных ресурсов, крайне неравномерным распределением годового стока.

Создана имитационная модель динамики водных ресурсов на участке от Азовского моря до Цимлянского водохранилища. Среди основных водопотребителей рассмотренных в модели: навигация, мелиорация, энергетический комплекс, промышленные водозаборы, рыбный промысел. В качестве биоиндикатора устойчивого развития была выбрана популяция осетровых. Являясь долгоживущим видом и совершая ежегодные миграции на нерест вдоль всего рассматриваемого участка реки, осетровые позволяют наиболее полно оценивать антропогенную нагрузку на экосистему. Более того, подобный выбор позволяет связать состояние экосистемы с экономической прибылью от природоохранной деятельности, так как осетр является ценным промысловым видом.

Разработанная модель была реализована в нескольких программных средах, в том числе в пакете STELLA, который позволяет проводить многочисленные эксперименты на созданной модели без изменения исходного кода. Модель, созданная в данном пакете, может быть легко проанализирована специа-

листом в любой из рассматриваемых областей и при необходимости скорректирована. Более того, удобный интерфейс и возможность прогонки различных сценариев позволяет рассматривать модель реализованную в данном пакете как “средство принятия решений” для руководителей различного ранга [2,3].

Модель состоит из ряда взаимодействующих блоков, отвечающих за различные процессы: динамика водных ресурсов, нерестовая миграция половозрелых осетров, скат личинок и молоди, моделирование погодных условий (таких как водность года, температура воды и воздуха, осадки), сельскохозяйственная и промышленная активность, выработка стратегий управления распределением водных ресурсов, экономический блок, подчитывающий экономическую целесообразность того или иного решения, и так далее.

Модель может быть использована в трех режимах работы: ретроспективный (для проверки адекватности модели на основе статистических данных), режим оперативного управления (управление водными ресурсами в течение одного года), стратегического управления (долгосрочный эффект от природоохранной деятельности).

Вследствие наличия большого числа случайных процессов целая серия экспериментов должна быть произведена для оценки той или иной стратегии управления. Полученный интервал возможных значений должен быть исследован впоследствии с целью определения вероятности того или иного возможного варианта развития.

Результаты, полученные на данной модели, позволяют утверждать, что вероятность поддержания популяции осетровых на заданном уровне, при условии соблюдения интересов всех участников водопотребителей агропромышленного комплекса бассейна, невысока. Однако, при небольших дополнительных капиталовложениях в реконструкцию гидротехнических сооружений и рыбопропускных устройств, вероятность сохранения популяции на уровне достаточном для промышленного лова существенно повышается.

Литература

1. Ford A. Modeling the Environment. An introduction to System Dynamics Modeling of Environmental Systems. – Washington: Island Press, 1999.
2. Hanon B. Ruth M. Dynamic Modeling. – New York: Springer, 1994.
3. Hanon B., Ruth M. Modeling Dynamic Biological Systems. – New York: Springer, 1997
4. Lagutov V., Corliss J., Bellinger E. A Simulation Model of a River basin as a Tool in Sustainable Management // Materials of First International Conference on Ecological Modeling. – Pula: Croatia, 1997. – P. 18-19.

УДК 51-7:528.8.04

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ОБРАБОТКЕ ДИСТАНЦИОННОЙ МОНИТОРИНГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМ

Коршиков А. Ф.

Современные ландшафтно-экологические системы под воздействием антропогенных факторов приобретают нестабильный характер, обусловленный

обеднением их компонентов и взаимосвязей и снижением гомеостатических возможностей. В наиболее существенном выражении с практической точки зрения эта тенденция наблюдается для агроэкологических систем, т.е. ландшафтов, трансформированных для специализированного использования – выращивания сельскохозяйственных культур и животноводства. Антропогенный прессинг в сочетании с природными процессами на этих территориях порождают ряд негативных явлений и процессов, кардинально влияющих на общее состояние экосистем и ландшафтов [2].

В связи с необходимостью рационального использования земельных ресурсов и обеспечения максимальной продуктивности агроэкосистем возникает потребность в эффективной системе информационного обеспечения органов управления земельными ресурсами и сельскохозяйственным производством. В настоящее время оптимальным средством решения этой проблемы является внедрение системы дистанционного (аэрокосмического) мониторинга земель, которая обладает рядом существенных преимуществ в сравнении с традиционными формами и методами сбора информации [3,6].

Однако, эти преимущества (оперативность, достоверность и большой объем данных) связаны с особыми требованиями к обработке мониторинговой информации, представляемой в форме изображений земной поверхности (аэрокосмических снимков), имеющих сложное информационное содержание. На снимке отображаемый объект характеризуется текстурой, тоном или цветом, конфигурацией, размерами, пространственным расположением и структурой, фактически представляя собой его иконографическую модель.

Практическое дешифрирование съемочных материалов, сводимое к диагностике, качественной и количественной оценке состояния объектов, традиционно выполняется визуально-инструментальным методом, требующим больших затрат времени и высокой квалификации исполнителей.

Автоматизированная интерпретация иконографической модели объекта требует наличия программ коррекции изображений, базы диагностических данных и построения ряда промежуточных дешифровочных моделей, учитывающих коррелятивные связи между реальными параметрами объекта и их отображением на аэрокосмическом снимке, для получения практически значимой информации [1].

Безусловно, эта задача может быть решена только при использовании эффективных компьютерных средств, специализированного программно-математического обеспечения и геоинформационных пользовательских технологий.

Реализация этого подхода применительно к оценке подтопления земель как одного из первостепенных объектов дистанционного мониторинга агроресурсов позволила разработать ряд оригинальных программно-математических решений по автоматизированному дешифрированию (качественной и количественной оценке) съемочных материалов, отражающих интенсивность и распространение этого явления [4,5].

Технологические аспекты разработки позволяют адаптировать ее в проектируемую систему дистанционного мониторинга посевов зерновых колосовых культур Северо-Кавказского региона и систему мониторинга земель Рос-

сийской Федерации.

Литература

1. Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков: Учеб. – М.: Недра, 1983. – 377 с.
2. Винниченко Е.В. Развитие подтопления на территории Краснодарского края // Тезисы докладов VI краевой конф. по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа. – Ессентуки, 1985. – С. 56-63.
3. Горбачев В.В, Пугачев А.С., Басманов А.Е. и др. Руководство по выявлению и оценке затопления и подтопления земель с применением аэрокосмической информации. – М.: РосИМЗ, 1999. – 137 с.
4. Коршиков А.Ф. Автоматизированная обработка дистанционной агроэкологической информации [http://www.mis.rsu.ru/conf/2000a/5-1.html 25.04.2000]
5. Коршиков А.Ф., Матвиенко В.Ю. Использование данных дистанционного зондирования и автоматизированной обработки информации для решения агроэкологических задач // Сб. научных трудов Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки. – 2000. – Т. 4. – С. 47-49
6. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин. Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 230 с.

350049, г.Краснодар, ул. Ставропольская 149, Кубанский государственный университет, каф. математического моделирования, тел. (8612) 699-578, e-mail: korshikov@mail.kubsu.ru

УДК 504.064.3:628.54

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ СТОКОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Серпокрылов Н.С., Пуресев А.И., Лепихова В.А., Сорокин Н.П.

Использование в качестве косвенных методов оценки степени очистки стоков промышленных предприятий методов акустического контроля позволит не только ускорить проведение анализа и оперативно контролировать качество стоков и наличие в них дисперсных примесей, но и определять элементный состав и процентное содержание этих примесей.

Для выявления характера сигнала акустической эмиссии (АЭ), генерируемого при взаимодействии частиц дисперсных примесей со стенками трубопроводов приводится схема его возникновения. Механические волны в материале трубопровода 1, возникающие при ударе частицы примеси, преобразуются кон-

тактным преобразователем 2 в электрический сигнал, усиливаются избирательным усилителем 3 и подвергаются обработке электронной аппаратурой или после дискретизации по времени и по уровню обрабатываются при помощи ЭВМ 4. Дисперсия волнового движения в материале трубопровода приводит к искажению формы сигнала. Допол-

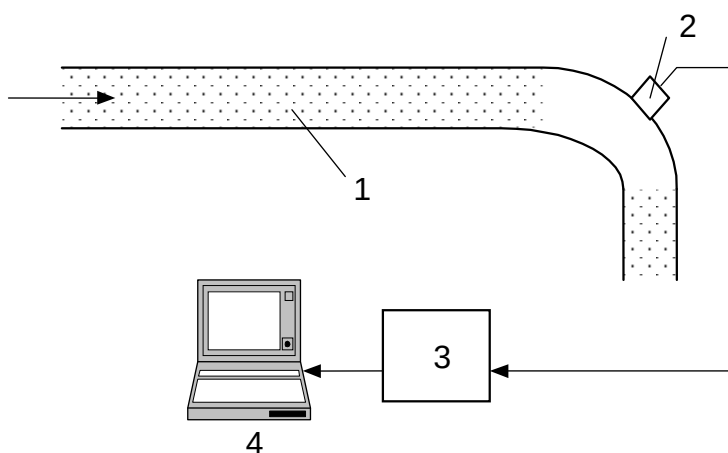


Рис.1

нительные изменения его формы вносят отраженные волны, обусловленные ограниченностью контактной площадки частицы и ее размеров. На окончательный вид сигнала АЭ оказывает преобразователь, который при воздействии на него механических волн может возбуждаться на своей резонансной частоте. Таким образом, вид сигнала АЭ можно представить в виде последовательности затухающих колебаний:

$$u = Ae^{-\alpha t} \sin \omega t, \quad (1)$$

где A – амплитуда сигнала в начальный момент времени; α – коэффициент затухания колебаний, зависящий от демпфирующих свойств материала трубопровода и протекающей в нем жидкости; ω – круговая частота колебаний:

$$\omega = \sqrt{p^2 - \alpha^2};$$

p – коэффициент, определяемый из соотношения $p = \frac{c}{m}$,

где c – коэффициент механической жесткости металла трубопровода; m – приведенная масса исследуемой частицы примеси.

Кроме амплитуды и круговой частоты колебаний процесс возникновения и распространения сигнала АЭ можно характеризовать периодом колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{p^2 - \alpha^2}}$$

и декрементом затухания $\delta = \alpha T$.

Для построения экспресс – анализатора качества сточных вод с электрическим преобразователем механических колебаний наиболее целесообразно рассматривать в качестве исследуемого параметра сигнала АЭ его амплитуду:

$$A = \frac{S}{mp},$$

где S – импульс силы удара частицы примеси о стенку трубопровода:

$$S = \int_{t_0}^{t_1} P(t) dt,$$

$$\left. \begin{aligned} P(t) &= 0, t < t_0, \\ P(t) &= P_0, t_0 < t < t_1, \\ P(t) &= 0, t > t_1. \end{aligned} \right\},$$

где t_0 и t_1 – границы временного интервала соударения.

Характеризовать амплитуду импульса можно так же косвенно при помощи введения понятия суммарной амплитуды АЭ. Если установить некоторый уровень дискриминации (ограничения) амплитуды сигнала и подсчитать количество n_0 достижений этого уровня при регистрации сигнала АЭ (1), то суммарная амплитуда АЭ будет равна

$$\tilde{A} = \frac{1}{nT} \ln \frac{A}{\mu_{\text{диск}}},$$

где $\mu_{\text{диск}}$ – коэффициент дискриминации сигнала.

Таким образом, для определения качества очистки сточных вод возмож-

но использование, оценки уровня математического ожидания сигнала суммарной амплитуды АЭ, генерируемого в процессе регистрации массовых соударений частиц примесей со стенками трубопровода в месте установки контактного преобразователя сигнала. Учитывая независимый характер возбуждения колебаний от отдельных частиц оценку математического ожидания можно выполнить по формуле:

$$\tilde{A}_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tilde{A}_i,$$

где общее количество зарегистрированных импульсов АЭ N связано с временем выполнения оценки $t_0 < t < t_1$. Приблизительную оценку разброса дисперсности примесей можно выполнять путем вычисления в реальном времени среднеквадратического отклонения уровней суммарной амплитуды сигнала АЭ:

$$D_{\tilde{A}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\tilde{A}_i - \tilde{A}_0)^2.$$

Для более точной оценки характеристик примесей необходимо оценить характер плотности распределения сигнала суммарной амплитуды АЭ в частотной области. Оценкой такого распределения можно считать дискретный спектр Фурье электрического сигнала, регистрируемого на выходе преобразователя – усилителя. Из общего спектра сигнала, состоящего из множества основных и высших (тембровых) гармоник, выделяют подспектры значимых основных гармоник, соответствующие определенным примесям. Для выделения подспектров, используют последовательность модальных гармоник

$$g_{mod\ j} = (f_{mod\ j}, a_{mod\ j}), \quad j = 1, 2, 3, \dots, m,$$

где m - количество непересекающихся подспектров, принадлежащих отдельным элементам; $f_{mod\ j}$ и $a_{mod\ j}$ - соответственно частота и амплитуда модальной гармоники j – го подспектра. По известным частотам модальных гармоник определяют частоты основных (образующих) гармоник подспектров:

$$\begin{cases} f_{oj} = f_{vj}; \\ \left[\frac{k_j}{v_j} \right] = 0, \end{cases}$$

$v_j \in R$, где R – множество простых чисел; k_j – номер модальной гармоники j – го подспектра. Выделение основной гармоники позволяет сформировать подспектр, определяющий количественный и качественный характер примеси. Для определения процентной концентрации примеси, соответствующей этому подспектру используем соотношение мощностей подспектра, соответствующего исследуемой примеси и основного спектра сигнала при условии исключения шумовых гармоник и составляющих, определяющих влияние измерительного тракта:

$$S_j = \frac{F_j \sum_{i=0}^{N_j} a_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^{N_j} a_{ij} F_j} \cdot 100\%,$$

где N_j – количество значимых (отличных от шумовых) гармоник в j – ом под-спектре. Коэффициент F_j – определяется при исследовании эталонной смеси с известным процентным содержанием j – ой примеси:

$$F_j = \frac{\tilde{S}_j}{\sum_{i=0}^{N_j} a_{ij}},$$

где $\tilde{S}_j$ - известная концентрация примеси в эталонном растворе.

Предложенная математическая модель позволяет разработать экспрес-анализ косвенной оценки элементного состава и процентного содержания дисперсных примесей в сточных водах.

УДК 595.762

СТРУКТУРА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕКОМЫХ

Свинарёв И.Ю., Арзанов Ю.Г.

При построении математических моделей динамики численности насекомых на первом этапе возникает проблема определения ключевых факторов. В большинстве литературных источников приводятся весьма противоречивые данные по этому вопросу. Кроме того климатические факторы зачастую рассматриваются обобщённо, структура их влияния остаётся невыясненной. Не решив проблемы ключевых факторов невозможно добиться высокой степени достоверности модели.

При решении данного вопроса необходимо учитывать условия обитания вида и его биологические особенности. На первом этапе мы постарались вести учёт как можно большего числа факторов исходя из своих технических возможностей. С учётом эффекта ограниченности [1] был применён корреляционный анализ в модель включались факторы с наибольшим R. При анализе межфакторных взаимодействий были выявлены следующие зависимости (табл. 1).

Таблица 1

Где: X_1 -тип жизненного цикла, фенология размножения, длина дня, X_2 - температура, X_3 - относительная влажность воздуха, X_4 -атмосферное давление, X_5 - освещённость.

Корреляционно-ковариационная матрица
межфакторных взаимодействий 2000г

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
X ₁	1	0,77	-0,2	-0,16	0
X ₂	0,77	1	-0,18	0,01	0,33
X ₃	-0,2	-0,18	1	-0,62	-0,57
X ₄	-0,16	0,01	-0,62	1	0,28
X ₅	0	0,33	-0,57	0,28	1

Таким образом тесная связь факторов между собой математически обосновывает невозможность рассмотрения влияния каждого фактора по отдельности. В свете полученных данных спор о главенстве того или иного фактора представляется бессмысленным.

Литература

1. Свинарёв И.Ю. Математическое моделирование активности популяций *Silpha obscura* // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: Материалы междунар. научно-практ. конф. / Юж. Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: НАБЛА, 2001. – С. 26-27.

Донской ГАУ, пос. Персиановский

УДК 504.064.3:628.54

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Пуресев А.И. Летихова В.А.

Промышленная пыль является одним из основных загрязнителей атмосферы и производственных помещений, что ухудшает экологическую обстановку и угрожает здоровью человека и биосферы.

Знание дисперсного состава позволяет судить о степени ее опасности в санитарно — гигиеническом отношении, способности образовывать взрывоопасные смеси с воздухом, влиять на ход технологических процессов и т. д.

Для правильной эксплуатации и управления обеспыливающими установками, пылеулавливающими устройствами необходим регулярный контроль содержания пыли в различных технологических условиях. В этом комплексе условий анализ дисперсного состава пыли имеет особое значение.

Эффективность действующих пылеочистных устройств нельзя объективно оценить без характеристики дисперсности промышленных пылей. Существующие методы определения дисперсного состава достаточно сложны и не обеспечивают непрерывного слежения. При этом только на основе достаточно достоверных и тщательно выполненных анализов дисперсного состава исход-

ной, уловленной или вынесенной пыли можно определить пофракционные степени очистки воздуха от пыли.

Существующие методы контроля дисперсного состава пыли характеризуются большими затратами времени и трудоемкостью, они не позволяют создать систему оперативного и непрерывного измерения и слежения в реальном масштабе времени. Большинство современных методов дисперсного анализа пыли включает предварительное выделение пыли из газовой среды и последующее ее разделение на фракции.

Развитие современных технических и вычислительных средств позволяет решать вопрос о разработке новых методик и средств дисперсного анализа по созданию систем непрерывного контроля за пылевым потоком.

Теоретические и экспериментальные исследования с использованием методов математического моделирования позволяют избавиться от взаимной зависимости некоторых параметров, оценить погрешность измерения и провести диагностику дисперсного состава движущегося пылегазового потока в трубопроводах.

Разработка новых способов и средств непрерывного дисперсного анализа пылевых потоков является чрезвычайно важной и актуальной проблемой современности.

Одним из перспективных направлений является определение дисперсного состава пыли в воздушном потоке по сигналам акустической эмиссии с выделением подспектров Фурье [1], содержащих информацию о пофракционной концентрации пылегазовых потоков.

Акустический сигнал (АС) от частиц пылевого облака в вентиляционном потоке, как всякий составной звуковой сигнал, состоит из периодических компонент. Разложение АС на элементарные составляющие, при анализе дисперсного состава пыли является ответственной операцией. Она должна обеспечивать однозначное соответствие пофракционных концентраций интервалов дисперсности пыли и отображать диагностическую роль этих интервалов в формировании акустического сигнала. Этим условиям удовлетворяет разложение АС на гармонические ортогональные составляющие, образующие спектр, состоящий из основных и кратных им высших тембровых гармоник.

Академиком Котельниковым В.А. была доказана теорема утверждающая, что всякий сигнал может быть представлен дискретным набором его отсчетов через равные промежутки времени без всякой потери информации при условии, что частота отсчетов не менее чем вдвое превышает максимальную частоту анализируемого звукового сигнала. Этому условию соответствуют разложения АС в ряд Фурье с помощью интегральных преобразований Фурье - Лапласа, по полиномам Чебышева, Бесселя и т.д. [2].

Разложение АС в ряд Котельникова, обладая высокой точностью, обеспечивает корректность задачи и подходит для дискретного описания АС. Недостатком является отсутствие специальной аппаратуры для быстрой обработки сигнала.

Представление сигнала в виде ортогональных полиномов Чебышева обеспечивает наивысшую точность разложения ограниченного сигнала АЭ на

составляющие и гарантирует быструю равномерную сходимость рядов. Обработка по Чебышеву пока не реализуется в режиме реального времени.

Использование разложений по функциям Уолша, ортогональным полиномам Сеге, полиномам Эрмита, Бесселя и других, требуют создания и применения специализированной числовой аппаратуры для обработки сигнала акустической эмиссии (АЭ).

Для пылеметрии с точки зрения доступности и практического приложения рационально разлагать сигналы АЭ на компоненты с помощью интегрального преобразования Лапласа. С математической точки зрения преобразование Фурье является частным случаем интегрального преобразования Лапласа.

Разложение АС на компоненты с помощью интегрального преобразования Фурье-Лапласа [3] весьма перспективно в области пылеметрии.

При использовании математической модели определения пофракционных концентраций на основе интегрального преобразования Фурье - Лапласа требуемая точность аппроксимации случайного процесса пылепереноса достигается сохранением достаточного количества значимых тембровых гармоник в полученном экспериментально спектре Фурье.

Так осуществляется переход от физических параметров потока к параметрам частотно-амплитудного энергетического спектра, полученного из временного ряда отсчетов, сигнала, дискретным быстрым преобразованием Фурье:

$$U(t) = \sum_{k=-\infty}^{-1} (C_k \cdot \cos 2\pi f_k \cdot t + S_k \cdot \sin 2\pi f_k \cdot t) + \frac{C_0}{2} + \sum_{k=1}^{+\infty} (C_k \cdot \cos 2\pi f_k \cdot t + S_k \cdot \sin 2\pi f_k \cdot t),$$

где $f_k = k \cdot f = \frac{k}{T}$, $k = -\infty \dots -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, \dots +\infty$.

Трансформанты Фурье представляют собой математические абстракции оперирующие с несуществующими физически отрицательными частотами на левой полуоси ($-\infty < t < 0$). Преобразование Лапласа являясь обобщением преобразования Фурье, обеспечивает автоматическое выполнение начальных и граничных условий задачи, дает четкую интерпретацию физического смысла разложения АС. Однако обратное преобразование частотного спектра в порождающий его временной ряд чрезвычайно усложняется вследствие необходимости вычисления интеграла от комплексного переменного $p = \sigma + j\omega t$ с бесконечными пределами.

Из приведенного сравнения (табл.1) видно, что аргументом прямого преобразования Лапласа является комплексная переменная $p = \sigma + j(\omega t)$, а в преобразовании Фурье содержится под интегралом чисто мнимая компонента “ p ” равная $-j\omega t$.

Однако обратное преобразование Лапласа в отличии от преобразования Фурье выполняется контурным комплексным интегрированием в бесконечных пределах с обязательным условием, что все полюсы изображения $U(p)$ в про-

пространстве изображений остаются слева от контура интегрирования аналитической функции. В следствии этого, численное обращение преобразования Лапласа затруднено, а потому выполняется только теоретическим интегрированием в виде формулы (в замкнутой форме) и производится по таблицам, содержащим формулы соответствия в изображающем пространстве и пространстве оригиналов. В изображающем пространстве содержится информация о физическом смысле источников элементарных осцилляций, которые идентифицируются с элементарными ударными актами генерации колебаний элементов измерительной системы передаваемых цепочкой (частица — пограничный слой — стенка — пылепровод — датчик). Таким образом преобразование Лапласа позволяет раскрыть физический механизм возникновения гармоник частотных подспектров.

Таблица 1

Прямое интегральное Преобразование Фурье	Прямое преобразование Лапласа
$U(\omega) = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$ $u(t)$ — функция времени, подвергаемая интегральному преобразованию Фурье в частотную область (спектр)	$U(p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} u(t) \cdot dt,$ $j = \sqrt{-1}$, где $p = \sigma + j\omega =$ $= Re(p) + j Im(p)$ $Re(p)$ — вещественная часть комплексной переменной $p(t)$ где $\sigma = Re(p)$; $Im(p)$ — мнимая часть комплексной переменной $p(t)$; $\omega t = Im(p)$
Обратное преобразование Фурье	Обратное преобразование Лапласа (интеграл Бромвича)
$u(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} U(\omega) e^{j\omega t} dt ,$ Восстанавливает по спектру $U(\omega)$ временной ряд $u(t)$ с точностью до $T=2\pi$ т.к. акустический сигнал функция периодическая.	$u(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma_1 - j\infty}^{\sigma_1 + j\infty} U(p) e^{pt} dt ,$ $j = \sqrt{-1}$ — мнимая единица Производит восстановление временной функции $u(t)$ в пространстве оригиналов по известному ее образу $U(p)$ из пространства изображений

Это приводит к двум практически равноценным математическим моделям анализа дисперсного состава пылевой смеси в виде полинома Фурье в виде энергетического спектра (первая модель) или амплитудно-фазового спектра (вторая возможная модель). Обе математические модели с учетом затухания реального сигнала вследствие диссипации энергии сигнала во времени перейдут в следующие математические выражения:

I модель: Энергетический спектр

$$U(t) = \frac{C_0}{2} + \sum_{k=1}^T (C_k \cdot \cos 2\pi f_k \cdot t + S_k \cdot \sin 2\pi f_k \cdot t),$$

$k = 1, 2, 3 \dots N$ (N — номер гармоник); T — период анализируемого сигнала.

II модель: Фазовый спектр

$$U(t) = \sum_{k=1}^N (C_k \cos k\Omega t + S_k \sin k\Omega t) = \sum_{k=1}^N A_k \cos(k\Omega t + \varphi_k),$$

где $A_k = \sqrt{C_k^2 + S_k^2}$, $\varphi_k = -\arctg \frac{S_k}{C_k}$, $k \cdot \Omega = \omega$.

Использование преобразования Фурье дает возможность точного описания и вычисления частотно-амплитудных соотношений на ЭВМ, путем обработки сигнала быстрым дискретным преобразованием Фурье в режиме реального времени. Это позволяет компьютеру успевать непрерывно следить за состоянием случайного процесса генерации сигналов АЭ и их интерпретации в виде суммарного дискретного спектра пылевого облака отображающего мгновенную концентрацию в нем фракционных компонентов пылевой смеси.

Учитывая особенности обработки сигнала акустической эмиссии на ЭВМ и допуская, что сигнал поступающий на обработку может содержать в общем случае дискретные разрывные, но (периодические) составляющие и континуальные участки ядра, перепишем оба математических преобразования для обработки сигнала ЭВМ в форме прямого и обратного дискретного преобразования Фурье:

$$F(n) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} f(k) \cdot e^{-2\pi j \cdot nk / N}, \quad (n = 0, 1, \dots, N-1);$$

$$f(k) = \sum_{n=0}^{N-1} F(n) \cdot e^{2\pi j \cdot nk / N}, \quad (k = 0, 1, \dots, N-1); \quad j = \sqrt{-1},$$

где $F(n)$ — вещественная функция целого дискретного параметра, n - й коэффициент дискретного преобразования Фурье (ДПФ); $f(k)$ — выборка из временного ряда, состоящего из N отсчетов. В следствии финитности спектра, k - дискретное время.

Использование методов диагностики и обработки АС по предложенным математическим моделям с одной основной низкочастотной гармоникой малоэффективно. Это связано с тем, что АС от частиц пылевого потока перекрывается технологическим шумом оборудования, инструментальными шумами и т. д. Для устранения этих недостатков целесообразно использовать высшие тембровые гармоники, где мало помех, по сравнению с диапазоном основных гармоник при регистрации спектра АС. Высшие гармоники акустического сигнала обеспечивают большую разрешающую способность измерительного тракта. Так, например, если первая основная частотная гармоника для несущей газовой среды отличается всего на Δ от основной гармоники для твердой фазы потока

$$f_n = f_{\tilde{a}} + \Delta,$$

то высшие гармоники всегда кратные основной гармонике, отличаются уже на $k \times \Delta$ т.е.

$$(f_{\tilde{a}} + \Delta) \times k = f_{\tilde{a}} \times k + \Delta \times k,$$

где k — коэффициенты кратности тембровых гармоник; $f_{\tilde{a}}$ — осредненная частота для чистой газовой среды; f_n — частота звучания твердой пылевой фазы. Таким образом, высшие гармоники спектра несут более подробную информацию об амплитудно-частотных параметрах пылегазового потока и позволяют различать сигналы АЭ по уровням мощности дисперсных составляющих, от чистой газовой среды.

Литература

1. Пат. РФ 2105302, G01N29/14 Способ определения концентрации твердой фазы пылегазового потока / В.П. Журавлев, Г.С. Учитель, О.А. Торопов, В.В. Муханов, А.И. Пуресев, Е.А. Малых, В.А. Лепихова. — 96107578/25 (22) — Заявл. 18.04.96; Оpubл. 20.02.98, Бюл. № 5.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Измерения и анализ случайных процессов / Пер. с англ. — М.: Мир, 1974. — 463 с.
3. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа / Пер. с нем. — М.: Наука, 1965. — 287 с.

346428 г.Новочеркасск, ул. Просвещения, 132. ЮРГТУ (НПИ), каф. СМСиПМ. Тел.55-3-27
email: nauka@novoch.ru

УДК 632.954:681.3.06

ПРОГНОЗ АКТИВНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ СОСТАВОВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Соломинова Т.С., Тюрина Л.А., Смолина Т.А., Базунова Г.Г.

Важным направлением разработки биологически активных препаратов (пестицидов, фармакологических средств и др.) является создание многокомпонентных смесей на основе известных действующих веществ. Перспективным подходом для оптимизации состава новых препаратов и предсказания их биологической активности является использование компьютерных технологий.

В плане исследования возможности компьютерного дизайна препаративных форм гербицидов в данной работе проведен анализ зависимости между гербицидной активностью препаратов на основе производных глифосата и 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д) и параметрами, характеризующими качественный и количественный состав смесей. Объектами исследования служили 22 препаративные формы: 11 активных (гербицидная активность выше 6 баллов по 10-балльной шкале) и 11 неактивных. Каждая рецептура состоит из двух активных ингредиентов (производные глифосата и 2,4-Д), ПАВ и растворителя. Они описаны комплексом из 23 параметров, которые учитывают форму и стабильность препарата, качественный и количественный состав компонентов и их физико-химические свойства (поверхностное натяжение, плотность, вязкость, t кип и др.). Активные ингредиенты описывались расчетными парамет-

рами (молекулярная масса, параметр липофильности $\log P$, парахор, мольная рефракция), характеризующими способность вещества проникать через жировую и водную фазы, летучесть и полярность [1, 2].

С учетом разработанной ранее стратегии статистического моделирования выделены информативные наборы параметров, позволяющие правильно классифицировать 75%-82% препаратов на кластеры активных и неактивных. На основе этих наборов проанализировано более 100 регрессионных уравнений и сформирован комплекс из 6 статистически значимых моделей ($r^2 = 0,65-0,97$) для предсказания гербицидной активности препаративных форм. Комплекс использован для прогноза активности новых препаративных форм, содержащих два активных ингредиента (глифосат и 2,4-Д или глифосат и триаллат, или 2,4-Д и триаллат), ПАВ и растворитель. Результаты прогноза подтверждены экспериментальными данными: в 30% случаев средняя расчетная и экспериментальная активность совпадает, в остальных случаях отклонения не превышают 60%.

Литература

1. Broto P., Moreau G., Vandycke C. Molecular structure: perception? Autocorrelation descriptors and SAR studies // J. Med. Chem. –1984. – V. 19. – № 1. – P. 71-78.
2. Бретшнайдер С. Свойства газов и жидкостей. – М., Л.: Химия, 1966. – 535 с.

450029, Уфа, ул. Ульяновых, 65, НИИ технологический институт гербицидов (НИТИГ),
т.: (3472) 42-75-12 e-mail: labsar@anrb.ru

УДК 681.3.06:[541.69:631.811.98]

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОРНЕСТИМУЛИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ

Каримова Ф.С., Тюрина Л.А., Базунов А.А., Базунова Г.Г.

Исследована теоретическая зависимость между структурой и корнестимулирующей активностью некоторых групп соединений (производных индолилуксусных, арилоксикарбоновых, бензойных, нафтилуксусных кислот и др.) с помощью специализированной компьютерной системы SARD (Structure-Activity-Relationship-Design).

На основании литературных данных и результатов собственных исследований сформированы две группы обучающей выборки, проверенные на наличие корнестимулирующей активности. Первая группа (активные соединения) состоит из 55 веществ, обладающих данным видом активности, вторая группа (неактивные соединения) включает 44 вещества, не способных стимулировать рост корней. Соединения представляют собой структуры, включающие ароматические и индольные кольца, возможно конденсированные между собой, и имеющие в качестве заместителей карбоксильную, амидную, эфирную, имидную, аминную группы или их сочетания и описываются набором структурных дескрипторов (фрагментов структур) из специального словаря.

В результате исследований сформированы модели прогноза, которые

описываются уравнением логического типа $A=F(S)$, где A -активность, S -совокупность фрагментов структур и их логических сочетаний, F -правило распознавания активности. Оценен характер влияния около миллиона различных сочетаний структурных признаков. Выявлено, что к структурным признакам, потенциально связанным с данной физиологической активностью (оказывают положительное влияние), относятся: 3-замещ.-индол, β -замещ.-нафталин, гидроксильная группа. К признакам, оказывающим отрицательное влияние на активность, относятся 2,4,6-замещ.-фенил, атом хлора, метильная, карбимидная группы. Характер влияния многих структурных признаков на активность относительна и изменяется в зависимости от сочетания с другими фрагментами. Так, информативность метиленовой группы при гетероатоме в сочетании с карбонильной и этиленовой группами положительна, тогда как в сочетании с атомом кислорода и с метиленовой группой, информативность инверсируется на отрицательную. Таким же неоднозначным влиянием обладает карбонильная, этиленовая группы.

Сформированные модели и результаты структурного анализа, представленные в компьютерной базе данных, могут быть использованы при молекулярном дизайне новых соединений, обладающих искомой активностью.

450029, Уфа, ул. Ульяновых, 65, НИИ технологический институт гербицидов (НИТИГ),
т.: (3472) 42-75-12 e-mail: labsar@anrb.ru

УДК 681.3.06:[541.69:632.954.024]

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЯЗИ «СТРУКТУРА-БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ» НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Каримова Ф.С., Кирлан А.В., Кирлан С. А., Тюрина Л.А.

С помощью компьютерной системы SARD для ряда из 143-х арил- и (или) гетерил- производных мочевины, оксикарбоновых кислот исследован комплекс биологических свойств и выявлена связь «структура - гербицидная активность (GA)-токсичность (T)». Сформирован ряд моделей прогноза, в которых связь между строением и активностью определена зависимостью типа $A=F(S)$, где A -активность, S -совокупность структурных дескрипторов, F -правило распознавания активности. Оценен характер влияния около миллиона различных сочетаний структурных признаков в комплексе изучаемых свойств. Выявлены наиболее характерные фрагменты, обладающие относительным влиянием на GA и T (LD50 mg/kg, rat, oral), рис.1.



- Фрагменты, потенциально связанные с повышением ($\uparrow$) ГА и понижением ($\downarrow$) Т: сульфонильная группы, атом фтора, 2,4,6 замещ.-пиримидин-1-ил
- Фрагменты, оказывающие неоднозначное влияние: метиленовая группа при гетероатоме (**-CH2het-**) в сочетании с этиленовой (**>C=C<**) и карбонильной группами ($\uparrow$) ГА и ($\downarrow$) Т; в сочетании с атомом кислорода (**-O-**) и (**>C=C<**) ($\uparrow$) ГА, но ($\uparrow$) Т; в сочетании с (**-O-**) и карбимидной группой (**-N=C<**) ($\downarrow$) Т, но не влияет на ГА. Таким же относительным влиянием обладают группы (**-CH2het-**) и (**-N=C<**), циклические радикалы: симм.-триазин-1-ил (код 150); 2,3,4-замещ.фенил (192); 2,3,6- замещ.фенил (243) рис.1.

Результаты могут быть использованы при молекулярном дизайне низкодозных малотоксичных гербицидов.

Научно-исследовательский технологический институт гербицидов, Уфа, ул. Ульяновых, 65

УДК [541.69:632.954.024].001.57

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗА ТОКСИЧНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ ОКСИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ

Кирлан А.В., Кирлан С.А., Тюрина Л.А., Кирлан В.В.

В целях изучения возможности теоретического прогноза токсических свойств производных оксикарбоновых кислот исследована связь «структура-токсичность» в ряду из 146 соединений. С применением компьютерной системы SARD и разработанного нами ранее интервального метода прогноза токсичности [1] сформированы 96 математических моделей: 48 – по «геометрическому подходу» и 48 – по методу «голосования». Модели распределены по 16-ти элементам прогнозирующего комплекса (ЭПК) в соответствии со следующими интервалами прогноза острой токсичности (LD50 mg/kg, rat, oral): от 0,1 до 150 (300, 500, 700, 800, 1000, 1100, 1500, 1700, 1800, 2000, 2200, 2500, 3000, 4500, 5000). Уровень распознавания по моделям соединений обучающего ряда составил 75-94%.

Модели могут быть использованы для формирования логических схем - комплексов прогноза в соответствии с выбранным алгоритмом распознавания (“геометрический подход”, “голосование”) или совместно (смешанный тип), при этом их число в каждом ЭПК - $(2n+1)$, где n - целое положительное число.

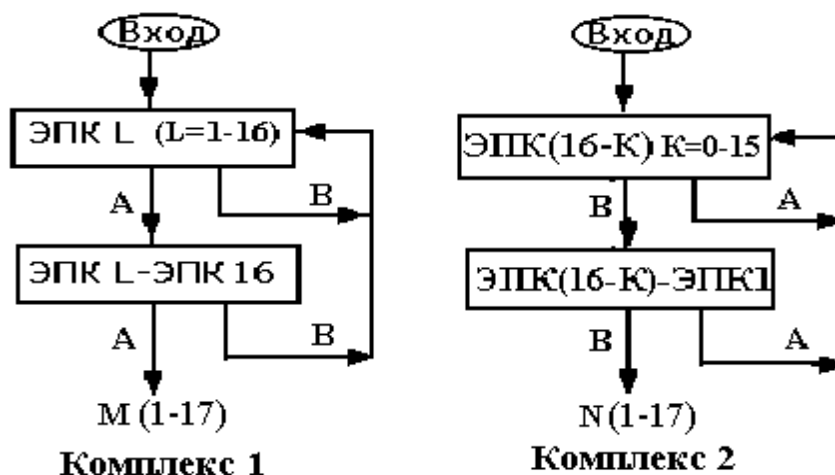


Рис 1. Комплексы прогноза токсичности
(M,N-прогнозные интервалы токсичности)

Нами сформированы два прогнозных комплекса с использованием смешанных типов ЭПК: в первом - вход в логическую систему через ЭПК1, во втором – через ЭПК16. Решение принимается при анализе результатов по двум комплексам, рис.1. Прогнозируемые интервалы по комплексам 1 и 2 находятся в следующих границах (в обратном порядке): 0.1-150,151-300,301-500,501-700,701-800,801-1000,1001-1100,1101-1500,1501-1700,1701-1800,1801-2000,2001-2200,2201-2500,2501-3000,3001-4500,4501-5000, >5000.

Научно-исследовательский технологический институт гербицидов, Уфа, ул. Ульяновых, 65

УДК 631.82

ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ПРОГРАММИРОВАНИИ УРОЖАЕВ

Молотникова А.А., Голованова В.В., Кононенко В.И.

Анализ структуры известных эмпирико-статистических и имитационно-модельных подходов к программированию урожаев приводит к заключению, что в тех моделях (или их блоках), где описание процессов ведется на макроскопическом уровне, как правило, не возникает трудностей принципиального характера, поскольку в большинстве случаев характеризующие процесс параметры имеют ясный физический смысл и являются хорошо измеряющимися величинами.

Иная ситуация складывается при описании биологических и биофизических блоков. Здесь дело осложняется тем, что сами биофизические процессы в отдельном растении, а тем более в агросистеме, чрезвычайно сложны; во многих случаях их качественный и количественный исход зависит от микроскопи-

ческих (биохимических и т.п.) явлений, при формализации которых исследователь сталкивается со многими неизвестными параметрами, причем значительная их часть трудно доступна для измерения. Таковыми являются сопротивление потоку углекислоты, коэффициенты дыхания, ростовые функции и т.п. Кроме того, при синтезе выходных параметров отдельных блоков возникают большие трудности, которые многократно возрастают при попытке оптимизации управления процессами роста с целью получения практических рекомендаций. Поэтому несмотря на физичность и высокую степень детализации отдельных блоков, даже самые полные имитационные модели пока что лишь в принципе пригодны для прогнозирования и управления продукционным процессом.

Наконец, как справедливо отмечают И.С.Шатилов и А.Ф.Чудловский [1], в имитационных моделях отсутствует такой важный элемент программирования урожая, как агротехнический комплекс. Можно детально учесть метеосостояния, построить хорошую биофизическую модель продукционного процесса, а высокий урожай не будет получен, если, например, пропущены наилучшие сроки сева, плохо обработана почва, не ведется борьба с сорняками и вредителями и т.д. С другой стороны, в одних и тех же почвенно-климатических условиях существенного повышения продуктивности можно добиться правильным применением технологических процессов: выбором сорта и сроков сева, нормой высева, глубины заделки семян, режима орошения и т.д. Если при этом иметь еще и научно-обоснованные рекомендации как оптимальным образом проводить все технологические процессы, то ясно, что получение запрограммированного урожая будет гарантировано.

Из сказанного вытекает, что эмпирико-статистический и имитационно-модельный подходы целесообразно включить в арсенал стратегических методов программирования урожая. Для целей же оперативно-тактического управления продукционным процессом необходимо создание третьего подхода к проблеме программирования урожая, в основу которого положить не отдельные блоки, а конкретный технологический процесс, осуществляемый на основе реальной метеоситуации. Основы такого подхода заложены И.С. Шатиловым [2]. По-существу, управление урожаем здесь осуществляется путем построения АСУ ТП в растениеводстве, математическое содержание которой составляет набор моделей отдельных технологических процессов. При этом характерной особенностью последней концепции является отход от скрупулезного описания макроскопических характеристик технологических процессов. Неоспоримым преимуществом третьего подхода является возможность немедленного внедрения рекомендаций в практику сельскохозяйственного производства. Такой выигрыш, конечно, не дается даром, так как частично теряется глубина и глобальность постановки проблемы.

Хронологически сложилось так, что на втором этапе развития моделирования агроэкосистем большинство моделей в силу сложности исследуемых процессов с самого начала были ориентированы на численные методы. Повидимому, это обстоятельство послужило причиной того, что и в третьем подходе также возобладали модели технологических процессов, реализуемые в основном, на ЭВМ. Возникло сомнение в возможности [3] аналитического реше-

ни задачи оптимизации управления отдельными технологическими процессами, и даже убеждение в преждевременности самой постановке такого рода задач [4,5]. В дальнейших наших исследованиях мы стремились показать, что можно противопоставить таким пессимистическим выводам.

Литература.

1. Шатилов И.С., Чудновский А.Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 320 с.
2. Шатилов И.С. Программирование урожая сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1975. – С. 1-19.
3. Штейнберг А.Ю. Общие проблемы математического моделирования режима орошения // Режимы орошения при прогрессивных способах полива и разработка АСУ технологическим процессом мелиорации. – Кишинев, 1998. – С. 101-102.
4. Платонов В.А. Оптимизация условий влагообеспеченности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1992. – 151 с.
5. Платонов В.А. Разработка и исследование алгоритмов оптимизации условий влагообеспеченности сельскохозяйственных культур: Автореферат дисерт. ... канд. техн. наук. – Л., 1975. – 18 с.

346493, поселок Персиановский, Октябрьский район Ростовской области, ДГАУ, кафедра Высшей математики и Физики. Молотникова А.А.

УДК 681.335.2.001.63

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОД-ЧАСТОТА СО СРАВНЕНИЕМ КОДОВ В ЦЕПИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Митина В.Ф.

Имитационное моделирование с использованием ЭВМ нелинейного следящего преобразователя кода в частоту управляемого генератора, в цепи обратной связи которого производится сравнение кодов, позволяет достаточно точно и быстро производить исследование динамических характеристик преобразователя и его параметрический синтез.

Предлагаемый алгоритм построения имитационной модели преобразователя разработан с учетом общих принципов моделирования нелинейных устройств этого класса [1-3] и особенностей рассматриваемой структуры. В цепи обратной связи преобразователя дискретное сравнивающее устройство производит вычисление кода DNi , равного разности входного кода преобразователя N и кода обратной связи Noc , формируемого в течение стабильного временного интервала To . Устройство нелинейной логико-динамической коррекции производит анализ значения кода DNi , сформированного за время i -ой итерации, с учетом емкости $Nmax$ дискретного интегратора ошибки ДИО и кода Ni , записанного в ДИО после $(i-1)$ -ой итерации. По результатам анализа не допускается переполнение ДИО за счет снижения времени формирования кода Noc до значения $Tв$. Код ДИО корректируется по результатам одной итерации за время To (при условии, что код DNi , сформированный за время To , не вызывает переполнения ДИО) или за время $Tв < To$ (при условии, что за время To формируется код DNi , способный вызвать переполнение ДИО).

Вычислительная процедура моделирования при указанных условиях

укрупненно описывается следующими действиями.

1. Инициализация исходных данных.
2. Запись начального значения текущего времени $Ti = 0$.
3. Счетчик номера точки, $i = 1$.
4. Вычисление кода, формируемого в цепи обратной связи за время To , $Noc = To \cdot Fi$, где Fi – частота на выходе преобразователя в текущий момент времени.
5. Вычисление $DNi = N - Noc$.
6. Проверка условия $DNi = 0$. Если условие выполняется, – переход на п. 23, иначе – переход на п. 7.
7. Проверка условия $DNi > 0$. Если условие выполняется, – переход на п. 8, иначе – переход на п. 13.
8. Проверка условия $DNi = Nmax - Ni$. Если условие выполняется, – переход на п. 16, иначе – переход на п. 9.
9. Проверка условия $DNi > (Nmax - Ni)$. Если условие выполняется, – переход на п. 10, иначе – переход на п. 17.
10. Вычисление $Tb = (N + Ni - Nmax) / Fi$.
11. Задание кода ДИО $Ni = N$.
12. Вычисление текущего значения времени $Ti = Ti + Tb$. Переход на п. 19.
13. Проверка условия $|DNi| = Ni$. Если условие выполняется, – переход на п. 16, иначе – переход на п. 14.
14. Проверка условия $|DNi| > Ni$. Если условие выполняется, – переход на п. 15, иначе – переход на п. 17.
15. Вычисление $Tb = (N - Ni) / Fi$.
16. Задание кода ДИО $Ni = N$, переход на п. 18.
17. Вычисление $Ni = Ni + DNi$.
18. Вычисление текущего значения времени $Ti = Ti + To$.
19. Вычисление $Fi = f(Ni)$.
20. Вычисление относительной погрешности установления выходной частоты преобразователя после i -ой итерации $D = |(Fi - F) / F|$, где F – номинальное значение выходной частоты, соответствующее входному коду N .
21. Проверка условия $D > DOP$, где DOP – допустимая погрешность установления выходной частоты преобразователя. Если условие выполняется, – переход на п. 22, иначе – переход на п. 23.
22. $i = i + 1$, переход на п. 4.
23. Окончание расчета.

Литература

1. Автоматизация проектирования аналого-цифровых устройств / Э.И. Гитис, Б.Л. Собкин, А.Н. Подколзин и др. Под ред. Э.И. Гитиса. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Митина В.Ф. Особенности имитационного моделирования следящих преобразователей код-частота // Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: Материалы междунар. науч.-практ. конф.: В 10 частях / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: НАБЛА, 2000. – Ч. 8. – С. 9-10.
3. Митина В.Ф. Моделирование цифровых следящих систем стабилизации частоты управляемого генератора // Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и эко-

номических процессах: Материалы международной науч.-практич. конф.: В 8 частях / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: НАБЛА, 2000. – Ч. 6. – С.4-5.

346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ(НПИ), каф. "Информационно-измерительная и медицинская техника", тел. 5-52-14.

E-mail: iimt@iit.novoch.ru

УДК 621.391

ДИСПЕРСИЯ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА НА ВЫХОДЕ М-СИСТЕМЫ МР-СТРУКТУРЫ ПРИ ВХОДНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ БЕЛОГО ШУМА

Копылов А.Н.

При решении ряда задач (в том числе, при построении формирующих фильтров) появляется необходимость анализа свойств случайных процессов на выходе нестационарных линейных систем (НЛС). Рассмотрим случай, когда в качестве НЛС взята М-система [1], на вход которой подается стандартный векторный белый шум [2]. Выбор М-систем при решении поставленной задачи мотивируется простотой их технической реализации. Для анализа процессов в таких системах наиболее предпочтительным оказывается метод пространства состояний. Если рассматриваемая М-система имеет МР-структуру, дифференциальные уравнения состояния и соотношение состояние-выход имеют вид

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{X}}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{X}(t) + \mathbf{B}\mathbf{K}_1(t)\mathbf{\Theta}_1\mathbf{U}(t), \\ \mathbf{Y}(t) &= \mathbf{\Theta}_2\mathbf{K}_2(t)\mathbf{C}\mathbf{X}(t),\end{aligned}\quad (1)$$

где $\mathbf{X}(t) = [\mathbf{X}_1^T(t), \mathbf{X}_2^T(t), \dots, \mathbf{X}_N^T(t)]^T$ – расширенный вектор состояния, составленный из векторов состояния отдельных ветвей; $\mathbf{U}(t)$ – входное воздействие (стандартный векторный белый шум); $\mathbf{Y}(t)$ – реакция системы. Матрицы имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}\mathbf{A} &= \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 & & \mathbf{0} \\ & \mathbf{A}_2 & \\ & & \ddots \\ \mathbf{0} & & & \mathbf{A}_N \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 & & \mathbf{0} \\ & \mathbf{B}_2 & \\ & & \ddots \\ \mathbf{0} & & & \mathbf{B}_N \end{bmatrix}, \\ \mathbf{C} &= \begin{bmatrix} \mathbf{C}_1 & & \mathbf{0} \\ & \mathbf{C}_2 & \\ & & \ddots \\ \mathbf{0} & & & \mathbf{C}_N \end{bmatrix}, \quad \mathbf{\Theta}_i = \begin{bmatrix} \Theta_{11}^{(i)} & \Theta_{12}^{(i)} & \dots & \Theta_{1N}^{(i)} \\ \Theta_{21}^{(i)} & \Theta_{22}^{(i)} & \dots & \Theta_{2N}^{(i)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Theta_{N1}^{(i)} & \Theta_{N2}^{(i)} & \dots & \Theta_{NN}^{(i)} \end{bmatrix}, \\ \mathbf{K}_i(t) &= \text{diag}\{k_{i1}(t), k_{i1}(t), \dots, k_{iN}(t)\}, \quad (i=1,2),\end{aligned}\quad (2)$$

где $\mathbf{A}_q, \mathbf{B}_q, \mathbf{C}_q$ ($q=1, N$) – соответствующие матрицы в уравнениях состояния для базовых нестационарных фильтров (БНФ) в q -й ветви. Отметим, что в случае простых полюсов матрица $\mathbf{A}$ может быть приведена к следующему виду –

$\mathbf{A} = \text{diag}\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$. При этом переходная матрица состояния $\Phi(t, t_0)$ тоже будет диагональной. Дисперсионная матрица $\mathbf{D}^{\text{xx}}(t)$ вектора состояния согласно [2] определяется следующим образом

$$\mathbf{D}^{\text{xx}}(t) = \Phi(t, t_0) \mathbf{D}^{\text{xx}}(t_0) \Phi^*(t, t_0) + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau) \mathbf{B} \mathbf{K}_1(\tau) \Theta_1 \Theta_1^* \mathbf{K}_1^*(\tau) \mathbf{B}^* \Phi^*(t, \tau) d\tau. \quad (3)$$

Из (3) после соответствующих преобразований можно определить выражение для элементов матрицы $\mathbf{D}^{\text{xx}}(t)$

$$D_{\nu\mu}^{\text{xx}}(t) = e^{(p_\nu + p_\mu^*)(t-t_0)} D_{\nu\mu}^{\text{xx}}(t_0) + \int_{t_0}^t e^{(p_\nu + p_\mu^*)(t-\tau)} f_{\nu\mu}(\tau) d\tau, \quad (4)$$

где $f_{\nu\mu}(\tau)$ – элементы матрицы $\mathbf{F}(\tau) = \mathbf{B} \mathbf{K}_1(\tau) \Theta_1 \Theta_1^* \mathbf{K}_1^*(\tau) \mathbf{B}^*$. Дисперсионная матрица выходного процесса может быть определена следующим образом

$$\begin{aligned} \mathbf{D}^{\text{yy}}(t) &= M\{\dot{\mathbf{Y}}(t) \dot{\mathbf{Y}}^*(t)\} = M\{\Theta_2 \mathbf{K}_2(t) \mathbf{C} \dot{\mathbf{X}}(t) \dot{\mathbf{X}}^*(t) \mathbf{C}^* \mathbf{K}_2^*(t) \Theta_2^*\} = \\ &= \Theta_2 \mathbf{K}_2(t) \mathbf{C} \mathbf{D}^{\text{xx}}(t) \mathbf{C}^* \mathbf{K}_2^*(t) \Theta_2^*, \end{aligned} \quad (5)$$

где M – символ математического ожидания, $\dot{\mathbf{Y}}(t)$ и $\dot{\mathbf{X}}(t)$ – центрированные случайные процессы.

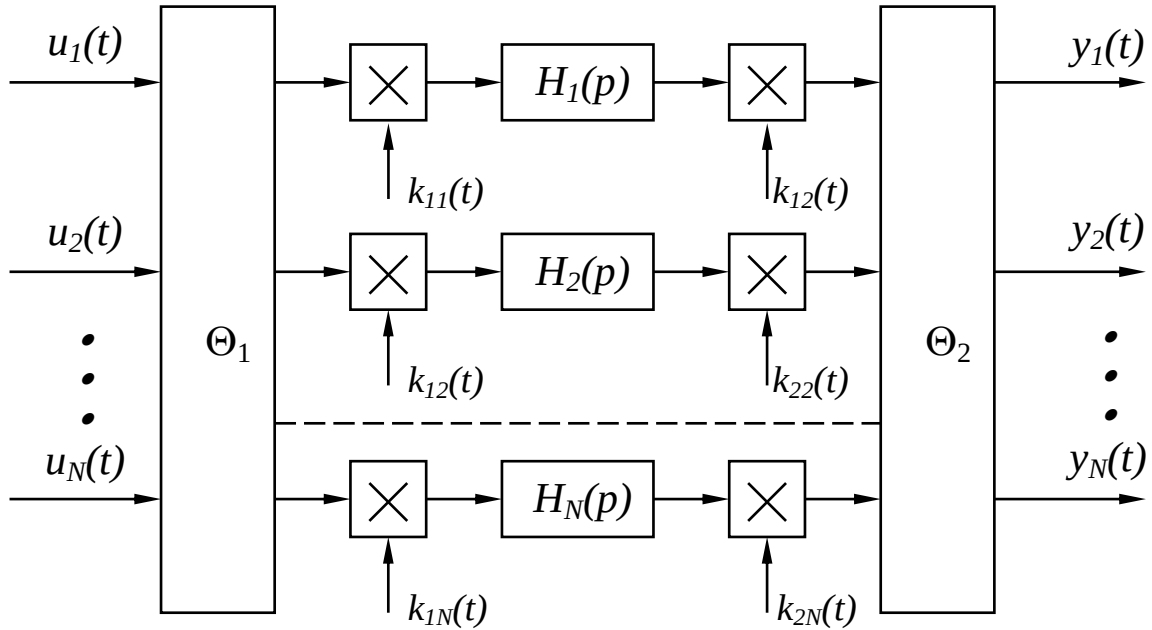


Рис.1. Обобщенная схема М-системы МР-структуры

Литература

1. Бухарин С.В. Анализ и синтез нестационарных модуляционных систем. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1986.– 168с.
2. Лившиц Н.А., Виноградов В.Н., Голубев Г.А. Корреляционная теория оптимального управления многомерными процессами. М.: Советское радио, 1974.– 328с.

394065 г. Воронеж, пр. Патриотов 53, ВИ МВД России, каф. ИТО ОВД, тел. 78-89-22,
e-mail: kan@online.ru.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОДНОГО МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ ТРЕНДА

Саакян Г.Р.

Пусть имеется дискретная реализация случайного процесса в виде некоторого наблюдаемого временного ряда $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$. Будем понимать эту запись следующим образом. Имеется n чисел, представляющих собой наблюдение некоторой переменной $y(t)$ в n равноотстоящих моментов времени $t_1, t_2, \dots, t_n$. Достаточно общей математической моделью служит модель вида

$$y(t) = S(t) + u(t). \quad (1)$$

В этой модели наблюдаемый ряд рассматривается как сумма некоторой полностью детерминированной последовательности $\{S(t)\}$, которую можно назвать систематической составляющей (полезным сигналом, трендом), и случайной последовательности $\{u(t)\}$, подчиняющейся некоторому вероятностному закону. Иногда для этих двух составляющих используются соответственно термины «сигнал» и «шум», которые в дальнейшем будут употребляться. Точный смысл указанного разложения зависит не только от самих данных, но частично и от того, что понимается под повторением эксперимента, результатом которого являются эти данные. Будем полагать, что, по крайней мере, принципиально можно повторять всю ситуацию целиком, получая новые совокупности наблюдений. При таком повторении эксперимента функция $S(t)$ должна была бы оставаться одной и той же, а случайные составляющие $u(t)$ оказывались бы различными как различные реализации случайного процесса. Случайные составляющие, кроме всего прочего, могут включать в себя и ошибки наблюдений (измерений).

Функцию $S(t)$ будем считать гладкой по Андерсону (см. [1], с. 61), а именно, под гладкой функцией мы будем понимать функцию, которая может быть достаточно хорошо приближена полиномом не выше второй степени на некотором не слишком малом интервале времени. Это понятие до некоторой степени оправдывается теоремой Тейлора. Полиномы, аппроксимирующие функцию, не обязаны быть одинаковыми на различных интервалах. Полином, подобранный на одном интервале, может не иметь ничего общего с указанной гладкой функцией в любой другой части отрезка наблюдения (измерения), т.е. фактически мы говорим о кусочной гладкости.

Таким образом, смысл приведенного определения гладкости функции полезного сигнала (тренда) состоит в том, что предположение о гладкости тренда является локальным свойством, в то время как предположение о полиномиальном характере тренда связано со всем интервалом наблюдения. Соответственно предположение гладкости позволяет использовать для оценки тренда в данной точке только наблюдения вблизи этой точки, в то время как предположение о

полиномиальном характере тренда приводит к тому, что для оценки полинома, представляющего тренд на всем интервале, используются все наблюдения.

Исходное предположение наших рассуждений состоит в том, что случайный процесс, представленный соотношением (1), является нестационарным неэргодическим процессом [2]. Эргодическим называют процесс, вероятностные характеристики которого не зависят от номера реализации. Это означает, что одна реализация достаточно большой продолжительности практически эквивалентна (в смысле объема сведений о случайном процессе) ансамблю реализаций той же общей продолжительности; характеристики (математическое ожидание, дисперсия, корреляционная функция и т.д.) случайного процесса могут быть приближенно определены не как средние по ансамблю реализаций, а как средние по времени t . Отсутствие эргодичности, равно как и невозможность получить достаточно большое количество реализаций исходного процесса, существенно затрудняют процедуру выделения функции полезного сигнала (тренда).

В литературе ([3], с. 103) отмечается, что не существует физического устройства, с помощью которого можно было бы проверить, по крайней мере, простым способом эргодичность исследуемых процессов. Обычно предполагается, что эргодичность имеет место, а затем по полученным результатам апостериорно проверяется ее наличие.

Итак, рассматриваемый метод исходит из наличия единственной дискретной реализации исследуемого процесса $y_1, y_2, \dots, y_n$, где $y_k = y(t_k)$, $k = 1, 2, \dots, n$, представляющего собой аддитивную смесь полезного сигнала и шума. Априорная информация об исследуемом процессе заключается в том, что на некоторых подынтервалах $\Delta_j \subset [t_1, t_n]$ полезный сигнал достаточно точно описывается полиномом второй степени (гладкость по Андерсону [1]):

$$S_j(t) = a_j + b_j t + c_j t^2.$$

Рассматриваемый способ предполагает: 1) разбиение временного отрезка $[t_1, t_n]$ (длительности реализации) на случайные промежутки, длины которых подчинены равномерному закону распределения; 2) проверку того, что промежутки разбиения включают не менее l значений исходной реализации, где $l > 3$ (если это условие не выполняется, то генерируется следующее разбиение); 3) нахождение для каждого промежутка разбиения оценок коэффициентов аппроксимирующего полинома $a + bt + ct^2$ методом наименьших квадратов; 4) повторение процедур, описанных в пунктах 1 – 3 N раз; 5) нахождение сглаживающей (аппроксимирующей) функции как среднего арифметического «кусочно-квадратичных» аппроксимирующих функций, полученных для каждого разбиения временного отрезка $[t_1, t_n]$.

Сначала с помощью генератора (датчика) случайных чисел, равномерно распределенных в интервале $(0;1)$, получаем $m-1$ чисел $\xi_1^{(1)}, \xi_2^{(1)}, \dots, \xi_{m-1}^{(1)} \in (0;1)$. Затем по формуле $y = t_1 + (t_n - t_1)x$, осуществляю-

щей взаимно-однозначное отображение промежутка $(0;1)$ на промежуток $(t_1; t_n)$, получаем соответствующее разбиение числами $\alpha_1^{(1)}, \alpha_2^{(1)}, \dots, \alpha_{m-1}^{(1)}$ промежутка $(t_1; t_n)$ на m частей, где

$$\alpha_i^{(1)} = t_1 + (t_n - t_1)\xi_i^{(1)}, \quad i=1,2,\dots,m-1.$$

Обозначим промежутки разбиения:

$$\Delta_1^{(1)} = [t_1; \alpha_1^{(1)}], \quad \Delta_2^{(1)} = (\alpha_1^{(1)}; \alpha_2^{(1)}], \quad \dots, \quad \Delta_m^{(1)} = (\alpha_{m-1}^{(1)}; t_n].$$

Проверяем выполнение условия: каждый промежуток $\Delta_i^{(1)}$ ($i=1,2,\dots,m$) должен содержать не менее l отсчетов времени из набора $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$. Если это условие не выполнено, то отбрасываем числа $\xi_1^{(1)}, \xi_2^{(1)}, \dots, \xi_{m-1}^{(1)}$ и генерируем следующие. Наличие этого условия означает, что, по крайней мере, $lm \leq n$. Далее, повторяем N раз процедуру разбиения отрезка $[t_1, t_n]$ на m промежутков случайной длины (с проверкой вышеуказанного условия). В результате получаем набор разбиений временного отрезка $[t_1; t_n]$:

$$\begin{array}{cccc} \Delta_1^{(1)} & \Delta_2^{(1)} & \dots & \Delta_m^{(1)} \\ \Delta_1^{(2)} & \Delta_2^{(2)} & \dots & \Delta_m^{(2)} \\ \hline \Delta_1^{(N)} & \Delta_2^{(N)} & \dots & \Delta_m^{(N)} \end{array}.$$

Для каждого промежутка $\Delta_i^{(j)}$ методом наименьших квадратов находим оценки $\hat{a}_i^{(j)}, \hat{b}_i^{(j)}, \hat{c}_i^{(j)}$ коэффициентов аппроксимирующего полинома $a + bt + ct^2$. Это означает, что оценки $\hat{a}_i^{(j)}, \hat{b}_i^{(j)}, \hat{c}_i^{(j)}$ являются решением следующей системы линейных уравнений (относительно a, b, c):

$$\begin{cases} an + b \sum t_k + c \sum t_k^2 = \sum y_k, \\ a \sum t_k + b \sum t_k^2 + c \sum t_k^3 = \sum t_k y_k, \\ a \sum t_k^2 + b \sum t_k^3 + c \sum t_k^4 = \sum t_k^2 y_k, \end{cases} \quad (2)$$

где символ $\sum$ означает суммирование по всем индексам k таким, что моменты времени t_k содержатся в промежутке $\Delta_i^{(j)}$.

Введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} A &= \sum t_k, & B &= \sum t_k^2, & C &= \sum t_k^3, & D &= \sum t_k^4, \\ E &= \sum y_k, & F &= \sum t_k y_k, & G &= \sum t_k^2 y_k. \end{aligned}$$

Тогда система (2) (относительно неизвестных a, b, c) примет вид

$$\begin{cases} na + Ab + Bc = E, \\ Aa + Bb + Cc = F, \\ Ba + Cb + Dc = G. \end{cases}$$

Решая последнюю систему, получим:

$$\begin{aligned}\hat{a}_i^{(j)} &= \frac{1}{K} (ADF - BDE + C^2E - BCF - ACG + B^2G), \\ \hat{b}_i^{(j)} &= \frac{1}{K} (ADE - ABG - BCE + CnG - DnF + B^2F), \\ \hat{c}_i^{(j)} &= \frac{1}{K} (A^2G - ACE - ABF + CnF - BnG + B^2E),\end{aligned}\tag{3}$$

где $K = A^2 D - B n D + C^2 n - 2 A B C + B^3$. Заметим, что зависимость правых частей равенств (3) от индексов i, j проявляется в том, что при вычислении коэффициентов $A, B, C, \dots$ суммирование, как указано выше, производится по всем индексам k таким, что моменты времени t_k содержатся в промежутке $\Delta_i^{(j)}$.

Результатом действия описанного алгоритма («размножения» оценок $\hat{a}_i^{(j)}, \hat{b}_i^{(j)}, \hat{c}_i^{(j)}$ коэффициентов полинома $a + bt + ct^2$) будет набор определенных на отрезке $[t_1; t_n]$ сглаживающих функций $\hat{S}^{(j)}(t)$ ($j = 1, 2, \dots, N$), каждая из которых является «кусочно-квадратичной»:

$$\hat{S}^{(j)}(t) = \begin{cases} \hat{a}_1^{(j)} + \hat{b}_1^{(j)}t + \hat{c}_1^{(j)}t^2, & t \in \Delta_1^{(j)}, \\ \hat{a}_2^{(j)} + \hat{b}_2^{(j)}t + \hat{c}_2^{(j)}t^2, & t \in \Delta_2^{(j)}, \\ \\ \hat{a}_m^{(j)} + \hat{b}_m^{(j)}t + \hat{c}_m^{(j)}t^2, & t \in \Delta_m^{(j)}, \end{cases}$$

где $\hat{a}_i^{(j)}$, $\hat{b}_i^{(j)}$, $\hat{c}_i^{(j)}$ вычисляются по формулам (3).

Наконец, находим аппроксимирующую функцию $\bar{S}(t)$ как среднее арифметическое функций $\hat{S}^{(j)}(t)$ (по всем N разбиениям отрезка $[t_1; t_n]$):

$$\bar{S}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{S}^{(j)}(t).$$

Предлагаемый метод зависит от трех параметров. Подбирая эти параметры оптимальным образом, можно улучшить качество фильтрации. Оптимальный подбор параметров осуществляется на имитационных моделях.

Для сравнения качества фильтрации предлагаемым методом с другими известными методами использовалась оценка среднеквадратического отклонения аппроксимирующей функции:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (S(t_k) - \bar{S}(t_k))^2},$$

где $S(t)$ – исходная функция полезного сигнала. Это наиболее часто используемый критерий качества подгонки.

Особый интерес представляет сравнительная оценка точности выделения тренда различными способами, в качестве которых были выбраны: классический метод обработки нестационарных процессов (метод усреднения по числу реализаций), аппроксимация методом наименьших квадратов (с последующим усреднением по числу реализаций) и предлагаемый метод размножения оценок.

Сравнительная оценка точности выделения полезного сигнала проводилась по 25 реализациям исходной модели для классического метода и метода аппроксимации. В методе размножения оценок была задана единственная реализация, в результате обработки которой было получено такое же число реализаций оценок.

Следует отметить, что при этом оценка среднеквадратического отклонения аппроксимирующей функции предлагаемым методом размножения оценок в 3,6 раз меньше, чем при использовании классического метода, и в 2,4 раза меньше, чем при использовании метода аппроксимации. При этом не следует забывать, что метод аппроксимации предполагал априорную информацию о функции полезного сигнала (тренда), а классический метод предполагал наличие необходимого количества реализаций, что противоречит исходной постановке задачи. На основании вышеизложенных результатов исследований можно сделать следующие выводы:

- предлагаемый метод размножения оценок позволяет выделять функцию полезного сигнала (тренда) при ограниченном объеме информации с точностью значительно выше, чем классический метод и метод аппроксимации (причем последние два метода «работают» при достаточно большом объеме априорной информации);
- способность предлагаемого метода выделять полезный сигнал при ограниченном объеме априорной информации и простота практической реализации позволяют рекомендовать его для использования в автоматизированных системах первичной обработки телеметрической информации.

Литература

1. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1976. – 756 с.
2. Цветков Э.И. Основы теории статистических измерений. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1979. – 288 с.
3. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах. Том 1. Основные принципы и классические методы. – М.: Мир, 1983. – 312 с.

346500 г. Шахты Ростовской обл., ул. Шевченко 147, ЮРГУЭС, каф. математики, т. 20433
e-mail: saakyan@aport.ru

О ВЫБОРЕ ОБЪЕКТА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА*Доросинский Л.Г., Николаев А.Н.*

При моделировании речевого сигнала в задачах анализа и распознавания речи традиционно используют два подхода. Первый из них базируется на бионистическом подходе к проблеме распознавания речи, попытке моделирования процесса восприятия речи человеком (а именно головным мозгом). Наиболее полно изучены процессы, происходящие на периферии слуховой системы. Не вдаваясь в подробности, важно отметить, что происходит спектральный анализ акустического сигнала. Эта информация преобразуется в сигналы, возбуждающие волокна слухового нерва, по которому информация поступает в центральные отделы слуховой системы. Дальнейшие исследования привели к более точному пониманию процесса слухового восприятия, выделению критических полос и сокращение размерности признаков, описывающих речь (мелкепстральные признаки).

С другой стороны, за основу может браться моделирование процесса речеобразования. Наиболее перспективным считается метод коэффициентов линейного предсказания (КЛП), хорошо согласующийся с представлением речевого тракта в виде многополюсного резонатора, позволяющий описать речевой сигнал наиболее точно и в то же время компактно. В ходе обработки текущие отсчеты сигнала сравниваются с линейными комбинациями ограниченного ряда (4—12) предыдущих отсчетов. Коэффициенты в линейных комбинациях определяются статистическим путем на участках речи длительностью 10—20 мс с таким расчетом, чтобы расхождение между предсказанными и текущими значениями было минимальным. Массивы этих коэффициентов и являются результатам КЛП-анализа.

С одной стороны, в речевом сигнале содержатся некоторые структуры, соответствующие инвариантным языковым символам, общие для людей, говорящих на одном языке. Они - основа понимания человеком речевого сообщения. С другой стороны, речь каждого человека индивидуальна, подвержена различным флюктуациям. Из-за сложности в определении инвариантных речевых элементов, задача количественного объективного определения качества речи (произношения) становится довольно трудной.

Предлагается использовать для решения этой задачи гибридное признаковое описание речи: на основе мелкепстральных и КЛП коэффициентов. Обзор существующих систем распознавания речи показал правомерность такого предложения [1].

Литература

1. Joseph Picone. Signal Modeling Techniques In Speech Recognition, 1993

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 32, УГТУ, РТФ, каф. АСУ, тел. (3432)741-424,
e-mail: asu@rtf.ustu.ru, axel@baza-r.ru

ПРИМЕНЕНИЕ БИБЛИОТЕКИ «INTEL® RECOGNITION PRIMITIVE LIBRARY 4.0» ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ И ОБРАБОТКИ РЕЧИ

Доросинский Л.Г., Николаев А.Н.

Средства для проектирования и реализации систем автоматического распознавания речи (САРР) условно можно разделить на две большие группы. К первой можно отнести законченные системы (например, Microsoft Speech API), предоставляющие среду функционирования для САРР, готовый словарь с возможностью пополнения, настройку на стандартные типы голоса (мужской, женский, детский) и т.п. В основном, такие системы подходят для случая, когда возникает необходимость придать мультимедийной системе возможность голосового управления и речевой обратной связи. Ко второй группе можно отнести специализированные пакеты (например, Matlab plus Signal Processing Toolbox). Эти средства позволяют удобно проводить различные эксперименты, но мало пригодны для проектирования САРР в виде конечного продукта.

Интересное решение на рынке средств разработки САРР предлагает фирма INTEL. Библиотека примитивов распознавания фирмы Intel® [1] поставляется как динамическая библиотека (DLL) набора функций, выполняющих часто используемые операции в приложениях распознавания речи и символов. Программный код специально оптимизирован для архитектуры процессоров Intel®, что гарантирует высокую производительность.

Приведем перечень групп функций: обработка сигнала (взвешивание сигнала, кепстральный анализ, линейное предсказание), основы распознавания (измерение сходства, многослойный персептрон – алгоритм обратного распространения ошибки, кластеризация и векторное квантование), динамическое преобразование времени (Delay Time Warping), скрытые марковские модели (Витерби–алгоритм, Forward–алгоритм, алгоритм Баум–Вельша). Функции могут вызываться из любого языка высокого уровня (C++, Delphi и даже Visual Basic), что обеспечивает простоту их применения.

К сожалению, в документации встречаются некоторые неточности (например, на стр. 51, 155 [1]), связанные, по-видимому, с выпуском новой версии библиотеки и выделением некоторых функций в отдельную библиотеку (Signal Processing Library). Несмотря на это, данную библиотеку можно порекомендовать как средство для разработки мощных и высокопроизводительных САРР.

Литература

1. Intel® Recognition Primitives Library: Reference Manual. – Issued in U.S.A. Order Number 637785-006. Intel Corporation, 1999. – <http://developer.intel.com>

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 32, УГТУ, РТФ, каф. АСУ, тел. (3432)741-424,
e-mail: asu@rtf.ustu.ru, axel@baza-r.ru

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Доросинский Л.Г., Шилов А.Ю.

Устройство и принцип работы зрительной системы изучены достаточно подробно, и могут служить хорошим примером системы обнаружения линейных элементов, обучающейся в процессе функционирования. Работа системы характеризуется следующими факторами:

1. все возможные раздражения должны активировать по крайней мере несколько нейронов в сети (объединение всех рецепторных полей полностью покрывает пространство раздражений);
2. синаптические связи должны обеспечивать возможность быстрого обучения (скорость обучения биологической системы весьма высока, вплоть до одноитерационного обучения в предельном случае);
3. система должна одновременно обладать способностью обучаться во время циклов обнаружения и одновременно сохранять стабильность (в пределах информационной емкости сети обучение обнаружению новых образов не должно уничтожать память о старых образах).

Проектируемая нейросетевая модель кроме вышеуказанных факторов должна обеспечивать структурное подобие биологической системе. Поэтому в качестве нейросетевой модели выбрана трехслойная нейронная сеть, состоящая из слоя возбуждающих нейронов, слоя тормозящих нейронов и слоя рецепторных нейронов.

Активационные функции рецепторных нейронов - реализуют распределение Пуассона. Каждый рецепторный нейрон отображается на квадратную область в слое возбуждающих нейронов, синаптические связи в этом отображении изменяются в процессе функционирования согласно обучающему правилу, описанному ниже. Каждый возбуждающий нейрон взаимосвязан с соответствующим ему тормозящим нейроном в третьего слоя - слоя тормозящих нейронов, образуя петлю отрицательной обратной связи. Каждый тормозящий нейрон имеет обратную связь с самим собой. Синаптическая проводимость изменяется гармонически с периодом 1мС, начальные синаптические веса выбраны случайно с распределением Гаусса и уровнем шума 5%. Цикл прохождения информационного импульса (ИИ) 3мС.

Предъявляемые на вход сети раздражения представляют собой световые полосы с яркостью постоянной в продольном направлении, и убывающим равномерно в поперечном. В процессе моделирования полосы непрерывно перемещались в пределах рецепторного слоя.

Модификация синаптических весов осуществляется согласно следующему правилу: если тормозящий сигнал поступает на тормозящий вход с задержкой более 3мС относительно обратно распространяемого по синапсу ИИ, то вес соответствующего синапса увеличивается на

$$\Delta w = \alpha \frac{\tau}{\tau + \Delta t}$$

где α – скорость обучения, $\tau = 5\text{мС}$, Δt - величина запаздывания тормозящего сигнала. В противном случае вес синапса уменьшается на Δw .

Качество функционирования модели анализировалось с помощью показателей силы отклика рецепторных полей и корреляции рецепторных полей. В процессе цикла моделирования на вход системы было предъявлено 50 образов, все они были успешно обнаружены с максимальным количеством циклов обучения, равным 6.

620001 г. Екатеринбург, К-2, ул. Мира 32, УГТУ РТФ, каф. АСУ, т.(3432)741-424
e-mail: asu@rtf.ustu.ru

УДК 621.394:519.872

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТИ СВЯЗИ С ПРОТОКОЛОМ «АСИНХРОННАЯ АДАПТИВНАЯ АЛОХА» В СЛУЧАЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ВРЕМЕНИ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Одышев Ю.Д.

Сеть связи с протоколом «асинхронная Алоха» [1] с конечным числом N станций моделируется системой массового обслуживания с входящим примитивным потоком, имеющим параметр $\lambda(N-i)/N$, где i —число заявок в источнике повторных вызовов (ИПВ). Время начала передачи сообщения не является синхронизированным. Передаваемое сообщение с вероятностью единица встает на прибор, где обслуживается детерминированный интервал времени $\tilde{b}$. При этом если на приборе уже находилось сообщение, то последнее сразу же переходит в ИПВ, но искаженными считаются обе заявки, и пришедшее сообщение по окончании времени обслуживания также помещается в ИПВ. Интервалы времени между повторными обращениями распределены экспоненциально с параметром $\sigma = 1/T\tilde{b}$, где T —состояние адаптера. Опишем его функционирование. Если прибор свободен, то $T(t + \Delta t) = T(t) - \alpha\Delta t/\tilde{b}$; если обслуживается неискаженная заявка, то состояние адаптера не меняется; в противном случае $T(t + \Delta t) = T(t) + \beta\Delta t/\tilde{b}$. Положительные величины α и β являются параметрами адаптера. Если при убывании $T(t)$ достигает заданного значения $T_0 > 0$, то состояние адаптера остается равным этому значению до момента его увеличения. Состояние прибора обозначим через k . При этом $k=0$, если прибор свободен; $k=1$, если обслуживается неискаженная заявка, и $k=2$, если на приборе находится искаженное сообщение.

Понятно, что процесс $\{k(t), i(t), T(t)\}$ не является марковским. Для его марковизации введем дополнительную компоненту $z(t)$, которая имеет смысл интервала времени от момента t до момента окончания обслуживания заявки, стоящей на приборе.

Состояние рассматриваемой системы определим вектором (k, i, T, z) , изменение которого во времени образует марковский процесс $\{k(t), i(t), T(t), z(t)\}$.

При исследовании этого процесса асимптотическими [2] методами был получен следующий результат.

Теорема. В асимптотике при $N \rightarrow \infty$ двумерное распределение вероятностей состояний системы по i и T является нормальным.

Литература

1. Бертсекас Д., Галагер Р. Сети передачи данных. – М.: Мир, 1989.
2. Назаров А.А. Асимптотический анализ марковизируемых систем. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1991.

Томский государственный университет, 634050, г. Томск, проспект Ленина, 36.
e-mail: odyshev@fpmk.tsu.ru.

УДК 519.2, 681.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ САПР МОДУЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕРОВ БЛОКОВ КЭШИРОВАНИЯ

Копылов И.В., Будаева А.А.

Эффективная реализация процедуры кэширования файлов, интегрированная в САПР модулей оптимизации размеров блоков кэширования и минимизирующая верхнюю границу числа последовательных обращений к внешней памяти, связана с необходимостью создания интеллектуальных баз данных, фиксирующих динамику обращений к внешним носителям $N=\{N_1, N_2, \dots, N_n\}$, с целью периодического изменения размеров кэш-блоков [4]. Таким образом, ставится задача краткосрочного статистического прогнозирования будущего значения N_{n+1} на основе прошлых наблюдений, составляющих временной ряд N , при этом предполагается, что ряд может быть представлен как декомпозиция из четырех составляющих:

$$N_t = f(S_t, T_t, C_t, R_t),$$

где S_t - периодическая или сумма периодических составляющих, традиционно называемая эффектом сезонности; T_t - медленная детерминированная составляющая (тренд); C_t - быстрые нерегулярные малые вариации относительно тренда (цикличность); R_t - случайная несистематическая остаточная компонента.

Проведение прогнозирования возможно в ручном и автоматическом режимах, специфичных по набору используемых математических моделей и алгоритмов, а также временных затрат на поиск прогноза.

Поскольку в настоящий момент не существует достаточно эффективного "автоматического" способа обнаружения тренда, цикличности, эффекта сезонности во временном ряде, во многом идентифицирующих исследуемую модель и сводящих её своим устранением к стационарному случайному процессу, необходимо привлечение дополнительных человеческих усилий, соответствующих ручному режиму работы, для выявления класса функций K_f и подгонки функции этого класса $F=F(t, \Theta) \in K_f$, достаточно хорошо аппроксимирующей имеющиеся данные. Оценка параметров Θ функции $F(t, \Theta)$ возможна решением задачи ре-

грессионного анализа [1], рассматривающего значения временного ряда N_t как отклик на фактор t : $N_t = F(t, \Theta) + \varepsilon_t$, $t=1, \dots, n$, где F - функция тренда, Θ - неизвестные нам параметры, а ε_t - независимые и одинаково нормально распределенные случайные величины. Решающее правило выбора функции тренда таково, что

$$\sum_{t=1}^n [N_t - F(t, \Theta)]^2 \rightarrow \min.$$

Для временных рядов типично, что статистические предпосылки регрессионного анализа выполняются не полностью. Прежде всего, это касается предположения о независимости случайных отклонений: для временных рядов характерна взаимная зависимость его членов. Тем не менее, оценки тренда разумны в случае выбора адекватной модели, а упомянутые выше нарушения предпосылок сказываются не столько на значениях оценок, сколько на их статистических свойствах [2].

Другими способами устранения тренда являются методы сглаживания временного ряда: метод скользящих средних, экспоненциальное сглаживание и медианное сглаживание [5]. Наряду с указанными методами для удаления тренда можно использовать метод перехода от исходного ряда к ряду разностей соседних значений ряда. В общем виде эта идея описывается с помощью применения к ряду разностных операторов A различных порядков с целью сведения временного ряда к стационарному: $AN_t = N_t - N_{t-1}$, $A^2 N_t = A(AN_t)$, аналогично определяются и сезонные разностные операторы с периодом p : $A_p N_t = N_t - N_{t-p}$. Преобразование $N_t - N_{t-p}$ может быть также записано с помощью сдвига назад B в виде: $N_t - N_{t-p} = (1 - B^p)N_t$.

Следующим шагом в идентификации модели является подбор процесса «хорошо» описывающего случайную компоненту, оставшуюся после приведения исходного ряда к стационарному, для уточнения оценки дисперсии, рассчитанной на коррелированные случайные величины, и проверки адекватности детерминированной компоненты. Для описания стационарных временных рядов используются процессы авторегрессии $AR(p)$, скользящего среднего $MA(q)$ и их комбинации $ARMA(p, q)$, а для проверки стационарности ряда остатков и оценки его дисперсии используются выборочная автокорреляционная и частная автокорреляционная функции на основе визуальной интерпретации графиков этих функций. Линейные модели стационарных временных рядов $AR(p)$, $MA(q)$, $ARMA(p, q)$ хорошо изучены и позволяют достаточно точно оценить коэффициенты случайных процессов. Так для $AR(p)$ - процесса $N_t = \xi + \phi_1 N_{t-1} + \phi_2 N_{t-2} + \dots + \phi_p N_{t-p} + \varepsilon_t$, где ξ - константа (свободный член), ε_t - процесс белого шума, составив систему уравнений Юла-Уолкера:

$$\begin{cases} r_1 = \phi_1 + \phi_2 r_1 + \dots + \phi_p r_{p-1}; \\ r_2 = \phi_1 r_1 + \phi_2 + \dots + \phi_p r_{p-2}; \\ \dots \\ r_p = \phi_1 r_{p-1} + \phi_2 r_{p-2} + \dots + \phi_p; \end{cases},$$

где $r_k = \text{corr}(N_t, N_{t+k})$ - коэффициенты корреляции, заменяются их оценками по наблюдаемому временному ряду, и, решив её относительно неизвестных пара-

метров $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$, получаем искомые коэффициенты $AR(p)$ модели [5]. Кроме рассмотренного подхода нахождения коэффициентов $AR(p)$ модели возможно использование различных по форме оценок (MHK , условный MHK , $ММП$), которые при больших объемах выборок асимптотически эквивалентны.

Процедуры оценки параметров и прогнозирования, описанные выше, предполагали, что математическая модель процесса известна или же может быть достаточно просто идентифицирована. В случае, если в реальных данных нет отчетливо выраженных регулярных составляющих, ручной режим работы позволяет перейти к $ARIMA(p, d, q)$ модели [3], включающей параметры авторегрессии (p), порядок разности (d) с лагом 1, параметры скользящего среднего (q). Как и предыдущие модели, $ARIMA$ требует, чтобы ряд был стационарным, а это, в свою очередь, означает, что его среднее постоянно, а выборочные дисперсия и автокорреляция не меняются во времени. Поэтому обычно необходимо брать разности ряда AN_t ($t=2, 3, \dots, n$) до тех пор, пока он не станет стационарным. Число разностей, которые были взяты, чтобы достичь стационарности, определяются параметром d . Как правило, дифференцировать нужно до тех пор, пока не получим ряд, «хорошо» флуктуирующий вокруг понятного среднего, $AK\Phi$ которого быстро убывает, стремясь к нулю сверху или снизу. В случае присутствия периодической компоненты дополнительно включаются тройка: сезонная авторегрессия (ps), сезонная разность (ds) и сезонное скользящее среднее (qs), сводящая модель к виду $ARIMA(p, d, q)(ps, ds, qs)$. На этапе идентификации необходимо решить как много параметров авторегрессии (p) и скользящего среднего (q) должно присутствовать в эффективной и экономной модели процесса. Как и ранее возможно использование различных по форме методов оценки параметров авторегрессии и скользящего среднего.

Другим способом краткосрочного адаптивного прогнозирования, соответствующего режиму автоматического построения прогноза, являются модели, основанные на экспоненциальном сглаживании. Точная формула простого экспоненциального сглаживания имеет следующий вид: $E_t = \alpha N_t + (1 - \alpha)E_{t-1}$. При рекурсивном применении формулы каждое новое сглаженное значение (которое и является прогнозом) вычисляется как взвешенное среднее текущего наблюдения и сглаженного ряда, результат сглаживания зависит от параметра α . Если $\alpha=1$, то предыдущие наблюдения полностью игнорируются, если $\alpha=0$, то игнорируются текущие наблюдения. Значения α между 0, 1 дают промежуточные результаты. Оптимальное значение параметра сглаживания α ищется на сетке возможных значений с определенным шагом, а затем выбирается α , для которого сумма квадратов остатков ряда является минимальной.

Литература

1. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 471 с.
2. Андерсен Т. Статистический анализ временных рядов. – М: Мир, 1976. – 756 с.
3. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. – М.: Мир, 1974. – 197 с.
4. Гроппен В.О. Принципы оптимизации программного обеспечения ЭВМ. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. гос. ун-та, 1993. – 168 с.
5. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Статистический анализ данных на компьютере. – М: ИНФРА-

М, 1998. – 528 с.

362019, г.Владикавказ, ул.Шмулевича 16/1, кв.15, Копылов И. В.,
e-mail: IgorKopilov@yahoo.com

УДК 681.324.001.573

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ И НЕЧЁТКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ

Малышев Ю.В.

Развитие многих предприятий характеризуется интеграцией с компьютерными сетями (КС). Они дают преимущества в распределённой и оперативной обработке, а также передаче данных. Недостаточный анализ сетевого проекта может привести к тому, что КС будет предоставлять пользователям плохое качество обслуживания. Признанным методом исследования является имитационное моделирование (ИМ). При увеличении размеров КС время прогона модели растёт. Время ИМ КС с числом рабочих станций (РС) более 40 уже становится недопустимо большим. КС больших масштабов, как правило, представляют собой корпоративные компьютерные сети (ККС). Для таких сетей необходимо также учитывать гетерогенность аппаратного и программного обеспечения.

Проблема решается за счёт более полного учёта априорных сведений о функционировании ККС в виде статистической и экспертной информации. Статистическая информация получается из обработки статистических данных (например, сетевого трафика). Экспертная информация носит, как правило, слабоформализованный нечёткий характер. Для описания и обработки статистических и экспертных данных применяются методы интеллектуального анализа данных (ИАД), соответствующие трём подходам: на основе анализа исторических данных (статистика), на основе опыта эксперта, их комбинации - анализ исторических данных на основе опыта эксперта.

Применение собранной статистической информации о пересылке пакетов сетевого уровня модели OSI одной активной РС определённого типа в КС позволяет не производить моделирование её алгоритма формирования каждого пакета. Применение статистики разных типов РС даёт возможность исследовать проекты с разным набором топологий и количеством РС, так как в ЛВС в каждый момент времени только одна РС передаёт пакеты в КС. Дополнительно моделируются задержки, в т.ч. алгоритма доступа к среде, канального уровня, задержка передачи физического уровня. Учитывается потеря пакетов при переполнении буферов сетевых устройств (например, маршрутизаторов). Предложенный подход реализован в виде автоматизированной системы получения комплексного решения построения компьютерной сети уровня корпорации.

Как правило, при ИМ случаются ситуации недостатка или, наоборот, избытка статистических данных. Нередко данные могут противоречить друг другу или данным коллег. Иногда нет возможности собрать данные (для несущее

ствующих устройств) или для этого необходимы дополнительные затраты и время. Бывает важным дать оценку сверху малыми средствами для выработки решения о целесообразности дальнейшего детального исследования. Так постепенно можно приближаться от грубой модели к более точной.

Для решения этих проблем применяются субъективные гипотезы экспертов. Они формализуются на основе нечётких множеств (НМ). Для ранжирования параметров с нечёткими оценками используется методика нечёткой оптимизации, в которой строится НМ недоминируемых вариантов по свёрткам выбора множества Парето и взвешенной сумме оценок. Для формирования НМ используются понятия полезности и степени достижения идеала. Разработан подход к декомпозиции функции ценности на основе отношения весов критериев. Экспертные оценки парных сравнений согласуются с помощью развития нечёткого метода Дельфы. НМ, соответствующее функции распределения, строится гистограммным способом.

С помощью методики нечёткой оптимизации эксперт может строить рациональную имитационную модель ККС. Для этого параметры модели ранжируются по степени значимости влияния на результаты. Компромиссными критериями выступают оценки экспертов разной компетентности. Также ранжируются параметры и прецедентов объектно-ориентированного анализа и проектирования по значимости, интервалы значений параметров трафика по частоте. С помощью методики может проводиться подготовка эксперимента и обработка результатов моделирования.

Показано, что интеллектуальный анализ статистических и нечётких данных (ИАСНД) производит полный охват всех возможных видов априорной информации. Это предоставляет ИМ ККС новые возможности. При переходе от рассмотрения статистики к НМ становится важным субъективное критическое осмысление результатов. Известно, что разные методы ИАД при одинаковых исходных данных могут дать разный результат. Повышается значимость роли эксперта. Целью вычислений при переходе от статистики к НМ становится не численная оценка, а возможность лучшего понимания явления экспертом.

При разработке программного комплекса применялся объектно-ориентированный подход. Разработаны классы описания устройств сети и единиц пересылаемых данных и их наследственная иерархия. Для представления рабочей нагрузки разработана схема технологических цепочек и деления на виды сетевых работ. Это даёт возможность совместного параллельного проектирования новых бизнес-процессов и ККС. Каждый вариант РН, структуры ККС хранится в отдельном текстовом файле, допускающем редактирование любым текстовым редактором. Программа имеет удобный графический интерфейс с возможностью задания параметров и просмотра структуры ККС, результатов ИМ в виде чисел и диаграмм.

По вышеизложенным результатам автором были сделаны выступления на конференциях, опубликован ряд статей. Для получения более полной информации можно связаться с автором.

УДК 681.326

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ МАРШРУТИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ

Лешуков В.В.

Научные изыскания автора, направленные на усовершенствование старых и разработку новых, более быстрых и оптимальных алгоритмов маршрутизации в распределенных сетях, привели к необходимости опытного, практического подтверждения теоретических выводов и предположений. Однако, ставить эксперименты в реально действующих сетях сложной топологии не представляется возможным. Внедрять непроверенный, новый алгоритм в действующую сеть никто не станет. Строить экспериментальную сеть даже на несколько десятков маршрутизаторов нам не под силу по финансовым соображениям. Для решения этой проблемы была спроектирована и реализована на ЭВМ программная модель, эмулирующая работу маршрутизаторов распределенной сети. Узкая специфика задачи (сравнение алгоритмов маршрутизации) позволила значительно упростить модель и работу с ней, не ухудшая соответствия модели реальным системам в рамках исследуемого вопроса.

Рассмотрим основные принципы построения модели. Перед началом моделирования случайным образом генерируется граф сети с заданными общими параметрами. Также генерируется тестовая последовательность, в качестве параметров которой выступают длительность моделирования (в условных квантах времени), количество и диапазон размеров передаваемых сообщений (в условных пакетах), а также функция их распределения по периоду моделирования. Распределение пар источник – приемник для каждого сообщения случайно. Варьирование перечисленных параметров позволяет имитировать широкий диапазон реально возникающих нагрузок на сеть. Тестовая последовательность записывается в базу данных и в последующем используется для сравнительного моделирования различных алгоритмов маршрутизации.

Рассмотрим сам процесс моделирования. В основу положено допущение, что через одну линию связи (направленная дуга графа) за один условный квант времени может быть передан один условный пакет. Если в очереди на передачу по данной линии находятся N пакетов, то за один квант передается по $1/N$ части каждого пакета. Таким образом, пакет считается переданным, когда показатель передачи пакета сравняется или превысит “1”. Длительность процесса моделирования в условных квантах задается оператором и по умолчанию равна длительности тестовой последовательности.

На каждом кванте последовательно выполняются три этапа.

1) Этап построения таблиц маршрутизации. На этом этапе для каждого узла i графа выполняется один из сравниваемых алгоритмов маршрутизации.

Каждому из оставшихся узлов j графа ставится в соответствие исходящая линия узла i (в реальности порт маршрутизатора i), через которую лежит кратчайший (оптимальный) путь до узла j . Время выполнения этого этапа на каждом кванте запоминается и суммируется, что позволяет нам сравнивать скорости работы различных исследуемых алгоритмов маршрутизации на одной тестовой последовательности.

2) Этап запуска новых пакетов. Из тестовой последовательности выбираются пакеты, генерируемые на текущем кванте, и помещаются в очередь на исходящую от узла-источника линию, соответствующую кратчайшему пути до узла-адресата (номер определяется по таблице маршрутизации). Показатель передачи пакета при этом устанавливается в “0”.

3) Этап продвижения пакетов. Для всех линий графа анализируется очередь пакетов. К показателю передачи каждого пакета данной линии добавляется величина равная $1/N$, где N – число пакетов в очереди на текущем кванте. Если показатель передачи превышает или равен “1”, то пакет считается переданным в следующий узел. Если следующий узел – узел-адресат, то пакет считается полностью переданным и удаляется. В противном случае по таблице маршрутизации следующего узла определяется, на какую линию будет помещен пакет в следующем кванте. При этом показатель передачи пакета обнуляется.

Методика сравнения алгоритмов маршрутизации заключается в том, что оператор задает различные графы (сети с различным количеством узлов (маршрутизаторов) и средним количеством связей (портов) на один маршрутизатор), различные тестовые последовательности, соответствующие разным типам загрузки сети. Для каждого набора исходных данных выполняется моделирование с использованием известных алгоритмов маршрутизации (Дейкстра, Беллмана-Форда), а также разработанного автором алгоритма “Пульсар”. Сравнивая суммарное время, затраченное процессором на выполнение каждого алгоритма маршрутизации в течение одного теста, можно делать выводы об эффективности работы алгоритмов в разных сетях с разной нагрузкой. Также можно с большей или меньшей степенью уверенности подтвердить или опровергнуть предположение о зависимостях скорости выполнения алгоритмов от исходных параметров сети и тестовой последовательности.

Программа моделирования реализована на языке Borland Delphi 5. Системные требования: процессор Pentium 166 MHz и выше, ОЗУ 32 Mb и более. Максимальное количество узлов (маршрутизаторов) в сети – 1000. Максимальное количество связей (портов) одного узла – 25. Таким образом, программа позволяет моделировать работу достаточно крупных современных компьютерных сетей.

МОДЕЛЬ КОРПОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ВЕДОМСТВЕННОГО КАДАСТРА

Доросинский Л.Г., Исаков Д.Н.

Государственный ведомственный кадастр содержит необходимые сведения и документы о правовом режиме земель и иных объектов учета, их распределении по владельцам, пользователям, арендаторам и категориям объектов, об их количественных, качественных и оценочных характеристиках. Ведение государственного ведомственного кадастра включает в себя: сбор, учет, обработку и анализ земельно-кадастровой информации, ее хранение, разработку рекомендаций по изменению, учет характера правового состояния земель и выдачу информации пользователям. Поскольку у нас в стране пока не было прецедентов создания автоматизированных кадастровых систем ведомственного масштаба, мы можем указать только на основные черты и функции будущей системы:

- система должна содержать полную геодезическую и кадастровую информацию о земельном участке, а также информацию об объектах недвижимости на данном земельном участке, включая полную информацию о его инженерных системах (ремонтопригодность, степень загрузки, степень морального и физического износа);
- структурно система должна представлять собой распределенную базу данных, связь с филиалами должна осуществляться посредством современных Internet-технологий. Информация должна иметь соответствующий уровень защиты, как при хранении, так и при пересылке;
- АРМы системы должны обладать интуитивно понятным интерфейсом, быть легко осваиваемы и не требовать от пользователей специального уровня знаний информационных технологий, быть интегрируемы друг с другом и прочими офисными приложениями, иметь возможность быстро и однозначно проводить соответствие между объектом недвижимости и набором соответствующих его эксплуатации условий (регламентов);
- система в центральном бюро должна обладать элементами экспертной системы и системы принятия решений для облегчения задач равномерного распределения денежных и других ресурсов, определять общую политику сдачи в аренду подведомственных объектов, облегчить контроль за средствами получаемые от арендаторов;
- все данные необходимо представлять в текстово-графической форме с наиболее полным использованием передовых средств вычислительной техники.

Основные организации, участвующие в проекте – Московский государственный университет геодезии и картографии и Сибирская государственная геодезическая академия. Геоинформационная система WinGIS была выбрана базовой системой для создания Ведомственного кадастра Министерства образования Российской Федерации.

СОДЕРЖАНИЕ

Бахвалов Ю.А., Бринк И.Ю., Филькин Г.В., Черунова И.В., Кудрявцев В.И., Кудрявцева Г.В. Методический подход к математическому моделированию процессов теплообмена системы «Человек – термозащитная одежда – среда»	4
Мугаттаров М.Г. Критерии оценки адекватности виртуальных моделей пространственным характеристикам реальных геометрических объектов	6
Галиулин Р.М., Ильясов Б.Г., Мугаттаров М.Г. Моделирование процесса реконструкции лица по черепу человека по результатам сканирования лазерной измерительной системой	7
Прокопчук Ю.А., Харченко О.А. Моделирование нарушений в работе подсистем организма человека и их последствий	10
Прокопчук Ю.А., Костра В.В. Модель извлечения факторов риска из медицинской карты	11
Гребенщиков А.П. Математическое моделирование механизма действия бальнеофактора и его оптимизация	12
Колясников О.В., Крикунова В.С., Григоренко В.Г., Егоров А.М. Молекулярное моделирование структуры антител против 2,4-дихлорофенокси-уксусной кислоты	13
Даценко Н.В. Структурирование информации в автоматизированной информационной системе медико-криминалистической экспертизы воздействия химических факторов	15
Бойченко Л.П., Федотова Н.А. Математическое моделирование наискорейшего пути к больному	16
Михайлов Н.В., Третьякова О.Л., Харитонов Т.А. Алгоритм оценки репродуктивных качеств свиноматок	18
Гуревнина И.В. Применение линейных моделей для определения настига шерсти овец	20
Лагутов В.В. Имитационная модель экосистемы речного бассейна на примере р. Дон	20
Коршиков А.Ф. Математические методы в обработке дистанционной мониторинговой информации при оценке состояния агроэкосистем	22
Серпоккрылов Н.С., Пуресев А.И., Лепихова В.А., Сорокин Н.П. Математическая модель оценки степени очистки стоков промышленных предприятий	24
Свинарёв И.Ю., Арзанов Ю.Г. Структура экологических факторов в математических моделях прогнозирования численности насекомых	27
Пуресев А.И. Лепихова В.А. Математическая модель анализа дисперсного состава пылей для оценки экологической безопасности	28
Соломинова Т.С., Тюрина Л.А., Смолина Т.А., Базунова Г.Г. Прогноз активности композиционных составов биологически активных веществ	33
Каримова Ф.С., Тюрина Л.А., Базунов А.А., Базунова Г.Г. Компьютерное исследование корнестимулирующей активности	34
Каримова Ф.С., Кирлан А.В., Кирлан С. А., Тюрина Л.А. Компьютерное моделирование связи «структура – биологическое действие» некоторых классов гетероциклических соединений	35
Кирлан А.В., Кирлан С.А., Тюрина Л.А., Кирлан В.В. Формирование комплексов моделей прогноза токсичности производных оксикарбоновых кислот	36
Молотникова А.А., Голованова В.В., Кононенко В.И. Оперативно тактическое направление в программировании урожаев	37
Митина В.Ф. Моделирование следящего преобразователя код-частота со сравнением кодов в цепи обратной связи	39
Копылов А.Н. Дисперсия случайного процесса на выходе М-системы МР-структуры при входном воздействии белого шума	41

Саакян Г.Р. Математическая модель одного метода выделения тренда	43
Доросинский Л.Г., Николаев А.Н. О выборе объекта при моделировании речевого сигнала	48
Доросинский Л.Г., Николаев А.Н. Применение библиотеки «Intel© Recognition Primitive Library 4.0» при разработке систем автоматического распознавания и обработки речи	49
Доросинский Л.Г., Шилов А.Ю. Нейросетевая модель зрительной системы.....	50
Одышев Ю.Д. Исследование сети связи с протоколом «асинхронная адаптивная Алоха» в случае детерминированного времени обслуживания	51
Копылов И.В., Будаева А.А. Математическое обеспечение прогнозирования для САПР модулей оптимизации размеров блоков кэширования	52
Малышев Ю.В. Применение методов интеллектуального анализа статистических и нечётких данных для построения имитационной модели корпоративной сети	55
Лешуков В.В. Сравнительный анализ алгоритмов маршрутизации с использованием программной модели работы распределенной сети.....	57
Доросинский Л.Г., Исаков Д.Н. Модель корпоративной системы обработки информации ведомственного кадастра	59

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства
Материалы международной научно-практической конференции
Часть 6

Технический редактор: Чебанов И.Р.

ЛР № 020417 12.02.1997 г. Подписано в печать 08/05/2001 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.

Печ. л. 3,8. Тираж 100 экз. Заказ 01/12.

Учебно-производственный центр «Набла»
Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)
346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ. ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

*Материалы
международной научно-практической
конференции*

*11 апреля 2001 года
г. Новочеркасск*

Часть 7

Новочеркасск 2001

УДК 519.688
ББК 22.18 в6
М 74

Организаторы конференции:

Министерство образования Российской Федерации;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Горбатенко Н.И., профессор (РФ) – председатель;
Бахвалов Ю.А., профессор (РФ);
Вурмус Г., профессор (ФРГ);
Загороднюк В.Т., профессор (РФ);
Йегер Г., профессор (ФРГ);
Калленбах Е., профессор (ФРГ);
Ланкин М.В., доцент (РФ) – зам. председателя;
Никитенко Н.Ф., профессор (РФ);
Плаксин В.А., доцент (РФ);
Савельев М.В., профессор (РФ);
Чернов В.Н., профессор (РФ).

Редакционная коллегия:

Горбатенко Н.И. – ответственный редактор;
Плаксин В.А. – зам. ответственного редактора;
Ланкин М.В.

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы междунар.
науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 11 апреля 2001 г.: В 8 ч. / Юж.-Рос.
гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2001. –
Ч. 7. – 60 с.

ISBN 5-88998-266-4

Тексты докладов помещены в сборник, включающий 8 частей. Часть 7 содержит
статьи, посвященные общим вопросам моделирования процессов, устройств и
явлений.

Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 519.688 :007

ISBN 5-88998-266-4

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2001
© Авторы, указанные в оглавлении, 2001

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) — крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные международные научно-технические контакты, — выступил инициатором проведения ряда международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе INTERNET.

В апреле 2001 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие представители вузов Москвы, Минска, Тирасполя, Санкт-Петербурга, Тулы, Днепропетровска, Новгорода, Екатеринбурга, Тамбова, Владикавказа, Омска, Томска, Новочеркасска и других городов России и ближнего зарубежья. На конференцию представлено 164 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из восьми частей. Каждая часть содержит материалы по одному или нескольким научным направлениям.

Первая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию в строительстве.

Во вторую часть вошла первая половина статей о математическом моделировании социальных и экономических процессов.

Третья часть содержит вторую половину докладов о математическом моделировании социальных и экономических процессов, а также статьи, посвященные физическому моделированию в науке и технике и учебно-методическим вопросам преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Четвертая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию технологических процессов.

Пятая часть содержит статьи о математических моделях в энергетике, электромашиностроении, химии и металлургии.

В шестую часть вошли доклады, посвященные математическим моделям в медицине, биологии и экологии, а также математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем.

Седьмая часть включает доклады, освещающие общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений.

Восьмая часть содержит статьи о математических моделях в теплотехнике и гидравлике, в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, и с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

ОБОБЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ВАРИАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ, ВЕКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Воронцов Г.В., Федий В.С.

В работе приведены предложения по комплексному решению задач математического конструирования управляемых и наблюдаемых многомерных систем, основанные на применении обобщенного принципа Эйлера-Лагранжа (с учетом краевых и интегральных ограничений), методов нелинейного программирования и многокритериальной оптимизации. В частности, рассмотрены задачи об определении оптимальных параметров и режимов функционирования (управления) технических систем, доставляющих экстремумы функционалов, оценивающих точность отработки программ движения, энергозатраты на управление и критерии качества (например, конечного продукта в технологических системах).

1. Стохастические наблюдаемые и управляемые линейные системы

Задачу оптимизации стохастических систем расчлняем на несколько этапов.

1.1. Управление «автономной» системой

Вводим математические модели системы (объекта управления)

$$\dot{\vec{X}}(t) = \mathbf{A}_x(t)\vec{X}(t) + \mathbf{B}_F(t)\left[\vec{F}(t) + \vec{\xi}_F(t)\right] + \mathbf{B}_x(t)\vec{G}(t), \quad (1)$$

средств измерения

$$\vec{Z}_x(t) = \mathbf{C}_x(t)\vec{X}(t) + \mathbf{B}_{zx}\vec{\xi}_{zx}(t), \quad (2)$$

а также целевую функцию

$$\Phi_G = \int_{t_0}^T f_G\left(\vec{G}, \dot{\vec{G}}\right) dt \rightarrow \min \quad (3)$$

и ограничения в виде равенств

$$\mathbf{W}_x \tilde{\vec{X}}(T) = \vec{D}_x. \quad (4)$$

Здесь $\tilde{\vec{X}}(T)$ есть оценка состояния системы (1) при $t=T$; $\vec{G}(t)$ — разыскиваемые управления, минимизирующие целевую функцию (3) при ограничениях (4).

$$\vec{X} \in \mathbf{R}^n, \quad \vec{F} \in \mathbf{R}^m, \quad \vec{G} \in \mathbf{R}^v, \quad \vec{Z}_x \in \mathbf{R}^u; \quad m, v, u < n.$$

Матрицы $\mathbf{A}_x, \mathbf{B}_F, \mathbf{B}_x, \mathbf{C}_x, \mathbf{B}_{zx}, \mathbf{W}_x$ и векторы $\vec{F}(t), \vec{D}_x$ считаем заданными, функцию $f_G\left(\vec{G}, \dot{\vec{G}}\right)$ — непрерывно дифференцируемой по обоим векторным аргументам.

Случайные многомерные возмущения $\vec{\xi}_F(t)$ и помехи $\vec{\xi}_{Z_X}(t)$ характеризуем корреляционными матрицами типа

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_{FF}(t, \tau) &:= M \left\{ \vec{\xi}_F(t) \vec{\xi}_F^*(\tau) \right\} = \delta(t - \tau) \mathbf{Q}_F(t), \dots, \\ \mathbf{K}_{FZ_X}(t, \tau) &:= M \left\{ \vec{\xi}_F(t) \vec{\xi}_{Z_X}^*(\tau) \right\} \equiv \mathbf{0}. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $\mathbf{Q}_F(t), \mathbf{Q}_{Z_X}(t)$ — определенно положительные матрицы, характеризующие «мощности» процессов $\vec{\xi}_F(t), \vec{\xi}_{Z_X}(t)$ типа нестационарного белого шума.

Для начального состояния $\vec{X}(t_0)$ системы (1) считаем известными

$$\bar{X}(t_0) = M \left\{ \vec{X}(t_0) \right\}, \mathbf{K}_X(t_0) = M \left\{ \left[\vec{X}(t_0) - \bar{X}(t_0) \right] \left[\vec{X}(t_0) - \bar{X}(t_0) \right]^* \right\}. \quad (6)$$

Оценка состояния системы (1), отвечающая результатам $\vec{Z}_{\text{хд}}(t)$ наблюдения средствами измерения (2) за время $[t_0, T]$, составляет

$$\tilde{X}(T) = \int_{t_0}^T \left\{ \mathbf{R}_X^*(t, T) \vec{Z}_{\text{хд}}(t) + \mathbf{P}_X^*(t, T) \left[\mathbf{B}_F(t) \vec{F}(t) + \mathbf{B}_X(t) \vec{G}(t) \right] \right\} dt, \quad (7)$$

которое должно обеспечить минимум математического ожидания приведенной ошибки

$$Sp \left[M \left\{ \mathbf{W} \vec{\varepsilon}(T) \vec{\varepsilon}^*(T) \mathbf{W} \right\} \right] \rightarrow \min, \quad \vec{\varepsilon}(T) = \vec{X}(T) - \tilde{X}(T);$$

где $\mathbf{W}$ — симметричная неотрицательно определенная матрица весовых коэффициентов.

Матрицы $\mathbf{R}_X(t, T)$ и $\mathbf{P}_X(t, T)$ определяются решением уравнений

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \mathbf{L}(t) \\ \mathbf{P}_X^{\text{np}}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_X(t) & \vdots & \mathbf{S}_F(t) \\ \mathbf{C}_X^*(t) \mathbf{S}_{Z_X}^{-1}(t) \mathbf{C}_X(t) & \vdots & -\mathbf{A}^*(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{L}(t) \\ \mathbf{P}_X^{\text{np}}(t) \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\mathbf{R}^{\text{np}}(t) = \mathbf{S}_{Z_X}^{-1}(t) \mathbf{C}_X(t) \mathbf{L}(t)$$

с учетом краевых условий

$$\mathbf{K}_X(t_0) \mathbf{P}_X^{\text{np}}(t_0) + \mathbf{L}(t_0) = \mathbf{0}, \quad \mathbf{P}_X^{\text{np}}(T) = \mathbf{W}. \quad (9)$$

В выражениях (8), (9) обозначено:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_X^{\text{np}}(t) &= \mathbf{P}_X(t) \mathbf{W}, \quad \mathbf{R}_X^{\text{np}}(t) = \mathbf{R}_X(t) \mathbf{W}; \\ \mathbf{S}_j(t) &= \mathbf{B}_j(t) \mathbf{Q}_j(t) \mathbf{B}_j^*(t), \quad j := F, Z_X. \end{aligned} \quad (10)$$

Подчеркнем, что вид уравнения (8) не зависит от значений t_0 и T , которые входят лишь в краевые условия (9).

Рассматривая (3), (7) как уравнения изопериметрической задачи, переходим к

$$\Phi_G^\Lambda = \int_{t_0}^T \left\{ f_G(\vec{G}, \dot{\vec{G}}) + 2 \left[\mathbf{W}_x \mathbf{P}_x^* \mathbf{B}_x \vec{G} \right]^* \vec{\Lambda}_G \right\} dt \rightarrow \min, \quad (11)$$

где $\vec{\Lambda}_G$ — вектор постоянных множителей Лагранжа.

Решение уравнения Эйлера

$$\frac{\partial f_G}{\partial \vec{G}} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial f_G}{\partial \dot{\vec{G}}} \right) = -2 \mathbf{B}_x^* \mathbf{P}_x \mathbf{W}_x \vec{\Lambda}_G, \quad \delta \vec{G}^* \frac{\partial f}{\partial \dot{\vec{G}}} \Big|_{t_0, T} = 0, \quad (12)$$

выраженное через вектор множителей Лагранжа $\vec{\Lambda}_G$, подставляем в выражение (7) при $\tilde{\mathbf{X}}(T) = \mathbf{W}_x^{-1} \vec{\mathbf{D}}_x$. После вычисления вектора $\vec{\Lambda}_G$ оптимальные воздействия $\vec{G}(t)$ определяем опять таки из решения уравнения (12).

Если, например

$$f_G(\vec{G}, \dot{\vec{G}}) := \vec{G}^* \mathbf{W}_G \vec{G} + \dot{\vec{G}} \mathbf{W}_G' \dot{\vec{G}},$$

где $\mathbf{W}_G$ и $\mathbf{W}_G'$ — диагональные и положительно определенные матрицы, соответствующая система (12) легко разрешима в аналитическом виде.

Оценки состояний $\tilde{\mathbf{X}}(t_i)$ системы при промежуточном $t_i \in [t_0, T]$ могут быть найдены из уравнений (7) и (8) при $T := t_i$ и соответствующем изменении краевых условий (9):

$$\mathbf{K}_x(t_0) \mathbf{P}_{np}(t_0) + \mathbf{L}(t_0) = 0, \quad \mathbf{P}_{np}(t_i) = \mathbf{W}.$$

1.2. Управление системой при заданной математической модели исполнительных механизмов

Уравнение (1) дополняем математической моделью исполнительных механизмов

$$\dot{\vec{G}}(t) = \mathbf{A}_G(t) \vec{G}(t) + \mathbf{B}_G(t) \vec{U}(t) + \vec{\xi}_G(t), \quad (13)$$

наблюдаемых средствами измерения

$$\vec{Z}_G(t) = \mathbf{C}_G(t) \vec{G}(t) + \vec{\xi}_{ZG}(t). \quad (14)$$

Управления $\vec{U}_j(t) \forall t \in [t_{j-1}, t_j] \subset [t_0, T]$ находим из условий

$$\Phi_j = \int_{t_{j-1}}^{t_j} f_u(\vec{U}, \dot{\vec{U}}) dt \rightarrow \min, \quad (15)$$

$$\tilde{\mathbf{G}}(t_j) = \int_{t_{j-1}}^{t_j} \left\{ \mathbf{R}_G^*(t, t_j) \vec{\mathbf{Z}}_{\text{ГД}}(t) + \mathbf{P}_G^*(t, t_j) \mathbf{B}_G(t) \vec{\mathbf{U}}_j(t) \right\} dt, \quad (16)$$

где $\tilde{\mathbf{G}}(t_j) := \tilde{\mathbf{G}}_{\text{опт}}(t_j)$ соответствуют уравнениям (11), (12). Отметим, что уравнения (13)-(16) аналогичны задаче (1)-(4), (7). Поэтому определение оптимальных управлений $\vec{\mathbf{U}}_j^{\text{опт}}$ выполняется по схеме, приведенной в п.1.1.

1.3. Составление квазиоптимальной матрицы обратных связей

При наличии в системе (1), (13) блока обратных связей принимаем

$$\vec{\mathbf{U}}_{\text{опт}}(t) = \mathbf{\Gamma}_x \left[\vec{\mathbf{X}}_{\text{пр}}(t) - \tilde{\mathbf{X}}(t) \right], \quad (17)$$

где $\vec{\mathbf{X}}_{\text{пр}}(t)$ — нормативные значения переменных состояния (программа движения) объекта (1); $\vec{\mathbf{U}}_{\text{опт}}(t)$ и $\tilde{\mathbf{X}}(t)$ — оптимальные управления и оценки состояния объекта (1), отвечающие воздействиям $\vec{\mathbf{F}}(t)$ и найденным управляющим воздействиям $\vec{\mathbf{G}}(t)$, см. п.1.1.

Матрицу $\mathbf{\Gamma}_x$ составляем по методу наименьших квадратов. Так, полагая

$$\begin{aligned} & Sp \int_{t_0}^T \left\{ \vec{\mathbf{U}}_{\text{опт}}(t) - \mathbf{\Gamma}_x \left[\vec{\mathbf{X}}_{\text{пр}}(t) - \tilde{\mathbf{X}}(t) \right] \right\} \times \\ & \times \left\{ \vec{\mathbf{U}}_{\text{опт}}(t) - \mathbf{\Gamma}_x \left[\vec{\mathbf{X}}_{\text{пр}}(t) - \tilde{\mathbf{X}}(t) \right] \right\}^* dt \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (18)$$

получаем

$$\mathbf{\Gamma}_x = \mathbf{I}_1 \mathbf{I}_2^{-1}; \quad \mathbf{I}_1 = \int_{t_0}^T \vec{\mathbf{U}}_{\text{опт}} \left(\vec{\mathbf{X}}_{\text{пр}} - \tilde{\mathbf{X}} \right)^* dt, \quad (19)$$

$$\mathbf{I}_2 = \int_{t_0}^T \left(\vec{\mathbf{X}}_{\text{пр}} - \tilde{\mathbf{X}} \right) \left(\vec{\mathbf{X}}_{\text{пр}} - \tilde{\mathbf{X}} \right)^* dt.$$

Естественно, матрицу $\mathbf{\Gamma}_x$ обратных связей, определяемую выражением (19) и удовлетворяющую условию (18), следует считать квазиоптимальной лишь при заданных воздействиях $\vec{\mathbf{F}}(t)$, возмущениях $\vec{\xi}_F(t)$ и $\vec{\xi}_G(t)$, помехах $\vec{\xi}_{zx}(t)$, $\vec{\xi}_{zg}(t)$ и программе движения $\vec{\mathbf{X}}_{\text{пр}}(t)$.

2. Комплексная задача вариационного исчисления, нелинейного

программирования и векторной оптимизации технических систем

Рассмотрим «автономную» техническую систему, элементы которой

определены на множестве непрерывно или (и) дискретно изменяющихся параметров $\vec{p} \in \mathbf{R}_+^V$, для которых установлена область их возможных значений. Полагаем, что составлены модели системы и средств измерения

$$\dot{\vec{X}}(t) = \mathbf{A}_x(\vec{p}, t)\vec{X}(t) + \mathbf{B}_F(t)[\vec{F}(t) + \vec{\xi}_F(t)] + \mathbf{B}_x(t)\vec{G}(t), \quad (20)$$

$$\dot{\vec{Z}}(t) = \mathbf{C}(t)\vec{X}(t) + \mathbf{B}_z(t)\vec{\xi}_z(t);$$

назначена целевая функция по управлению (режиму функционирования)

$$\Phi = \psi(\vec{G}(t_0), \vec{G}(T)) + \int_{t_0}^T f_G(\vec{G}(t), \dot{\vec{G}}(t), t) dt \rightarrow \min, \quad (21)$$

выбраны критерии качества

$$\vec{k} = \vec{f}_1(\vec{X}(t_0), \vec{X}(T)) + \int_{t_0}^T \vec{f}_2(\vec{X}(t)) dt, \quad \vec{k} \in \mathbf{R}_+^\mu, \quad (22)$$

и ограничения в виде равенств

$$\mathbf{W}_x \vec{X}(T) = \vec{D}_x, \quad (23)$$

$$\vec{\psi}_1(\vec{G}(t_0), \vec{G}(T)) + \int_{t_0}^T \vec{\psi}_2(\vec{G}(t)) dt = \vec{0}.$$

При заданных параметрах $\vec{p}$ задача приводится к системе уравнений

$$\frac{\partial f_L}{\partial \vec{G}} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial f_L}{\partial \dot{\vec{G}}} \right) = \vec{0}, \quad \delta \vec{G}^*(t_k) \left[\frac{\partial \psi_L}{\partial \vec{G}(t_k)} + \frac{\partial f_L}{\partial \dot{\vec{G}}} \right] = 0, \quad t_k = t_0, T; \quad (24)$$

$$\vec{X}(t_i) = \int_{t_0}^{t_i} \left\{ \mathbf{R}_x^*(t, t_i) \vec{Z}_Д(t) + \mathbf{P}_x^*(t, t_i) [\mathbf{B}_F(t) \vec{F}(t) + \mathbf{B}_x(t) \vec{G}(t)] \right\} dt,$$

где обозначено:

$$f_L = f_G + \vec{\psi}_2^* \vec{L} + [\mathbf{W}_x \mathbf{P}_x^*(t, T) \mathbf{B}_x \vec{G}]^* \vec{A},$$

$$\psi_L = \psi + \vec{\psi}_1^* \vec{L};$$

$\vec{L}, \vec{A}$ — постоянные множители Лагранжа.

В дальнейшем считаем все варьируемые параметры системы приведенными к кодированным значениям, а их множество $\{\vec{p}\}$ — к единичному V -мерному кубу $[0, 1]^V$. Соответственно все критерии качества считаем нормированными и приведенными к стандартному виду — при уменьшении любого критерия, но прочих неизменяемых, качество системы улучшается.

Напомним некоторые сведения из теории векторной (многокритериальной) оптимизации параметров технических систем.

Обозначим через $\{\vec{p}\}, \{\vec{p}_d\}, \{\vec{p}_{хд}\}$ и $\{\vec{p}_{нхд}\}$ множества варьируемых, допустимых, худших и нехудших параметров $\vec{p}$. Соответственно в пространстве критериев качества рассматриваем множества

$$\{\vec{k}_d\} \sim \{\vec{p}_d\}, \quad \{\vec{k}_{хд}\} \sim \{\vec{p}_{хд}\}, \quad \{\vec{k}_{нхд}\} \sim \{\vec{p}_{нхд}\}.$$

Лучшим решением $\vec{k}_{лд}$ по сравнению с любой «точкой» $\vec{k}_d$ является такое, что $\vec{k}_{лд} \leq \vec{k}_d$, где по крайней мере для одного из компонентов вектора качества имеет место строгое неравенство. Соответственно нехудшей точкой $\vec{k}_{нхд}$ считаем такую, по сравнению с которой в $\{\vec{k}_d\}$ нет лучшей точки. Множества $\{\vec{k}_{нхд}\}$ и $\{\alpha_{нхд}\}$ называют множествами Парето.

Доказано [3], что если $f(k_1, k_2, \dots, k_\mu)$ есть скалярная функция на R_+^μ , строго возрастающая по каждому аргументу, а $\vec{k}^* \in \{\vec{k}_d\}$ удовлетворяет условию $f\{\vec{k}^*\} = \inf(f(\vec{k}) : \vec{k} \in \{\vec{k}_d\})$, то $\vec{k}^* \in \{\vec{k}_{нхд}\}$ и, наоборот, если $\{\vec{k}_d\}$ замкнуто, а $\vec{k}^* \in \{\vec{k}_{нхд}\}$, то существует непрерывная и строго возрастающая функция $f(k_1, k_2, \dots, k_\mu)$, такая что $\vec{k}^* \in \{\vec{k}_d\}$ — единственное решение уравнения $f\{\vec{k}^*\} = \inf(f(\vec{k}) : \vec{k} \in \{\vec{k}_d\})$.

При решении задач о векторной оптимизации возможны три различных подхода.

1. Назначают план численных экспериментов $[\vec{p}_1 \dots \vec{p}_N]$, например по методике ЛПт [4], с последующим:

- нахождением оценок переменных состояния $\tilde{X}(t)$ и управлений $\vec{G}(t)$;
- вычислением векторов ограничений (23);
- отбором допустимых значений $\vec{p}_{jd}$ и вычислением соответствующих показателей качества $\vec{k}_{jd}$;
- исследованием полученного множества допустимых решений и выбором из них наилучшего в некотором смысле варианта системы. При этом точку $\vec{k}_{jd}$ считают приближенно паретовской для $\{\vec{k}_d\}$, если она является нехудшей для рассмотренного множества.

2. Назначают некоторое множество $K^j = f_j(k_1, \dots, k_\mu)$ скалярных показателей и находят методами нелинейного программирования нехудшие допу-

стимые решения $\vec{p}_{\text{нхд}}^{(j)}$, при которых $K^j \rightarrow \min$ при соблюдении всех ограничений задачи. Все полученные при этом точки $\vec{k}_{\text{нхд}}^j \sim \vec{p}_{\text{нхд}}^j$ будут определять нехудшие допустимые решения.

3. Весьма перспективным является изопериметрический вариационный метод решения «обратной» задачи — определение вектора $\vec{p}$ параметров системы при заданном векторе $\vec{K}$ показателей качества.

3. Коррекция математических моделей наблюдаемых систем

Детерминированные системы. Рассмотрим модель наблюдаемой системы

$$\dot{\vec{X}}(t) = \vec{\psi}(t, \vec{X}(t)) + \mathbf{B}_F \vec{F}(t) + \mathbf{B}_X \vec{G}(t), \quad (25)$$

$$\vec{G}(t) := \mathbf{\Gamma} [\vec{Z}_{\text{д}}(t) - \mathbf{C}\vec{X}(t)] . \quad (26)$$

Здесь вектор-функция $\vec{\psi}(t, \vec{X})$ задана с некоторым приближением; $\mathbf{\Gamma}$ — матрица, имитирующая обратные связи.

Сообщим системе начальное импульсное возмущение

$$\vec{F}_{\text{imp}}(t) := \vec{F}\delta(t, 0) \quad (27)$$

где $\delta(t, 0)$ — дельта-функция, и зарегистрируем действительные показания $\vec{Z}_{\text{imp}}(t)$ средств измерения, а также длительность T переходного процесса.

Определим квазиуправления $\vec{G}(t)$ из условия

$$\Phi = \int_0^T [\varphi_G(\vec{G}) + \varphi_X(\vec{Z}_{\text{imp}} - \mathbf{C}\vec{X})] dt \rightarrow \min, \quad (28)$$

где $\varphi_G(\vec{G})$ и $\varphi_X(\vec{Z}_{\text{imp}} - \mathbf{C}\vec{X})$ — заданные целевые функции.

Составляя интегрант Лагранжа

$$f_L = \varphi_G(\vec{G}) + \varphi_X(\vec{Z}_{\text{imp}} - \mathbf{C}\vec{X}) + \left[\dot{\vec{X}} - \vec{\psi}(t, \vec{X}) - \mathbf{B}_F \vec{F}\delta(t, 0) - \mathbf{B}_X \vec{G} \right]^* \vec{L}$$

и соответствующие уравнения Эйлера, определим оптимальные «управления» $\vec{G}_{\text{опт}}(t)$, при которых переменные состояния наилучшим образом соответствуют показаниям $\vec{Z}_{\text{imp}}(t)$ в смысле (28). Далее по методу наименьших квадратов

$$Sp \int_0^T [\vec{G}_{\text{опт}} - \mathbf{\Gamma}(\vec{Z}_{\text{imp}} - \mathbf{C}\vec{X})][\vec{G}_{\text{опт}} - \mathbf{\Gamma}(\vec{Z}_{\text{imp}} - \mathbf{C}\vec{X})]^* dt \rightarrow \min$$

вычислим матрицу $\mathbf{\Gamma}_{\text{опт}}$ обратных связей.

Уточненную модель системы получаем объединением выражений (25) и (26) при $\mathbf{\Gamma} := \mathbf{\Gamma}_{\text{опт}}$:

$$\dot{\vec{X}}(t) = \vec{\psi}_1(t, \vec{X}(t)) + \vec{F}_1(t), \quad (29)$$

где обозначено:

$$\vec{\psi}_1(t, \vec{X}(t)) = \vec{\psi}(t, \vec{X}) - \mathbf{B}_x \mathbf{\Gamma}_{\text{опт}} \mathbf{C} \vec{X}, \quad \vec{F}_1 = \mathbf{B}_F \vec{F} + \mathbf{B}_x \mathbf{\Gamma}_{\text{опт}} \vec{Z}_D. \quad (30)$$

Стохастические линейные системы. Для автономной системы (1), (2) при начальном возмущении типа (27) и показаниях средств измерения $\vec{Z}_{\text{imp}}(t)$ вектор «управлений» $\vec{G}(t)$ и соответствующую оптимальную матрицу «обратных связей» определяем по методике, изложенной в §§ 1.1 и 1.3. Уравнение уточненной модели составляем по образцу (29), (30):

$$\dot{\vec{X}} = \left[\mathbf{A}_x - \mathbf{B}_x \mathbf{\Gamma}_{\text{опт}} \mathbf{C} \vec{X} \right] \vec{X} + \mathbf{B}_F \left(\vec{F} + \vec{\xi}_F \right) + \mathbf{B}_x \mathbf{\Gamma}_{\text{опт}} \vec{Z}_D.$$

Заключение

При всем стремлении к обобщениям, авторы, естественно, не смогли изложить (даже в аннотированном виде) содержание десятков их статей, посвященных применению вариационного исчисления и других математических методов в задачах оптимального управления техническими системами, см. неполную библиографию в приведенном ниже перечне публикаций.

Основной целью авторов являлось доказательство целесообразности (необходимости) рассматривать задачи управления в комплексе с многокритериальной оптимизацией систем, что предусматривает применение методов нелинейного программирования.

Литература

1. Воронцов Г.В., Федий В.С. Оптимальные матрицы обратных связей в управляемых «наблюдаемых» системах // Новые технологии управления движением технических объектов: Материалы 3-й междунар. науч.-техн. конф / г. Новочеркасск, 21-24 ноября 2000 г. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – Т. 1. – С. 4-8.
2. Воронцов Г.В., Федий В.С. Оптимальные матрицы обратной связи в многомерных нестационарных системах, приводимых по Ляпунову // Изв. вузов. Электромеханика. – 1988. – № 4. – С. 68-71.
3. Воронцов Г.В., Федий В.С. Векторная оптимизация параметров наблюдаемых и управляемых стохастических систем // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 1999. – № 1. – С. 35-41.
4. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука. 1981. – 112 с.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132. ЮРГТУ(НПИ), каф. СМ, СипМ. Тел. 55-3-27
email: nauka@novoch.ru

УДК 519.688:531.39

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ СИСТЕМ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Бузало Г.А., Зарифьян О.П., Сорока М.В.

Компьютерное моделирование динамики систем тел предполагает авто-

матризованный вывод уравнений движения и их анализ, в большинстве случаев заключающийся в численном интегрировании нелинейных уравнений движения. Для систем с замкнутыми кинематическими цепями приходится решать обыкновенные дифференциальные уравнения, дополненные алгебраическими уравнениями связей, так называемые *дифференциально-алгебраические уравнения* (ДАУ). В некоторых случаях (например, при исследовании динамики железнодорожного экипажа) получаемая в конце концов модель содержит систему ДАУ с набором вспомогательных переменных, которые необходимо определять на каждом шаге численного интегрирования.

Лагранжева формулировка уравнений движения, описывающих динамику системы тел, имеет вид системы обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка относительно обобщенных координат $\underline{q}$. В отличие от систем с открытыми кинематическими цепями, в случае с замкнутыми кинематическими цепями координаты являются избыточными и удовлетворяют уравнениям связей.

$$\underline{M}(\underline{q}, t) \ddot{\underline{q}} + \underline{k}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}, t) = \underline{Q} + \underline{G}^T \underline{\lambda}. \quad (1)$$

$$\underline{g}(\underline{q}, t) = 0, \quad (2)$$

где $\underline{q}$ – матрица-столбец обобщенных лагранжевых координат; $\underline{M}$ – обобщенная матрица масс; $\underline{k}$ – матрица-столбец сил инерции; $\underline{Q}$ – матрица-столбец обобщенных сил (отличных от сил реакции, вызванных связями); $\underline{g}$ – матрица-столбец алгебраических уравнений связей; $\underline{\lambda}$ – матрица-столбец множители Лагранжа; $\underline{G} = \frac{\partial \underline{g}}{\partial \underline{q}^T} = \left\{ \frac{\partial g_i}{\partial q_j} \right\}$ – матрица Якоби уравнений связей.

Согласно [1] матрицы $\underline{M}$, $\underline{k}$ и $\underline{Q}$ находятся по формулам

$$\begin{aligned} \underline{M}(\underline{q}, t) &= \sum \underline{M}_i(\underline{q}, t) = \sum \left(m_i \underline{D}_i^{(0)T} \underline{D}_i^{(0)} + \underline{B}_i^{(i)T} \underline{I}_i^{(i)} \underline{B}_i^{(i)} \right), \\ \underline{k}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}, t) &= \sum \underline{k}_i(\underline{q}, \dot{\underline{q}}, t) = \sum \left(m_i \underline{D}_i^{(0)T} \underline{a}_i'^{(0)} + \underline{B}_i^{(i)} \left(\underline{I}_i^{(i)} \underline{\varepsilon}_i'^{(i)} + \underline{\tilde{\omega}}_i^{(i)} \underline{I}_i^{(i)} \underline{\omega}_i^{(i)} \right) \right), \\ \underline{Q} &= \sum \underline{Q}_i = \sum \underline{D}_i^{(0)} \underline{F}_i^{(0)} + \underline{B}_i^{(i)T} \underline{M}_i^{(i)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь m_i – масса i -го тела; $\underline{I}_i^{(i)}$ – тензор инерции в системе координат, связанной с телом; $\underline{F}_i^{(0)}$ – вектор внешних сил, действующих на тело; $\underline{M}_i^{(i)}$ – момент сил.

Матрицы $\underline{D}_i^{(0)}$, $\underline{B}_i^{(i)}$, $\underline{a}_i'^{(0)}$, $\underline{\varepsilon}_i'^{(i)}$, $\underline{\omega}_i^{(i)}$, $\underline{\tilde{\omega}}_i^{(i)}$ в (3) находятся из уравнений кинематики. Рассмотрим радиус-вектор центра масс и матрицу направляющих косинусов, определяющие положение системы координат, связанной с телом (S_i), относительно базовой системы координат (S_0), выраженные через обобщенные координаты $\underline{q}$ и время t :

$$\underline{r}^{(0)} = \underline{r}^{(0)}(\underline{q}, t), \quad \underline{A}^{0i} = \underline{A}^{0i}(\underline{q}, t) \quad (4)$$

Искомые кинематические характеристики можно придать следующую форму:

$$\begin{aligned}
\underline{v}^{(0)} &= \underline{D}^{(0)}(\underline{q}, t) \dot{\underline{q}} + \underline{v}'^{(0)}(\underline{q}, t), \\
\underline{\omega}^{(0)} &= \underline{B}^{(0)}(\underline{q}, t) \dot{\underline{q}} + \underline{w}'^{(0)}(\underline{q}, t), \\
\underline{a}^{(0)} &= \underline{D}^{(0)}(\underline{q}, t) \ddot{\underline{q}} + \underline{a}'^{(0)}(\dot{\underline{q}}, \underline{q}, t), \\
\underline{\varepsilon}^{(0)} &= \underline{B}^{(0)}(\underline{q}, t) \ddot{\underline{q}} + \underline{\varepsilon}'^{(0)}(\dot{\underline{q}}, \underline{q}, t).
\end{aligned} \tag{5}$$

Здесь $\underline{v}^{(0)}, \underline{\omega}^{(0)}, \underline{a}^{(0)}, \underline{\varepsilon}^{(0)}$ – линейные и угловые скорости и ускорения, определяющие движение колесной пары.

Из определения скорости с учетом правила вычисления производной сложной функции получаем выражения для $\underline{D}^{(0)}$ и $\underline{v}'^{(0)}$.

$$\underline{v}^{(0)} = \dot{\underline{r}}^{(0)}(\underline{q}, t) = \sum_m \frac{\partial \underline{r}^{(0)}}{\partial q_m} \dot{q}_m + \frac{\partial \underline{r}^{(0)}}{\partial t} = \sum_m d_m^{(0)} \dot{q}_m + \underline{v}'^{(0)}.$$

Индекс m означает номер отдельной координаты. Таким образом

$$\underline{D}^{(0)} = \left\{ \underline{d}_i^{(0)} \right\} = \left\{ \frac{\partial \underline{r}^{(0)}}{\partial q_i} \right\} - \text{матрица Якоби.}$$

Кососимметрическая матрица угловой скорости имеет вид

$$\tilde{\underline{\omega}}^{(0)} = \dot{\underline{A}}^{0i} \underline{A}^{i0} = \sum_m \frac{\partial \underline{A}^{0i}}{\partial q_m} \underline{A}^{i0} \dot{q}_m + \frac{\partial \underline{A}^{0i}}{\partial t} \underline{A}^{i0}.$$

Также кососимметрическими являются матрицы

$$\tilde{\underline{b}}_m^{(0)} = \frac{\partial \underline{A}^{0i}}{\partial q_m} \underline{A}^{i0}, \quad \tilde{\underline{\omega}}'^{(0)} = \frac{\partial \underline{A}^{0i}}{\partial t} \underline{A}^{i0}.$$

Поставим им в соответствие векторы $\underline{b}_i^{(0)}, \underline{\omega}'^{(0)}$ по следующему правилу (на примере матрицы $\tilde{\underline{\omega}}'^{(0)}$):

$$\tilde{\underline{\omega}}'^{(0)} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z'^{(0)} & \omega_y'^{(0)} \\ \omega_z'^{(0)} & 0 & -\omega_x'^{(0)} \\ -\omega_y'^{(0)} & \omega_x'^{(0)} & 0 \end{bmatrix} \Leftrightarrow \underline{\omega}'^{(0)} = \begin{bmatrix} \omega_x'^{(0)} \\ \omega_y'^{(0)} \\ \omega_z'^{(0)} \end{bmatrix}.$$

Переходя от кососимметрических матриц к векторам, получим

$$\underline{\omega}^{(0)} = \sum_m \underline{b}_m^{(0)} \dot{q}_m + \underline{\omega}'^{(0)},$$

а после введения матрицы $\underline{B}^{(0)} = \left\{ \underline{b}_i^{(0)} \right\}$, по столбцам которой расположены векторы $\underline{b}_i^{(0)}$, получим вторую формулу системы (5).

Выражения для ускорения $\underline{a}^{(0)}$ получим, вычисляя производную по времени от скорости.

$$\underline{a}^{(0)} = \dot{\underline{v}}^{(0)} = \dot{\underline{D}}^{(0)}(\underline{q}, t) \dot{\underline{q}} + \underline{D}^{(0)}(\underline{q}, t) \ddot{\underline{q}} + \dot{\underline{v}}'^{(0)}(\underline{q}, t).$$

Отсюда, с учетом обозначения $\underline{a}'^{(0)}(\dot{\underline{q}}, \underline{q}, t) = \dot{\underline{D}}^{(0)}(\underline{q}, t) \dot{\underline{q}} + \dot{\underline{v}}'^{(0)}(\underline{q}, t)$, полу-

чим искомую зависимость.

Аналогично для углового ускорения имеем формулу

$$\underline{\varepsilon}^{(0)} = \underline{\dot{\omega}}^{(0)} = \underline{\dot{B}}^{(0)}(\underline{q}, t) \underline{\dot{q}} + \underline{B}^{(0)}(\underline{q}, t) \underline{\ddot{q}} + \underline{\dot{\omega}}'^{(0)}(\underline{q}, t),$$

в которой обозначим $\underline{\varepsilon}'^{(0)}(\underline{\dot{q}}, \underline{q}, t) = \underline{\dot{B}}^{(0)}(\underline{q}, t) \underline{\dot{q}} + \underline{\dot{\omega}}'^{(0)}(\underline{q}, t)$.

Векторы $\underline{v}'^{(0)}$, $\underline{\omega}'^{(0)}$ отличны от нуля только в том случае, если соотношения (4), определяющие положение тела, содержат время t в явном виде.

Для окончательного получения всех выражений из (3) осталось перевести матрицы $\underline{B}^{(0)}$, $\underline{\varepsilon}'^{(0)}$, $\underline{\omega}^{(0)}$, $\underline{\tilde{\omega}}^{(0)}$ в системы координат (Si). Для кососимметрической матрицы угловой скорости $\underline{\tilde{\omega}}^{(0)}$ преобразование производится по тензорному закону

$$\underline{\tilde{\omega}}^{(i)} = \underline{A}^{i0} \underline{\tilde{\omega}}^{(0)} \underline{A}^{0i}.$$

Остальные выражения преобразуются по векторному закону преобразования координат.

Перейдем к нахождению уравнений связей $\underline{g}(\underline{q}, t) = 0$. В общем случае они являются объединением в одно матричном уравнении локальных уравнений связей, построенных для каждого из разрезанных шарниров.

Ограничимся случаем голономных связей. Также заметим, что на самом деле в уравнения связи $\underline{g}$ часто входят не только лагранжевы координаты $\underline{q}$, но и вспомогательные переменные $\underline{g}_C$ [2]:

$$\underline{g} = \underline{g}(\underline{q}, \underline{q}_C),$$

$$\underline{G} = \underline{G}(\underline{q}, \underline{q}_C).$$

Столбец обобщенных сил $\underline{Q}$ иногда содержит усилия в контактах

$$\underline{Q} = \underline{Q}(\underline{q}, \underline{q}_C).$$

Следовательно, уравнения движения представляют собой систему дифференциально-алгебраических уравнений, содержащую вспомогательные переменные, подлежащие определению на каждом шаге интегрирования по времени.

$$\underline{M}(\underline{q}) \underline{\ddot{q}} + \underline{k}(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) = \underline{Q}(\underline{q}, \underline{q}_C) + \underline{G}(\underline{q}, \underline{q}_C)^T \underline{\lambda}, \quad (6)$$

$$\underline{g}(\underline{q}, \underline{q}_C) = 0. \quad (7)$$

Вспомогательные переменные находятся из системы нелинейных алгебраических уравнений

$$\underline{g}_C(\underline{q}, \underline{q}_C) = 0. \quad (8)$$

Существует два принципиально различных подхода к выводу уравнений. Первый можно назвать *численным*, когда элементы уравнений движения выводятся в численной форме на каждом шаге интегрирования. Второй подход, *символьный*, предусматривает вывод соотношений динамики в *полной символьной форме* в виде подпрограммы и дальнейшую их компиляцию в исполняемый код. Следует отметить, что на современном высоком уровне развития программного и аппаратного обеспечения вывод уравнений движения в символь-

ной форме имеет неоспоримые преимущества.

Кроме уравнений (7), при исследовании ДАУ системы тел необходимы первая и вторая производные по времени от этих уравнений [3]. Вспомогательные переменные $\underline{q}_C$ зависят от обобщенных координат системы, поэтому их необходимо рассматривать как функции лагранжевых координат $\underline{q}$, неявно заданные системой уравнений (8). Это обстоятельство делает процедуру дифференцирования уравнений связи нетривиальной.

В некоторых случаях удастся полностью или почти полностью исключить вспомогательные переменные из уравнений связей. Эти приемы широко используются при моделировании [2].

Здесь мы рассмотрим наиболее общий подход, позволяющий найти производные от уравнений связей.

Дифференцируя (7) один раз по времени, получим

$$\left(\frac{\partial g}{\partial \underline{q}} + \frac{\partial g}{\partial \underline{q}_C} \frac{\partial \underline{q}_C}{\partial \underline{q}} \right) \dot{\underline{q}} = 0.$$

Обозначим

$$\begin{aligned} \underline{D}_q^g &= \frac{\partial g}{\partial \underline{q}} = \left\{ \frac{\partial g_i}{\partial q_j} \right\}, & \underline{D}_{q_C}^g &= \frac{\partial g}{\partial \underline{q}_C} = \left\{ \frac{\partial g_i}{\partial q_{Cj}} \right\}, \\ \underline{D}_q^{q_C} &= \frac{\partial \underline{q}_C}{\partial \underline{q}} = \left\{ \frac{\partial q_{Ci}}{\partial q_j} \right\}. \end{aligned}$$

Для нахождения матрицы $\underline{D}_q^{q_C}$ воспользуемся известной формулой производной от неявной функции многих переменных:

$$\frac{\partial \underline{q}_C}{\partial q_i} = - \left(\frac{\partial g_C}{\partial \underline{q}_C} \right)^{-1} \frac{\partial g_C}{\partial q_i}, \quad i = 1, 2, \dots$$

или, в объединенной матричной записи

$$\underline{D}_q^{q_C} = - \left(\underline{D}_{q_C}^{g_C} \right)^{-1} \underline{D}_q^{g_C}. \quad (9)$$

Матрица $\underline{D}_{q_C}^{g_C} = \frac{\partial g_C}{\partial \underline{q}_C}$ невырождена в силу независимости вспомогательных уравнений связей.

В итоге с учетом принятых обозначений полная матрица Якоби уравнений связей имеет вид:

$$\underline{G}(\underline{q}, \underline{q}_C) = \underline{D}_q^g + \underline{D}_{q_C}^g \underline{D}_q^{q_C}, \quad (10)$$

а для первой производной от уравнений связей получаем классическую запись

$$\underline{G}(\underline{q}, \underline{q}_C) \dot{\underline{q}} = 0. \quad (11)$$

Для нахождения второй производной от уравнений связей продифференцируем выражение (11) по времени:

$$\underline{G}(\underline{q}, \underline{q}_C) \ddot{\underline{q}} + \underline{g}''(\underline{q}, \dot{\underline{q}}, \underline{q}_C) = 0. \quad (12)$$

Здесь $\underline{g}''(\underline{q}, \dot{\underline{q}}, \underline{q}_C) = \left(\underline{G}(\underline{q}, \underline{q}_C) \right)' \dot{\underline{q}}$.

Вводя очевидные матричные обозначения, запишем формулу для производной от матрицы Якоби

$$\begin{aligned} (\underline{G}(\underline{q}, \underline{q}_C))' &= \left[\left(\underline{D2}_{qq}^g + \underline{D2}_{qqC}^g \underline{D}_q^{qC} \right) \dot{\underline{q}} \right]^T + \\ &\left[\left(\underline{D2}_{qCq}^g + \underline{D2}_{qCqC}^g \underline{D}_q^{qC} \right) \dot{\underline{q}} \right]^T \underline{D}_q^{qC} + \underline{D}_q^g \underline{D2}_{qq}^{qC} \dot{\underline{q}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Запись $\underline{D2}_{qq}^{qC} = \partial^2 q_C / \partial \underline{q}^2$ обозначает трехмерный массив, содержащий вторые производные от вспомогательных переменных по обобщенным координатам.

Введем трехмерные массивы для вторых производных от вектор-функций многих переменных

$$\begin{aligned} \underline{D2}_{qq}^{gC} &= \partial^2 g_C / \partial \underline{q}^2, \quad \underline{D2}_{qqC}^{gC} = \partial^2 g_C / \partial \underline{q} \partial \underline{q}_C, \\ \underline{D2}_{qCq}^{gC} &= \partial^2 g_C / \partial \underline{q}_C \partial \underline{q}, \quad \underline{D2}_{qCqC}^{gC} = \partial^2 g_C / \partial \underline{q}_C \partial \underline{q}_C. \end{aligned}$$

Для вторых производных $\underline{D2}_{qq}^{qC}$ после повторного дифференцирования (8) имеем:

$$\underline{D2}_{qi qj}^{gC} + \underline{D2}_{qi qC}^{gC} \underline{D}_{qj}^{qC} + \underline{D}_{qC}^{gC} \underline{D2}_{qi qj}^{qC} + \left(\underline{D2}_{qC qj}^{gC} + \underline{D2}_{qC qC}^{gC} \underline{D}_{qj}^{qC} \right) \underline{D}_{qi}^{qC} = 0.$$

Отсюда

$$\underline{D2}_{qi qj}^{qC} = - \left(\underline{D}_{qC}^{gC} \right)^{-1} \left[\underline{D2}_{qi qC}^{gC} + \underline{D2}_{qi qC}^{gC} \underline{D}_{qj}^{qC} + \left(\underline{D2}_{qC qj}^{gC} + \underline{D2}_{qC qC}^{gC} \underline{D}_{qj}^{qC} \right) \underline{D}_{qi}^{qC} \right]. \quad (14)$$

Расшифруем индексы i, j в (14). Например, $\underline{D2}_{qi qj}^{qC}$ обозначает вектор-столбец, образованный на пересечении плоскостей i и j трехмерного массива $\underline{D2}_{qq}^{qC} = \{d_{k,i,j}\}$, а $\underline{D2}_{qi qC}^{gC}$ – матрица, полученная сечением массива $\underline{D2}_{qq}^{qC}$ плоскостью i .

Итак, все выражения, входящие в формулу (12), найдены. Процедура дифференцирования уравнений связей окончена.

Следует отметить, что нахождение значений производных в аналитическом виде вряд ли возможно, даже если вспомогательные переменные удастся разрешить относительно лагранжевых координат. Вычисления по формулам придется выполнять численно. При расчетах следует учитывать, что значения смешанных вторых производных не зависят от последовательности дифференцирования. При этом удастся значительно сократить количество операций и объем оперативной памяти ЭВМ, требуемые для решения. Предложенный алгоритм является наиболее универсальным и пригоден для любых независимых уравнений связей. С небольшими изменениями он может быть обобщен для случая нестационарных связей.

Для уменьшения времени расчетов можно предложить следующий подход. На первом этапе вычисляются слагаемые, обусловленные учетом вспомо-

гательных переменных при дифференцировании (выражения с индексом “с”). С их помощью находятся полные значения производных. В дальнейшем, если при движении системы изменение этих слагаемых незначительно, их пересчет не осуществляется.

Наиболее простым, но и наименее точным является прием “замораживания” производных от вспомогательных координат. При этом вспомогательные переменные считаются независимыми от времени, а дифференцирование производится только по лагранжевым координатам.

Очевидно, что ручной вывод уравнений является очень сложной задачей. При практической реализации для синтеза уравнений движения используются системы компьютерной алгебры. Система выполняет все необходимые операции, в том числе дифференцирование, упрощение выражений, замену переменных, подстановку, матричные операции. Результатом работы является оптимизированный код на языке программирования высокого уровня, готовый для численного интегрирования.

Литература

1. Погорелов Д.Ю. Введение в моделирование динамики систем тел: Учеб. пособие. – Брянск: БГТУ, 1997.
2. Fiset P., Samin J.C. A new wheel/rail contact model for independent wheels // Archive of applied mechanics. – 1994. – V. 828. – № 64. – P. 180-191.
3. Ascher U., Chin H., Petzold L., Reich S. Stabilization of constrained mechanical systems with DAEs and invariant manifolds // J. Mechanics of Structures and Machines. – 1995. – № 23. – P. 135-158.

УДК 519.688:531.39

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Бузало Г.А., Зарифьян О.П., Сорока М.В.

Во многих задачах динамики систем тел приходится решать обыкновенные дифференциальные уравнения, дополненные алгебраическими уравнениями связей, так называемые *дифференциально-алгебраические уравнения* (ДАУ). Для рассмотрения вопроса о решении полученной системы ДАУ запишем ее в следующем виде:

$$\underline{M}\ddot{\underline{q}} = \underline{f} + \underline{G}^T \underline{\lambda}, \quad (15)$$

$$\underline{g}(\underline{q}) = 0. \quad (16)$$

В дальнейшем при решении предполагаем, что матрица масс симметрична, а матрица Якоби имеет полный ранг по строкам для всех $\underline{q}(t)$. Кроме того, предположим, что связи стационарны, то есть не зависят явно от времени. Рассмотрим в начале схему решения без учета зависимости выражений, входящих в уравнения движения, от вспомогательных переменных.

При численном решении дифференциально-алгебраических уравнений

движения кроме самих уравнений связей требуются также производные по времени от них. Дифференцируя дважды по времени уравнение (16), получим дифференциальные уравнения связей:

$$\underline{G}(\underline{q})\dot{\underline{q}} = 0, \quad (17)$$

$$\underline{G}(\underline{q})\ddot{\underline{q}} + \underline{g}''(\underline{q}, \dot{\underline{q}}) = 0, \quad (18)$$

где $\underline{G}$ – матрица Якоби,

$$\underline{g}'' = \dot{\underline{G}}\dot{\underline{q}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \underline{G}}{\partial q_i} \dot{q}_i \right) \dot{\underline{q}}.$$

Основной характеристикой ДАУ является их *индекс*. Согласно формулировке, приведенной в [1], индексом является минимальное число раз, которое следует продифференцировать по времени уравнения, чтобы перейти к чисто дифференциальным уравнениям. Чем выше индекс ДАУ, тем большие проблемы несет с собой их численное решение. Уравнения системы (15) – (16) имеют индекс 3. Действительно, после двукратного дифференцирования уравнений связей получим дифференциальные уравнения связей (18), линейные относительно вторых производных от координат. Уравнения движения (15), (18) все еще являются ДАУ, поскольку неизвестные множители Лагранжа входят в них в алгебраической форме. Полученные уравнения являются линейными относительно $\underline{q}$ и множителей Лагранжа, их можно разрешить относительно данных неизвестных. Если после этого продифференцировать выражения для множителей Лагранжа, то получится система обыкновенных дифференциальных уравнений. Таким образом, потребовалось трехкратное дифференцирование, и индекс ДАУ равен трем. После каждого дифференцирования индекс ДАУ понижается на единицу. Так, ДАУ (15), (17) имеет индекс 2, а система (15), (18) – индекс 1.

В [2] дано более простое определение: *индекс* – это один плюс число операций дифференцирования уравнений связи, которые необходимы для исключения множителей Лагранжа $\underline{\lambda}$. Очевидно, что эти два определения эквивалентны. В нашем случае с помощью второго дифференциального уравнения связей (18), полученного после двукратного дифференцирования, возможно исключение множителей Лагранжа. Следовательно, ДАУ имеет индекс $1+2=3$.

Прямая конечно-разностная дискретизация ДАУ индекса 3 на практике приводит к трудностям, связанной с классической плохой обусловленностью ДАУ с большим индексом [2].

Часто используемым методом является сведение системы ДАУ к системе обыкновенных дифференциальных уравнений.

Стандартные процедуры решения обыкновенных дифференциальных уравнений предполагают, что уравнения приводятся к задаче Коши для уравнения первого порядка вида

$$\dot{\underline{x}} = \underline{f}(\underline{x}, t) \quad (19)$$

и требуют на каждом шаге (этапе) интегрирования вычисления правых частей уравнений по известным значениям переменных.

Уравнения движения индекса 1 могут быть записаны в виде линейного

матричного уравнения относительно неизвестных $\ddot{\underline{q}}$, $\underline{\lambda}$:

$$\begin{bmatrix} \underline{M} & \underline{G}^T \\ \underline{G} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\underline{q}} \\ -\underline{\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{f} \\ -\underline{g}'' \end{bmatrix} \quad (20)$$

Разрешив эту систему относительно неизвестных, получим их зависимости от $\dot{\underline{q}}$, $\underline{q}$, t :

$$\begin{aligned} \ddot{\underline{q}} &= \underline{F}_q(\dot{\underline{q}}, \underline{q}, t), \\ \underline{\lambda} &= \underline{F}_\lambda(\dot{\underline{q}}, \underline{q}, t). \end{aligned} \quad (21)$$

Как следует из первого уравнения системы (21), мы получили систему второго порядка, которая легко приводится к уравнению первого порядка вида (19)

$$\dot{\underline{x}} = \begin{bmatrix} \dot{\underline{q}} \\ \dot{\underline{v}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{v} \\ \underline{F}_q(\underline{v}, \underline{q}, t) \end{bmatrix} = \underline{f}(\underline{x}, t), \quad (22)$$

которое можно интегрировать любым стандартным методом.

Необходимо заметить, что система с пониженным индексом (22) требует больше начальных условий, чем исходная система, для нахождения единственного решения. Мы, тем не менее, полагаем, что совместные начальные условия для обобщенных координат и скоростей известны.

Таким образом, для вычисления правых частей системы дифференциальных уравнений приходится решать систему линейных алгебраических уравнений (20) с симметричной матрицей. Поскольку для механических систем с большим числом степеней свободы и уравнений связей решение системы может быть весьма трудоемкой процедурой в силу большой размерности матрицы, применение этого метода нецелесообразно из-за огромного времени счета при решении реальных задач.

Кроме того, существует два серьезных недостатка численного интегрирования уравнения (22). Наиболее явным недостатком является то, что уравнения связи для координат и скоростей (16) и (17) больше точно не выполняются – существует так называемый *дрифт (снос)* при выполнении уравнений связи. Более того, величина дрифта также как и погрешность вычисления обобщенных координат и скоростей растет со временем t квадратично [2]. Это вызвано недостатками используемого метода интегрирования, а неустойчивостью данной системы.

Исследователями разработаны различные методы стабилизации (понижения индекса “устойчивым способом”) [1, 2], однако на практике часто остается неясным выбор параметров (например, для метода Баумгарта), делающих метод устойчивым. Кроме того, дополнительные члены, появляющиеся при реализации этих методов, значительно затрудняют дальнейшее численное решение изначально сложных систем.

Многошаговые численные методы интегрирования дифференциальных уравнений давно и с большим успехом используются для численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений. В последние два десятилетия особенно широкое распространение получили методы Адамса. Современный подход к интегрированию уравнений движения предполагает возможность из-

менения шага интегрирования с целью поддержания заданной точности численного решения и изменения порядка интегрирования для повышения эффективности процедуры решения (если правые части уравнений достаточно гладкие, то повышение порядка позволяет увеличить шаг интегрирования). Как раз этим условиям удовлетворяют многошаговые методы, в отличие от одношаговых (например, Рунге-Кутты).

Использование многошаговых методов для решения дифференциально-алгебраических уравнений было предложено Гиром [3] на базе метода BDF (конечно-разностная формула вычисления производной "назад"). В отличие от методов Адамса, которые используются до очень высоких порядков (обычно до 11-го), метод BDF устойчив лишь до шестого порядка, однако реальное его применение ограничивается, как правило, до пятого порядка включительно. Распространение схемы, предложенной Гиром, для решения ДАУ с помощью методов Адамса натолкнулось на неустойчивость. Однако существует схема, позволяющая стабилизировать решение ДАУ методом Адамса.

В дальнейшем для решения ДАУ будем рассматривать метод *Адамса-Бэшифорта-Моултона (ABM)*, который имеет более высокую точность по сравнению с методом BDF.

Рассмотрим, каким образом можно использовать многошаговые методы в форме прогноза-коррекции для решения ДАУ механической системы.

Уравнения движения имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \underline{M} \ddot{\underline{q}} &= \underline{f} + \underline{G}^T \underline{\lambda}, \\ \underline{g}(\underline{q}) &= 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Обозначим через $\underline{q}_i, \underline{v}_i, \underline{a}_i, \underline{\lambda}_i, i = 1, 2, \dots$ приближенные значения переменных в моменты времени t_i , а через $\underline{q}_i(t_i), \underline{\dot{q}}_i(t_i), \underline{\ddot{q}}_i(t_i), \underline{\lambda}_i(t_i)$ – их точные значения. В момент времени $t_0 = 0$ начальные значения $\underline{q}(0) = \underline{q}_0, \underline{v}(0) = \underline{v}_0$ считаются заданными и удовлетворяют уравнениям связей

$$\underline{g}(\underline{q}_0) = 0, \underline{G}\underline{v}_0 = 0.$$

Пусть выполнены $i-1$ шагов интегрирования ДАУ (23), то есть значения $\underline{q}_{i-1}, \underline{v}_{i-1}, \underline{a}_{i-1}, \underline{\lambda}_{i-1}$ в момент времени t_{i-1} , а также во все предшествующие моменты времени являются известными и достаточно точно удовлетворяющими уравнениям связей.

Прогноз. Поставим задачу вычисления значений переменных $\underline{q}_i, \underline{v}_i, \underline{a}_i, \underline{\lambda}_i$ при $t_i = t_{i-1} + h_i$, где h_i – i -й шаг интегрирования (можно считать его постоянным). С использованием k известных значений

$$\underline{q}_{i-j}, \underline{v}_{i-j}, \underline{a}_{i-j}, j = \overline{1, k}.$$

можно построить “прогнозируемые” значения переменных $\underline{q}_i^p, \underline{v}_i^p$. Для метода Адамса величина $\underline{q}_i^p$ вычисляется по $\underline{q}_{i-1}$ и $\underline{v}_{i-j}$, а $\underline{v}_i^p$ – по $\underline{v}_{i-1}$ и $\underline{a}_{i-j}$. Наилучшие результаты по точности достигаются, если прогноз имеет ошибку того же порядка, что и ошибка метода на одном шаге.

Коррекция. Введем корректирующие поправки $\delta \underline{q}_i$, $\delta \underline{v}_i$ по формулам

$$\underline{q}_i = \underline{q}_i^p + \delta \underline{q}_i, \quad \underline{v}_i = \underline{v}_i^p + \delta \underline{v}_i. \quad (24)$$

Необходимо определить корректирующие поправки. В соответствии с принципом построения поправки являются малыми и имеют порядок погрешности аппроксимации.

На этапе коррекции используются конечно-разностные формулы вида

$$\begin{aligned} \underline{q}_i &= \underline{u}_{q,i} + \alpha_i \underline{v}_i, \\ \underline{v}_i &= \underline{u}_{v,i} + \alpha_i \underline{a}_i, \end{aligned} \quad (25)$$

где $\underline{u}_{q,i}$, $\underline{u}_{v,i}$ и α_i – выражения, конкретный вид которых зависит от метода, используемого на данном шаге. Если из первой формулы в (25) исключить $\underline{v}_i$ с помощью второго выражения и воспользоваться первой формулой в (24), то получим зависимость

$$\delta \underline{q}_i = \underline{\rho}_i + \alpha_i^2 \underline{a}_i, \quad (26)$$

где $\underline{\rho}_i = -\underline{q}_i^p + \underline{u}_{q,i} + \alpha_i \underline{u}_{v,i}$.

Теперь уравнение движения (23) умножим на α_i^2 и заменим $\alpha_i^2 \ddot{\underline{q}}_i(t_i)$ приближенным значением

$$\alpha_i^2 \underline{a}_i = \delta \underline{q}_i - \underline{\rho}_i.$$

Матрицы в (23) вычислим при прогнозируемых значениях переменных. В результате получим следующее уравнение:

$$\underline{M}_i^p \delta \underline{q}_i - \alpha_i^2 \underline{G}_i^{pT} \underline{\lambda}_i = \underline{M}_i^p \underline{\rho}_i + \alpha_i^2 \underline{f}_i^p. \quad (27)$$

Если подставить в уравнение связей приближенное значение координат и воспользоваться первой формулой (24), то получим нелинейное уравнение относительно $\delta \underline{q}_i$:

$$\underline{g}(\underline{q}_i^p + \delta \underline{q}_i) = 0.$$

Разложим уравнение в ряд Тейлора, выделив члены нулевого и первого порядков по $\delta \underline{q}_i$:

$$\underline{G}_i^p \delta \underline{q}_i = -\underline{g}(\underline{q}_i^p) + O\left(\|\delta \underline{q}_i\|^2\right).$$

Таким образом, уравнение связи можно с очень высокой точностью линеаризовать

$$\underline{G}_i^p \delta \underline{q}_i = -\underline{g}(\underline{q}_i^p), \quad (28)$$

так как величина $\|\delta \underline{q}_i\|^2$ имеет квадратичный порядок малости по сравнению с погрешностью аппроксимации.

В результате для определения корректирующей поправки $\delta \underline{q}_i$ имеем систему линейных алгебраических уравнений

$$\begin{pmatrix} \underline{M}_i^p & \underline{G}_i^{pT} \\ \underline{G}_i^p & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \underline{q}_i \\ -\alpha_i^2 \underline{\lambda}_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{M}_i^p \underline{\rho}_i + \alpha_i^2 \underline{f}_i^p \\ -\underline{g}_i^p \end{pmatrix}. \quad (29)$$

По той же схеме получаем систему линейных алгебраических уравнений для определения корректирующей поправки $\delta \underline{v}_i$:

$$\begin{pmatrix} \underline{M}_i^p & \underline{G}_i^{pT} \\ \underline{G}_i^p & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \underline{v}_i \\ -\alpha_i \underline{\lambda}_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{M}_i^p (\underline{u}_{v,i} - \underline{v}_i^p) + \alpha_i \underline{f}_i^p \\ -\underline{G}_i^p \underline{v}_i^p \end{pmatrix}. \quad (30)$$

Системы (29) и (30) имеют одинаковые матрицы (причем симметричные) в левых частях, что повышает быстродействие метода.

Для методов прогноза-коррекции, использующих в конечно-разностной схеме величины ускорений $\underline{a}_{i-j}$, рассмотренный метод является неустойчивым, так как ускорения приходится находить из формулы

$$\underline{a}_i = (\underline{v}_i - \underline{u}_{v,i}) / \alpha_i,$$

где α_i пропорционален шагу интегрирования, то есть мал. Для стабилизации следует добавить еще один этап в алгоритм. Предложенный выше метод решения имеет форму *PEC* (prediction-evaluation-correction, то есть прогноз-вычисление-коррекция). На первом этапе производится построение прогнозируемых значений переменных, на втором – вычисление элементов матриц уравнений движения при прогнозируемых значениях переменных, на заключительном – нахождение корректирующих поправок и уточнение переменных. Для стабилизации приходится заменить форму *PEC* на *PECE*, то есть добавляется еще один этап вычисления, на котором следует более точно вычислить значения ускорений. На этом этапе ускорения определяются из уравнений (15) и (18):

$$\underline{M}_i^c \underline{a}_i = \underline{f}_i^c + \underline{G}_i^{cT} \underline{\lambda}_i,$$

$$\underline{G}_i^c \underline{a}_i + \underline{g}_i^{''c} = 0,$$

элементы матриц которых вычисляются уже при скорректированных значениях координат и скоростей.

При практической реализации метода *ABM* для решения дифференциально-алгебраических уравнений механических систем с замкнутыми цепями необходимо получить конкретные формулы для вычисления прогнозируемых величин $\underline{q}_i^p$ и $\underline{v}_i^p$, а также конечно-разностные формулы для корректирующих значений

$$\underline{q}_i = \underline{u}_{q,i} + \alpha_i \underline{v}_i, \quad (31)$$

$$\underline{v}_i = \underline{u}_{v,i} + \alpha_i \underline{a}_i.$$

Метод Адамса использует интерполяционный полином для построения прогноза и корректирующего выражения. Расчетные формулы, основанные на интерполяционных полиномах Лагранжа (удобны при использовании постоянного шага интегрирования) или Ньютона (при переменном шаге), приводятся в литературе по решению обыкновенных дифференциальных уравнений, напри-

мер в [4]. Для вычисления прогнозируемых величин используются конечно-разностные формулы Адамса-Бэшфорта, корректирующие формулы строятся на основе формул Адамса-Моултона.

Справедлива теорема о сходимости приближенного решения к точному при интегрировании ДАУ с постоянным достаточно малым шагом. Введем обозначения для глобальных погрешностей интегрирования, то есть для отклонений приближенных значений переменных от точных:

$$\underline{e}_i^q = \underline{q}(t_i) - \underline{q}_i, \underline{e}_i^v = \underline{v}(t_i) - \underline{v}_i, \underline{e}_i^\lambda = \underline{\lambda}(t_i) - \underline{\lambda}_i.$$

Кроме того, используя разложение векторов на нормальную и тангенциальную составляющие, представим ошибку $\underline{e}_i^q$ в виде

$$\underline{e}_i^q = \underline{e}_{in}^q + \underline{e}_{it}^q,$$

где нормальная составляющая $\underline{e}_{in}^q$ показывает, насколько вычисленные значения координат отклоняются от поверхности, по которой происходит движение с учетом связей. В [2] приведена следующая теорема:

Теорема. Если матрицы, входящие в уравнения движения (23), имеют ограниченные производные, при движении не происходит вырождения матрицы $\underline{M}$ и изменения ранга матрицы Якоби $\underline{G}$, а начальные условия таковы, что

$$\underline{e}_{it}^q, \underline{e}_i^v = O(h^{k+2}), \underline{e}_{in}^q = O(h^{2k+2}), i = \overline{0, k},$$

то описанный *PECE*-схема решения ДАУ с использованием метода *ABM* сходится при $h \rightarrow 0$, причем глобальные погрешности на интервале времени интегрирования порядка $1/h$ удовлетворяют оценкам

$$\underline{e}_{it}^q, \underline{e}_i^v, \underline{e}_i^\lambda = O(h^{k+1}), \underline{e}_{in}^q = O(h^{2k+1}), i = k+1, k+2, \dots$$

Из теоремы следует, что k -шаговый метод *ABM* имеет $k+1$ порядок точности.

Рассмотренный выше алгоритм решения ДАУ подразумевал, что известны начальные условия, то есть значения лагранжевых координат $\underline{q}$ и скоростей $\underline{v}$ в момент времени t_0 . Для систем с замкнутыми кинематическими цепями следует предусмотреть процедуру определения начальных условий. Эта задача является нетривиальной, поскольку начальные условия могут быть заранее неизвестны и должны удовлетворять равенствам

$$\underline{g}(\underline{q}_0) = 0, \underline{G}(\underline{q}_0)\underline{v}_0 = 0. \quad (32)$$

Очевидно, что для ДАУ с n лагранжевыми координатами и m уравнениями связи $n - m$ переменных будут свободными, m – зависимыми.

Начальные условия для координат и скоростей свободных переменных задаются непосредственно исследователем. Рассмотрим первое выражение в (32). Оно представляет собой систему из m нелинейных алгебраических уравнений относительно неизвестных m значений зависимых координат. Решение этой системы удобно проводить итерационным методом Ньютона до достижения необходимой точности. Важным является правильный выбор начального приближения, так как система нелинейных уравнений в общем случае может иметь несколько решений.

Введем множество Q_I так, чтобы в него входили номера независимых переменных.

Для определения скоростей зависимых координат перепишем второе уравнение (32) в следующем виде

$$\underline{G}^D \underline{v}_0^D = \underline{b}^D \quad (33)$$

где $\underline{G}^D$ – матрица $m \times m$, полученная путем исключения из матрицы Якоби $\underline{G}$ столбцов с номерами из Q_I ; $\underline{v}_0^D$ – вектор неизвестных скоростей зависимых координат; $\underline{b}^D = \{b_i^D\}$, $b_i^D = - \sum_{j \in Q_I} G_{ij} v_{0j}$, $i = \overline{1, m}$.

Выражение (33) является системой линейных алгебраических уравнений с невырожденной матрицей, и нахождение вектора $\underline{v}_0^D$ не составляет трудностей.

Замечание. При выводе уравнений движения можно сразу добиться того, чтобы независимые переменные имели первые $n - m$ номеров, а зависимые, соответственно, m последних. Тогда необходимость во введении множества индексов координат Q_I отпадает.

В случае, когда уравнения динамики системы тел содержат вспомогательные переменные ДАУ принимают следующий вид

$$\underline{M}(\underline{q}) \ddot{\underline{q}} = \underline{f}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}, \underline{q}_C) + \underline{G}(\underline{q}, \underline{q}_C)^T \underline{\lambda}, \quad (34)$$

$$\underline{g}(\underline{q}, \underline{q}_C) = 0, \quad (35)$$

$$\underline{g}_C(\underline{q}, \underline{q}_C) = 0. \quad (36)$$

Вспомогательные переменные $\underline{q}_C$ входят в выражения в (34) и (35) в качестве параметров, то есть на каждом этапе **E** (вычисление) в схеме **PECE** решения методом Адамса необходимо знать их значение с ошибкой, не превышающей погрешность метода. Вспомогательных переменных можно найти из системы нелинейных уравнений (36), причем для лагранжевых координат $\underline{q}$ берутся их текущие известные значения. На каждом этапе при решении системы (36) методом Ньютона в качестве начального приближения принимаются значения вспомогательных переменных с предыдущего шага, при этом необходима матрица Якоби $\underline{G}_C$. В силу малости шага и, следовательно, малого изменения координат на одном шаге процесс сводится к корректировке вспомогательных переменных по схеме Ньютона за 1–2 итерации (в принципе это аналогично приему линеаризации уравнений связи, который был использован для нахождения корректирующих поправок при выводе метода **ABM**).

Отдельно нужно выделить этап нахождения начальных условий. Схема, предложенная выше в данном случае неприменима, так как матрицы, входящие в формулы (32), зависят от вспомогательных переменных. В свою очередь для нахождения вспомогательных переменных необходимо знать текущее значение лагранжевых координат. Следовательно, при нахождении начальных условий необходимо решать совместно систему нелинейных уравнений (35) – (36) при известных значениях независимых координат. После определения зависимых

переменных начальные условия для скоростей находятся из системы (33).

На практике иногда не требуется решать систему (35) – (36), так как совместные начальные условия на все координаты уже известны исследователю.

Литература

1. Погорелов Д.Ю. Введение в моделирование динамики систем тел: Учеб. пособие. – Брянск: БГТУ, 1997.
2. Ascher U., Chin H., Petzold L., Reich S. Stabilization of constrained mechanical systems with DAEs and invariant manifolds // J. Mechanics of Structures and Machines. – 1995. – № 23. – P. 135-158.
3. Gear C.V. Simultaneous numerical solution of differential-algebraic equations // IEEE Trans. Circuit Theory. – 1971. – CT-18. – P. 367–384.
4. Хайпер Э., Нерсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.

УДК 519.2

ВЫДЕЛЕНИЕ ТРЕНДА СРЕДНЕГО СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА $x(t)$ ПРИ НАЛИЧИИ ЛИНЕЙНОГО ТРЕНДА ДИСПЕРСИИ

Терпугов А.Ф., Устинова И.Г.

Рассмотрим случайный процесс $x(t_i) = a + \frac{b}{T} \left(t_i - \frac{T}{2} \right) + n(t_i)$, $i = \overline{1, N}$, где

$$M[n(t_i)] = 0, \quad M[n(t_i)n(t_j)] = 0, \quad M[n^2(t_i)] = D[n(t_i)] = c + \frac{d}{T} \left(t_i - \frac{T}{2} \right). \quad \text{Пусть}$$

$x(t_i) = x_i$, $i = \overline{1, N}$ независимые случайные величины распределенные нормально с $M[x_i] = 0$ и $D[x_i] = D[t_i]$. Моменты измерений t_i , $i = \overline{1, N}$ образуют пуассоновский поток постоянной интенсивности λ .

Найдем оценки параметров a , b тренда среднего методом наименьших квадратов [1], исходя из условия

$$Q = \sum_{i=1}^N \left\{ x(t_i) - \hat{a} - \frac{\hat{b}}{T} \left(t_i - \frac{T}{2} \right) \right\}^2 \Rightarrow \min_{\hat{a}, \hat{b}} \quad (1)$$

Продифференцировав (1) по $\hat{a}$, $\hat{b}$, получаем систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными, которая в матричной форме будет иметь вид

$$\mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\theta}} = \mathbf{Y}. \quad (2)$$

$$\text{Здесь } \hat{\boldsymbol{\theta}} = \begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} N & \sum_{i=1}^N \left(\frac{t_i}{T} - \frac{1}{2} \right) \\ \sum_{i=1}^N \left(\frac{t_i}{T} - \frac{1}{2} \right) & \sum_{i=1}^N \left(\frac{t_i}{T} - \frac{1}{2} \right)^2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N x(t_i) \\ \sum_{i=1}^N x(t_i) \left(\frac{t_i}{T} - \frac{1}{2} \right) \end{bmatrix}.$$

Заметим, что матрица $\mathbf{X}$ - матрица со случайными элементами. Нахождение обратной матрицы – сложная задача, а нахождение обратной матрицы к

случайной – практически неразрешимая. Поэтому для нахождения оценок неизвестных параметров a , b перейдем от матрицы $\mathbf{X}$ к матрице $\bar{\mathbf{X}}$, усреднив матрицу $\mathbf{X}$ по моментам измерений $\{t_i, \quad i = \overline{1, N}\}$, применяя технику усреднения

[2]. В результате получим $\bar{\mathbf{X}} = \lambda T \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{12} \end{bmatrix}$. Убедившись, что определитель, со-

ответствующий матрице $\bar{\mathbf{X}}$ отличен от нуля, нетрудно найти обратную матрицу $\bar{\mathbf{X}}^{-1} = \frac{1}{\lambda T} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 12 \end{bmatrix}$ и, соответственно, $\hat{\boldsymbol{\theta}} = \bar{\mathbf{X}}^{-1} \mathbf{Y}$, что дает явное выражение для оценок неизвестных параметров

$$\begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda T} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N x(t_i) \\ 12 \sum_{i=1}^N x(t_i) \left(\frac{t_i}{T} - \frac{1}{2} \right) \end{bmatrix}.$$

Можно достаточно просто показать несмещенность полученных оценок тренда среднего.

$$M[\hat{a}] = M \left[\frac{1}{\lambda T} \sum_{i=1}^N x(t_i) \right] = \frac{1}{\lambda T} \sum_{i=1}^N M[x(t_i)] = \frac{1}{\lambda T} \sum_{i=1}^N M \left[a + \frac{b}{T} \left(t_i - \frac{T}{2} \right) + n(t_i) \right].$$

Усредняя полученное выражение по величинам x_i , получим $\frac{1}{\lambda T} \sum_{i=1}^N \left[a + b \left(\frac{t_i}{T} - \frac{1}{2} \right) \right]$. Полученное выражение усредним по моментам измере-

ний t_i , применяя методику [2]. При этом $M \left[\sum_{i=1}^N t_i \right] = \lambda \int_0^T u du = \frac{\lambda T^2}{2}$. Таким обра-

зом, имеем $M[\hat{a}] = \frac{1}{\lambda T} \left\{ a \lambda T + \frac{b \lambda T}{2} - \frac{b \lambda T}{2} \right\} = a$. Точно также показываем несмещенность оценки параметра b .

Аналогично находятся оценки параметров тренда дисперсии

$$\begin{bmatrix} \hat{c} \\ \hat{d} \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda T} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N x^2(t_i) \\ 12 \sum_{i=1}^N x^2(t_i) \left(\frac{t_i}{T} - \frac{1}{2} \right) \end{bmatrix}.$$

Заметим, что оценки параметров c , d тренда дисперсии уже не являются несмещенными: $M[\hat{c}] = a^2 + \frac{b^2}{12} + c$, $M[\hat{d}] = 2ab + d$. Предлагается в каче-

стве несмещенных оценок параметров тренда дисперсии использовать $\bar{c} = \frac{\lambda T}{\lambda T - 2} \left(\hat{c} - \hat{a}^2 - \frac{\hat{b}^2}{12} \right)$ и $\bar{d} = \hat{d} - 2\hat{a}\hat{b} + \frac{24}{\lambda T} \bar{c}$, при этом

$$M[\bar{c}] = \frac{\lambda T}{\lambda T - 2} \left(c + a^2 + \frac{b^2}{12} - a^2 - \frac{c}{\lambda T} - \frac{b^2}{12} - \frac{c}{\lambda T} \right) = c \text{ и}$$

$$M[\bar{d}] = 2ab + d - 2ab - \frac{24c}{\lambda T} + \frac{24c}{\lambda T} = d.$$

Литература

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964 – 576 с.
2. Идрисов Ф.Ф. Выделение трендов временных рядов при наличии ошибок в измерениях моментов времени. Физика. № 4, с. 11 – 16, 1996.

634057 г. Томск, ул. 79 Гвардейской дивизии 18, кв. 43, т. 77-96-14,

email: ustsn@transgaz.tomsk.ru

УДК 681.5.015

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ЗВЕНА С ОТСЕЧКОЙ

Петрикевич Я. И., Щекочихина С. Г.

При исследовании реальных систем неизбежно сталкиваются с необходимостью учета всякого рода нелинейностей, как присущих системе вследствие ограниченных энергетических ресурсов, погрешностей в изготовлении отдельных элементов, так и преднамеренно вводимых для повышения качества процессов или для получения принципиально новых алгоритмов управления.

Данная работа является логическим продолжением исследований по структурно-параметрической идентификации линейных динамических объектов по дискретным измерениям вход-выходных переменных объекта с помощью аппарата непрерывных дробей [1, 2, 3, 4].

Рассмотрим нелинейный объект, описываемый интегральным звеном с отсечкой [1]. Для такого объекта непрерывная передаточная функция имеет вид:

$$G(s) = \frac{k}{Ts} (1 - e^{-sT}),$$

где k - статический коэффициент усиления, T - время переходного процесса. Интегрирующие свойства таких объектов проявляются только во время переходного процесса, а снятие входного воздействия приводит к возвращению выходной величины к ее исходному значению, т. е. данные объекты являются статическими.

Структурно-параметрическая идентификация рассматриваемого объекта в автоматическом режиме затруднена следующими обстоятельствами: в ЭВМ не задана структура модели; шаг дискретизации не всегда кратен времени переходного процесса T . Это затрудняет построение и восстановление непрерывной модели объекта по его дискретной модели.

Пусть даны дискретные измерения динамических характеристик (переходной и весовой) интегрального звена с отсечкой с шагом дискретизации Δt .

По ним построим дискретные модели переходной и весовой характеристик объекта, описываемого данным звеном, и получим оценки временного параметра T непрерывной передаточной функции объекта.

Для решения задачи воспользуемся модифицированным методом В. Висковатова построения дискретной модели объекта [2, 4].

Переходная характеристика интегрального звена с отсечкой имеет вид (рис. 1):

$$y(t) = \begin{cases} \frac{k}{T}t, & \text{если } 0 \leq t \leq T, \\ k, & \text{если } t \geq T. \end{cases} \quad (1)$$

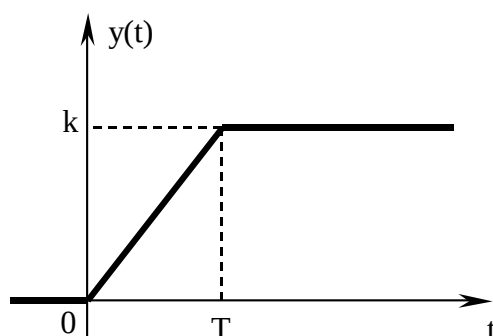


Рис.1. Переходная характеристика интегрального звена с отсечкой

При построении дискретной модели рассмотрим два случая: 1) когда некоторый отсчет $n\Delta t$ попадает в точку $t = T$, - так называемый "кратный" шаг дискретизации, и 2) когда никакой отсчет не попадает в точку $t = T$, - "некратный" шаг дискретизации Δt .

1) Предположим, что шаг дискретизации выбран так, что $\Delta t = T/m$, где $m = 1, 2, \dots$ (кратный шаг). Заменим в (1) непрерывное время t дискретными отсчетами $n\Delta t$ ($n = 0, 1, 2, \dots$), построим идентифицирующую матрицу [1] и найдем дискретную передаточную функцию $G^*(z)$ и дискретную переходную характеристику $y^M(n\Delta t)$ в виде конечно-разностного уравнения [2, 4].

Пусть, например, $m = 3$, т. е. $\Delta t = T/3$. Тогда $y[n] = y(n\Delta t) = k$ при $n \geq 3$. Строим идентифицирующую матрицу:

$$\begin{array}{c|ccccc} & 1 & 1 & 1 & 1 & \dots \\ z^{-1} & \frac{k\Delta t}{T} & \frac{2k\Delta t}{T} & k & k & \dots \\ & -1 & -2 & -2 & -2 & \dots \\ z^{-1} & 1 & 1 & 1 & 1 & \dots \\ & 1 & 1 & 1 & 1 & \dots \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{array}$$

Элементы нулевого столбца матрицы определяют конечную непрерывную дробь

$$G^*(z) = \frac{\frac{k\Delta t}{T} z^{-1}}{1 + \frac{-z^{-1}}{1 + \frac{z^{-2}}{1 + z^{-1}}}}.$$

Переходя к дробно-рациональному выражению, находим дискретную передаточную функцию

$$G^*(z) = \frac{k\Delta t}{T} (z^{-1} + z^{-2} + z^{-3}),$$

следовательно, дискретная модель переходной характеристики объекта имеет вид

$$y^M[n] = \frac{k\Delta t}{T} (x[n-1] + x[n-2] + x[n-3]),$$

где $y^M[n] = y^M(n\Delta t)$, $x[i] = x(i\Delta t)$, $i = n - 1, n - 2, n - 3$.

Вообще, для произвольного $m = 1, 2, \dots$ нетрудно показать, что если шаг дискретизации выбран так, что $\Delta t = T/m$, то дискретная передаточная функция и дискретная переходная характеристика объекта, описываемого интегральным звеном с отсечкой, будут равны соответственно

$$G^*(z) = \frac{k\Delta t}{T} (z^{-1} + z^{-2} + \dots + z^{-(m-1)} + z^{-m}), \quad (2)$$

$$y^M[n] = \frac{k\Delta t}{T} (x[n-1] + x[n-2] + \dots + x[n-m]), \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

Зная общую формулу дискретной модели переходной характеристики, получаем оценку параметра T по формуле

$$\hat{T} = m \cdot \Delta t. \quad (4)$$

Нетрудно проверить, что значения дискретной переходной характеристики (3) в точках $n\Delta t$, $n = 0, 1, 2, \dots$ совпадают со значениями непрерывной переходной характеристики (1) в этих точках. Следовательно, полученная модель является точной. Это позволяет получить по формуле (4) достоверную оценку временного параметра T .

Факт того, что шаг дискретизации Δt выбран кратным T , проверяется путем кратного уменьшения Δt , т. е. вариацией шага дискретизации. Уменьшение Δt приводит к увеличению необходимого для идентификации числа измерений выходных переменных рассматриваемого звена, но при этом не меняется общий вид идентифицирующей матрицы для нахождения дискретной переходной характеристики при $\Delta t = T/m$ (табл. 1). Появление конечного числа нулевых элементов в некоторых строках позволяет разбить всю матрицу на группы по 3 строки. Пусть k – номер группы строк в идентифицирующей матрице ($k = 1, 2, \dots$), тогда в k -ю группу входят строки с номерами $(3k-3)$, $(3k-2)$, $(3k-1)$, (т.е. $0, 1, 2; 3, 4, 5; 6, 7, 8; \dots$).

Утверждение. Идентифицирующая матрица для нахождения дискретной переходной характеристики при $\Delta t = T/m$ (табл. 1) обладает следующим свойством: строка с бесконечным числом нулевых элементов входит в группу

$k = (m + 1)/2$ и имеет номер $(3k - 2)$ – для нечетных m , и входит в группу $k = m/2$ и имеет номер $(3(k + 1) - 3)$ – для четных m .

Доказательство:

На первых двух строках в $(m - 2k)$ – ом столбце оканчиваются элементы, операция над которыми дает в 3 – ей из строк группы нули в столбцах от 0 – го до $(m - 2k - 1)$ – го. В связи с этим для продолжения расчетов в $(3k - 1)$ – ой строке (3–ей в группе) необходимо сделать сдвиг элементов на $(m - 2k)$ столбцов влево, при этом $(3k - 1)$ – ый частный числитель непрерывной дроби умножится на $z^{-(m-2k)}$.

Таблица 1

Общий вид идентифицирующей матрицы для случая кратного шага $\Delta t = T/m$

		0	1	2	...	$m - 2$	$m - 1$	m	$m + 1$	...
-1 стр.	z^{-1}	1	1	1	...	1	1	1	1	...
0 стр.		$\frac{k}{m}$	$\frac{2k}{m}$	$\frac{3k}{m}$	...	$\frac{k(m-1)}{m}$	$\frac{km}{m}$	k	k	...
1	$z^{-(m-2)}$	-1	-2	-3	...	$-(m-1)$	$-(m-1)$	$-(m-1)$	$-(m-1)$	...
2		1	1	1	...	1	1	1	1	...
3	$z^{-(m-4)}$	1	2	3	...	$m-2$	$m-2$	$m-2$	$m-2$	...
4		-1	-2	-3	...	$-(m-3)$	$-(m-3)$	$-(m-3)$	$-(m-3)$	...
5	$z^{-(m-6)}$	1	1	1	...	1	1	1	1	...
6		1	2	3	...	$m-4$	$m-4$	$m-4$	$m-4$	...
7	$z^{-(m-8)}$	-1	-2	-3	...	$-(m-5)$	$-(m-5)$	$-(m-5)$	$-(m-5)$	...
8		1	1	1	...	1	1	1	1	...
9		1	2	3	...	$m-6$	$m-6$	$m-6$	$m-6$	...
10		-1	-2	-3	...	$-(m-7)$	$-(m-7)$	$-(m-7)$	$-(m-7)$	...
11		1	1	1	...	1	1	1	1	...
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...

Очередная строка в матрице будет нулевой, если в некоторой группе из трех строк k будет таково, что столбец с номером $(m - 2k + 1)$, с которого начинаются равные $(m - 2k + 2)$ элементы в $(3k - 3)$ – ей строке и равные $-(m - 2k + 1)$ элементы в $(3k - 2)$ – ой строке, окажется под номером 0:

	0	1	2	...
$3k-3$	$(m-2k+2)$	$(m-2k+2)$	$(m-2k+2)$	...
$3k-2$	$-(m-2k+1)$	$-(m-2k+1)$	$-(m-2k+1)$	...
$3k-1$	0	0	0	...

Таким образом, при $m-2k+1=0$ получаем, что $m=2k-1$, откуда

$$k = \frac{m+1}{2}.$$

Так как элементы $-(m-2k+1)$ равны нулю, то номер строки матрицы с нулями $-(3k-2)$, что будет верным только для нечетных m , так как $k \in \mathbb{N}$.

Для четных m условием нулевой строки будет равенство

$$m-2k+1=1,$$

откуда

$$k = \frac{m}{2}$$

- номер группы, в которой в $(3k-3)$ -ей и $(3k-2)$ -ой строках будут элементы, равные соответственно $(m-2k+2)$ и $-(m-2k+1)$ во всех столбцах, кроме нулевого. Тогда будем иметь:

	0	1	2	...
$3k-3$	1	$(m-2k+2)$	$(m-2k+2)$	...
$3k-2$	-1	$-(m-2k+1)$	$-(m-2k+1)$	...
$3k-1$	1	1	1	...
$3(k+1)-3$	$m-2k$	$m-2k$	$m-2k$	...
$3(k+1)-2$	0	0	0	...

При этом строка нулевых элементов имеет номер $3(k+1)-3$, так как при $m=2k$ элементы этой строки $m-2k$ равны 0. Утверждение доказано.

2) Рассмотрим случаи, когда $m\Delta t < T < (m+1)\Delta t$, $m = 1, 2, \dots$ (некратный шаг).

Пусть, например, $m=2$, тогда $2\Delta t < T < 3\Delta t$. Строим матрицу:

z^{-1}	1	1	1	1	...
	$\frac{k\Delta t}{T}$	$\frac{2k\Delta t}{T}$	k	k	...
	-1	$\frac{\Delta t - T}{\Delta t}$	$\frac{\Delta t - T}{\Delta t}$	$\frac{\Delta t - T}{\Delta t}$	...
	$\frac{3\Delta t - T}{\Delta t}$	1	1	1	...
	$\frac{-4\Delta t^2 + 4T\Delta t - T^2}{\Delta t(3\Delta t - T)}$	$\frac{-4\Delta t^2 + 4T\Delta t - T^2}{\Delta t(3\Delta t - T)}$	$\frac{-4\Delta t^2 + 4T\Delta t - T^2}{\Delta t(3\Delta t - T)}$	...	...
	$\frac{-2\Delta t + T}{3\Delta t - T}$	$\frac{-2\Delta t + T}{3\Delta t - T}$	$\frac{-2\Delta t + T}{3\Delta t - T}$	...	...
	0	0	0	...	...
	...	...	...	...	...

После преобразований получаем дискретную переходную характеристику

$$y^M[n] = \frac{k\Delta t}{T} (x[n-1] + x[n-2] + A \cdot x[n-3]), \text{ где } A = \frac{T-2\Delta t}{\Delta t}.$$

Зная числовой коэффициент A и шаг дискретизации Δt , найдем T :

$$T = A\Delta t + 2\Delta t.$$

Проводя аналогичные расчеты, нетрудно показать, что для произвольного $m = 1, 2, \dots$ дискретная передаточная функция и конечно-разностное уравнение имеют вид:

$$G^*(z) = \frac{k\Delta t}{T} \left(z^{-1} + z^{-2} + \dots + z^{-m} + \frac{T-m \cdot \Delta t}{\Delta t} z^{-(m+1)} \right), \quad (5)$$

$$y^M[n] = \frac{k\Delta t}{T} \left(x[n-1] + x[n-2] + \dots + x[n-m] + \frac{T-m \cdot \Delta t}{\Delta t} \cdot x[n-(m+1)] \right), \quad (6)$$

откуда, зная числовой коэффициент $A = \frac{T-m \cdot \Delta t}{\Delta t}$ при слагаемом $x[n - (m + 1)]$ и величину шага дискретизации Δt , оценка параметра T находится по формуле

$$\hat{T} = A\Delta t + m \cdot \Delta t. \quad (7)$$

Рассчитанные по формуле (6) значения дискретной переходной характеристики в точках $n\Delta t$, $n = 0, 1, 2, \dots$ совпадают со значениями непрерывной переходной характеристики (1) в этих точках. Следовательно, полученная модель является точной, что позволяет получить достоверную оценку временного параметра T по формуле (7).

Очевидно, что формула (6) для $y^M[n]$ при некратном шаге является обобщением случая кратного шага (3), то есть если положить в ней $\Delta t = T/m$, то получим дискретную модель для кратного шага, совпадающую с выведенной выше.

Далее, находим весовую характеристику для интегрального звена с отсечкой (рис. 2):

$$w(t) = \begin{cases} \frac{k}{T}, & 0 \leq t < T, \\ 0, & t \geq T. \end{cases} \quad (8)$$

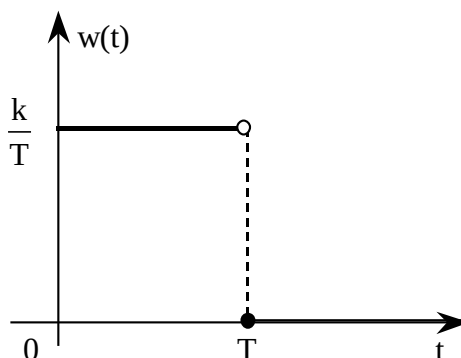


Рис.2. Весовая характеристика интегрального звена с отсечкой

Построим дискретную модель весовой функции.

1) Предположим, что $\Delta t = T/m$, $m = 1, 2, \dots$

Например, при $\Delta t = T/3$ получим следующую матрицу:

$$z^{-1} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ k & k & k & 0 & \dots \\ \frac{k}{T} & \frac{k}{T} & \frac{k}{T} & 0 & \dots \\ -1 & -1 & 0 & 0 & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}$$

откуда дискретная передаточная функция и дискретная весовая характеристика имеют вид:

$$G^*(z) = \frac{k}{T} (1 + z^{-1} + z^{-2}),$$

$$w^M[n] = \frac{k}{T} (x[n] + x[n-1] + x[n-2]).$$

Нетрудно показать, что при $\Delta t = T/m$, $m = 1, 2, \dots$ дискретная передаточная функция и дискретная модель весовой характеристики объекта в виде конечно-разностного уравнения будут иметь вид:

$$G^*(z) = \frac{k}{T} (1 + z^{-1} + z^{-2} + \dots + z^{-(m-1)}), \quad (9)$$

$$w^M[n] = \frac{k}{T} (x[n] + x[n-1] + \dots + x[n-(m-1)]). \quad (10)$$

Отсюда, зная число слагаемых m , оценку временного параметра T получаем по формуле:

$$\hat{T} = m \cdot \Delta t. \quad (11)$$

Факт того, что шаг дискретизации выбран кратным T , проверяется путем кратного уменьшения шага дискретизации Δt , т. е. вариацией шага дискретизации.

Рассчитав по формуле (10) значения дискретной весовой характеристики в точках $n\Delta t$, $n = 0, 1, 2, \dots$, получим, что данная модель является точной. Тогда формула (11) дает достоверную оценку временного параметра T .

2) Пусть $m \Delta t < T < (m+1)\Delta t$, $m = 1, 2, \dots$

При таком шаге дискретизации Δt дискретная модель весовой функции полностью совпадает с моделью, полученной для кратного шага дискретизации $\Delta t = T/(m+1)$. Но в отличие от дискретной переходной характеристики, для дискретной весовой характеристики в случае некратного шага нельзя указать общую формулу для оценки временного параметра T . Точность оценки по формуле

$$\hat{T} = (m+1) \cdot \Delta t,$$

полученной для кратного шага, зависит от выбора шага дискретизации Δt .

Литература:

1. Карташов В.Я. Непрерывные дроби (определения и свойства): Учебное пособие. – Кемерово: Кемеровский госуниверситет, 1999. – 88 с.
2. Карташов В.Я., Инденко О.Н., Александров А.В. Аппроксимация дискретной передаточной функции линейного объекта непрерывными дробями по дискретным измерениям вход-выходных переменных // Препринт № 16. – Барнаул: Издательство Алтайского госуниверситета, 1996. – 44 с.
3. Карташов В.Я. Анализ и исследование аппроксимационных свойств непрерывных дробей при решении задачи структурно-параметрической идентификации динамических объектов // Препринт № 22. – Барнаул: Издательство Алтайского госуниверситета, 1996. – 40 с.
4. Щекочихина С.Г. Разработка метода дискретного моделирования в задачах диагностики сложных объектов горной техники: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Кемерово: ИУУ СО РАН, 1999. – 23 с.

650043, г. Кемерово, ул. Красная 6, КемГУ, каф. АИТК, т. 55-25-09, e-mail: dsoft@kemsu.ru

УДК 519.8

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАК НЕЧЕТКОЙ РЕШЕТКИ

Заболеева-Зотова А.В., Набока М.В.

Моделирование систем часто осложняется неопределенностями нестохастического характера. Моделируемые системы иногда являются настолько сложными, что их четкое математическое описание с достаточным уровнем точности невозможно, так как неизвестны все факторы, влияющие на функционирование системы, или неизвестен вклад каждого в конечный результат. Даже если известна математическая модель описания объекта, то точные значения ее параметров не всегда доступны.

Можно выделить следующие типы нечеткостей, возникающих при моделировании сложных ТС:

- нечеткость и структурная неполнота формулировки модели цели;
- нечеткости, характеризующие соответствие моделируемых структур ТС модели цели;
- нечеткости, характеризующие связи и степень совместимости подсистем.

Рассмотренные причины определяют целесообразность применения нечетких методов моделирования технических систем.

Под нечеткой системой S будем понимать объект вида $\{S_i(X_i, Y_i), \Gamma\}$, где $\{S_i(X_i, Y_i)\}$, $i = \overline{1, N}$ — совокупность N подсистем с входами X_i и выходами Y_i , заданных с помощью матрицы нечеткого отношения R , осуществляющего отображение вида

$$R : U_{X_i} \times U_{Y_i} \rightarrow [0, 1],$$

где U_{X_i} , U_{Y_i} — универсальные множества входных и выходных сигналов подсистем S_i , а Γ — описание структуры системы S .

Такое определение нечеткой системы позволяет применять к построенным на его основе моделям ТС методы теории алгебраических систем. Одной

из наиболее развитых и проработанных теорий алгебраических систем является теория решеток. Представление технической системы при помощи нечеткой решетки позволяет учитывать как возникающие в процессе моделирования неопределенности, так и использовать мощный и апробированный алгебраический аппарат.

Решеткой называется частично упорядоченное множество, для любых двух элементов a и b которого существуют точная верхняя и точная нижняя грани. Частично упорядоченное множество $\langle A; \rho \rangle$ состоит из непустого множества A и рефлексивного, антисимметричного, транзитивного бинарного отношения ρ на нем. Отношение ρ называется отношением частичного порядка.

Введем понятие нечеткого отношения частичного порядка и нечеткой решетки.

Нечетким отношением на непустом множестве A называется $\tilde{\rho} = (A, \tilde{F})$, где $\tilde{F}$ является нечетким подмножеством декартова квадрата множества A . При этом A называется областью задания, $\tilde{F}$ — нечетким графиком отношения. Носителем нечеткого отношения $\tilde{\rho} = (A, \tilde{F})$ называется четкое отношение $\rho = (A, F)$, у которого график F является носителем графика $\tilde{F}$.

Нечетким отношением частичного порядка называется нечеткое отношение, носителем которого является четкое отношение частичного порядка. При этом нечеткое отношение частичного порядка обладает следующими свойствами:

- Рефлексивность: $d(a, a) = 1$;
- Антисимметричность: Если $d(a, b) > 0$, то $d(b, a) = 0$;
- Транзитивность: $d(a, c) \geq d(a, b) \wedge d(b, c)$.

Нечеткой решеткой $\langle A, \tilde{\rho} \rangle$ будем называть нечеткое частично упорядоченное множество, для любых двух элементов a, b которого $\sup(a, b), \inf(a, b) \in \tilde{\rho}$, т.е. $d(a, \sup(a, b)) > 0$, $d(b, \sup(a, b)) > 0$, $d(\inf(a, b), a) > 0$, $d(\inf(a, b), b) > 0$.

Тогда в данных терминах описание структуры ТС может быть представлено в виде нечеткой решетки, где нечеткими отношениями описываются вещественные, энергетические и информационные связи между элементарными подсистемами.

Рассмотренная модель ТС используется при проектировании интеллектуальных программных систем, предназначенных для анализа и синтеза новых технических решений.

Литература

1. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. — 272 с.
2. Заболеева-Зотова А.В. Формализмы и алгоритмическое обеспечение структурного синтеза физически-неоднородных технических систем: Дисертация ... канд. техн. наук / Науч. рук. Камаев В.А.; ВолгГТУ.— Волгоград, 1995. —192 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАНИЯ НА МОДЕЛИРОВАНИЕ

Заболеева-Зотова А.В., Набока М.В., Лапишкова Е.Н.

Начальным этапом процесса концептуального моделирования и моделирования вообще во многих случаях является процесс формирования технического задания в виде модели цели на основе И-ИЛИ дерева требований и ограничений, предъявляемых к техническим устройствам (или иным объектам, подлежащим формированию) конкретной предметной области.

Процесс построения модели цели осложняется возникновением некоторых типов нечеткостей, таких, как:

- нечеткость и структурная неполнота формулировки модели цели;
- нечеткости, характеризующие соответствие синтезируемых структур модели цели.

Для разрешения указанных типов нечеткостей и формализации процесса определения цели структурного синтеза ТС разработан алгоритм формирования диалога на основе И-ИЛИ дерева, содержащего функциональные требования и ограничения к техническому устройству, а также выбор метода задания пользователем ограничений на процесс решения задачи синтеза.

Особенностью создаваемой автоматизированной системы является высокая степень ее универсальности: предусматривается общение с пользователем как с целью построения модели цели (тип 1), так и с целью построения или дополнения И-ИЛИ деревьев, описывающих структуру диалога типа 1 (общение типа 2), т.е. описание новых предметных областей, с которыми может оперировать система.

Такая структура системы позволяет использовать ее при решении задач структурного синтеза объектов различных классов.

Общение типа 1 производится с экспертом в предметной области, от которого не требуется специальных навыков в области решения задач автоматизированного проектирования.

Общение типа 2 производится с коллективом экспертов-проектировщиков, от которого требуется как представление структуры предметной области, так и наличие навыков по формальному описанию процессов и систем.

Для обеспечения возможности ввода новых предметных областей, система оперирует с двумя базами знаний (БЗ). Одна из них содержит описания предметных областей, с которыми может оперировать система, в виде И/ИЛИ деревьев. Пример дерева этого типа приведен на рис. 1. Листья дерева имеют многоуровневую структуру, включающую в себя наименование требования, характеризующую его лингвистическую переменную, числовые диапазоны значений термов данной переменной, и, на нижнем уровне, наименования физических величин и их диапазоны.

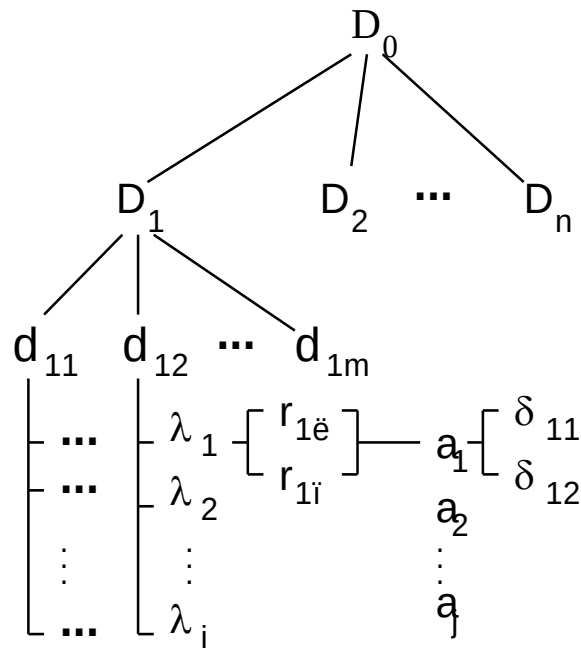


Рис.1. Пример И/ИЛИ дерева требований и ограничений

Вторая база знаний содержит И/ИЛИ дерево наиболее общих требований к процессу определения задания на проектирование и определяет структуру диалога в процессе построения дерева требований типа 1, т.е. наполнена «метазнаниями».

Результатом работы системы является построение дерева входных и выходных воздействий с листьями, содержащими многоуровневые нечеткие характеристики воздействий, а также ограничения на процесс синтеза.

Для обеспечения возможности сопряжения разрабатываемой системы с уже существующими программными средствами автоматизации структурного синтеза ТО, выбран многоагентный подход реализации, который позволит с наименьшими затратами изменять формат получаемого результата в рамках принятой концепции и обеспечит переносимость системы и возможность работы в распределенных системах автоматизации проектирования.

Полученная в таком виде модель цели может использоваться в интеллектуальных системах для решения задач концептуального моделирования технических объектов (или сложных систем других классов), в частности, с использованием метода синтеза потоковых структур.

Литература

1. Заболеева-Зотова А.В. Формализмы и алгоритмическое обеспечение структурного синтеза физически-неоднородных технических систем: Дисертация ... канд. техн. наук / Науч. рук. Камаев В.А.; ВолгГТУ. – Волгоград, 1995. – 192 с.
2. Заболеева-Зотова А.В., Набока М.В. Разработка модели технической системы как нечеткой решетки // Математические методы в технике и технологиях – ММТ-12: Сб. трудов 12 Междунаро. науч. конф. / НовГУ. – Великий Новгород: НовГУ, 1999. – Т. 5. – С. 50-51.

ДВИЖЕНИЕ В КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ — ЭТО НЕМАРКОВСКИЙ ПРОЦЕСС

Селезнев К.А.

Цель автора - обратить внимание на широко распространенное заблуждение. Многие преподаватели и ученые уверены в том, что в классической механике должен выполняться принцип детерминизма, т. е. поведение системы материальных точек однозначно можно определить, задав начальные значения координат и скоростей точек и закон взаимодействия. Но для действительной однозначности траекторий нужно зафиксировать конкретную схему интегрирования уравнений движения. Это обстоятельство часто упускают из виду.

Зависимость координат и скоростей от времени находят интегрированием дифференциальных уравнений второго порядка. Эти дифуравнения – второй закон Ньютона. Взаимодействие между точками описывается векторной величиной – силой, которая с точностью до постоянной (массы) равна ускорению (второй производной радиус-вектора по времени). Сказанное эквивалентно тому, что в разложении Тейлора для функциональной зависимости радиус-вектора от времени пренебрегают третьей и выше производными радиус-вектора. Обычно такое пренебрежение вполне разумно. Ведь в стандартной схеме интегрирования уравнений движения шаг по времени Δt можно сделать очень малым, а член ряда Тейлора с номером n имеет порядок малости $(\Delta t)^n$.

Но, что если полученное решение неустойчиво по Ляпунову, т. е. малое изменение параметров, приводит к сильному изменению решения? Тогда пренебрежение высшими производными радиус-вектора не оправдано. В работе автора [1] обсуждается методика и результаты численного эксперимента по динамике системы классических частиц. Оказалось, что учет производной ускорения, в ряде бифуркационных случаев, дает заметное изменение фазовых траекторий по сравнению со стандартным методом интегрирования.

Итак, пренебрежение производной ускорения при нахождении характеристик системы приводит к ошибке. Это означает, что для нахождения эволюции системы недостаточно знать кинетические характеристики частиц только в один конкретный момент времени, нужно знать характеристики на предыдущем шаге интегрирования. Другими словами, не выполняется принцип детерминизма. Зависимость эволюции системы от ее состояния в прошлом – это свойство немарковских процессов.

Литература

1. Селезнев К.А. Подчиняется ли классическая механика принципу детерминизма? // Новые технологии управления движением технических объектов: Материалы 2-й междунар. науч.- технич. конф. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999. – С. 20-22.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДОБИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Першин В.А.

1. Общие положения

Современные тенденции развития науки в целом свидетельствуют об интенсивной интеграции отдельных ее направлений, частных наук. Следствием этого является появление новых научных концепций, наук (синергетика и др.).

Естественно, что реализация этой тенденции требует от ученых поиска и использования общего для интегрируемых наук базиса. В состав этого базиса входят, во-первых, объективные законы материального мира, инвариантность и объективность проявления которых в системах разной физической природы характеризуется универсальными обобщенными характеристиками (аттракторами, критериями, индикаторами подобия и др.) [1,2,].

Во-вторых, реализация указанной тенденции базируется на системном и операционном подходах в области исследований. В основу системного подхода заложены два принципа – системности и изоморфизма. Изоморфизм систем позволяет моделировать систему-оригинал посредством системы-аналога, если системы подобны в том или ином отношении. Ряд исследователей обоснованно считают, что современные исследования, например, в области синергетики и теории изменений, позволяют утверждать о наличии изоморфизма не только как подобия или строгого соответствия строения систем, но и общего в их функционировании и движении [3].

Таким образом, современная трактовка понятия изоморфизма систем, явлений, процессов предполагает при их исследовании, моделировании наличие подобия функционирования.

2. Подобие функционирования

В основе моделирования лежит теория подобия, содержание которой раскрывается тремя теоремами подобия, и пятью дополнительными положениями, касающимися сложных, нелинейных, анизотропных и неоднородных, геометрически неподобных, вероятностно определяемых систем

В зависимости от классификационных признаков подобие подразделяется на различные виды, среди которых в аспекте рассматриваемой здесь задачи выделим такие, как абсолютное, полное, приближенное, размытое, функциональное, кибернетическое. Наиболее близким, в аспекте исследуемой проблемы, является функциональное подобие, которое формулируется как подобие между моделью и объектом моделирования, рассматриваемыми с точки зрения выполнения ими сходственных функций при соответствующих воздействиях [4]. Этот вид подобия позволяет применить к исследованию систем лишь «две теоремы подобия и отыскивать подобие у функций, заданных как входы и выходы «черного ящика» и обобщенных в виде безразмерных величин» [5].

Последнее замечание накладывает ограничение на использование функционального подобия при моделировании систем с учетом принципов систем-

ного подхода. В частности, это касается учета внутренней структуры, физической сущности внутренних процессов подсистем определенного иерархического уровня и правильного соотношения отдельных уровней их иерархии. Только комплексный учет выходных характеристик, входных задающих и возмущающих (управляющих) воздействий на систему, ее внутренних параметров определенной иерархической глубины и полноты позволит не только правильно оценить качество функционирования системы, но и реализовать идею управления этим качеством. Решение этой задачи предлагается осуществить методом подобия функционирования систем [6]

Терминология в области подобия функционирования используется, в целом, та же, что и в теории подобия, в области исследования систем, в теории регулирования и управления. Новые или уточненные термины будут пояснены в процессе дальнейшего изложения материала.

Подобие функционирования формулируется нами как подобие между объектами, рассматриваемыми с точки зрения выполнения ими сходственных функций при соответствии сходственных воздействий и параметров состояний, входящих в условия однозначности.

Итак, рассмотрим основные принципы подобия функционирования подсистем и, затем, систем.

2.1. Подобие функционирования подсистем

Подобие функционирования может рассматриваться для любых подсистем, входные, выходные и внутренние параметры которых могут быть объединены различными (интегральными, дифференциальными, алгебраическими и т.д.) уравнениями или простыми множествами, функциональными зависимостями. Подобие функционирования может рассматриваться также для линейных или нелинейных, детерминированных или стохастических и т.п. процессов.

Автором исследовано подобие функционирования, например: подсистемы-оригинала с постоянной целью функционирования; однородных подсистем единого целевого назначения; однородных подсистем аналогичного целевого назначения; неоднородных автономных, а также взаимозаменяемых подсистем единого целевого назначения; подсистем, работающих в режиме нагруженного или ненагруженного резерва; подсистем с переменными целями (переменными значениями выходных характеристик, с переменным вектором действия выходных характеристик); обратимых подсистем, стохастически определенных подсистем.

Рассмотрим общую методику анализа подобия функционирования подсистем.

Допустим, подсистема-оригинал описывается полной функциональной зависимостью:

$$\{y_i\} = \{f_i(x_{ji}^z, j_i^s, j_i)\}, \quad (1)$$

где x_{ji}^z, j_i^s, j_i - соответственно j -е параметры входных задающих, возмущающих (управляющих) воздействий и внутренние параметры структуры и процессов подсистемы. Каждый из этих параметров, в принципе, может иметь свою

функциональную зависимость от параметров низшего иерархического уровня, а также времени. Причем эти параметры независимы между собой, так как выражают процессы разной физической природы.

В соответствии с первой теоремой теории подобия выражение для i -го критерия подобия имеет вид:

$$\pi_{y_i} = \frac{y_i}{x_{ji}^{\alpha_i} z_{ji}^{\beta_i} s_{ji}^{\gamma_i}}, \quad (2)$$

где $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ - показатели степеней при независимых параметрах соответственно x_{ji}, z_{ji}, s_{ji} , определяемые методом нулевых размерностей для y_i -выходной целевой характеристики.

Предположим, что значения $y_i, x_{ji}, z_{ji}, s_{ji}$ изменены (изменились в процессе эксплуатации подсистемы или рассматривается подсистема-аналог) до значений, соответственно, $y_{ia}, x_{jia}, z_{jia}, s_{jia}$. Так как для подобных явлений (согласно первой теореме теории подобия) численные значения критериев подобия есть постоянные величины, т.е. $\pi_i = const = idem$, то для новых условий имеем:

$$\pi_{y_i} = \frac{y_{ia}}{x_{jia}^{\alpha_i} z_{jia}^{\beta_i} s_{jia}^{\gamma_i}} = \frac{c_{y_i}}{c_{x_{ji}}^{\alpha_i} c_{z_{ji}}^{\beta_i} c_{s_{ji}}^{\gamma_i}} \cdot \frac{y_i}{x_{ji}^{\alpha_i} z_{ji}^{\beta_i} s_{ji}^{\gamma_i}} = idem = const, \quad (3)$$

где $c_{y_i}, c_{x_{ji}}, c_{z_{ji}}, c_{s_{ji}}$ - масштабы изменения параметров или константы подобия [5].

Комплекс масштабов в выражении (3) представляет собой индикатор подобия, который для подобных явлений должен быть равен единице [5], т.е.:

$$\frac{c_{y_i}}{c_{x_{ji}}^{\alpha_i} c_{z_{ji}}^{\beta_i} c_{s_{ji}}^{\gamma_i}} = 1. \quad (4)$$

В общем случае выражения (3) и (4) могут иметь место, по крайней мере, в трех случаях: $c_{y_i} = 1$; $c_{y_i} \neq 1 = const$; $c_{y_i} \neq 1 = var$.

Выполнение условия $c_{y_i} = 1$ обязательно для сохранения качества функционирования одной и той же подсистемы (квазиабсолютное подобие функционирования) или системы-аналога иной физической природы, но единой цели по отношению к системе-оригиналу. В этом случае условие (4) выполняется лишь при:

$$c_{x_{ji}}^{\alpha_i} c_{z_{ji}}^{\beta_i} c_{s_{ji}}^{\gamma_i} = 1. \quad (5)$$

Это означает, что при изменении (преднамеренном, детерминированном или стохастическом) значений параметров x_{ji}, z_{ji}, s_{ji} произведение масштабов этих изменений должно оставаться постоянным и равным единице. Этого мож-

но добиться посредством использования отрицательной обратной связи с управлением по какому-либо из указанных параметров. Если, например, по параметру s , то в соответствии с зависимостью

$$c_{sji} = (c_{xji}^{\alpha} c_{zji}^{\beta})^{-\frac{1}{\gamma_i}}. \quad (6)$$

Второе условие ($c_{yi} \neq 1 = \text{const}$) характерно для оценки и достижения подобия функционирования системы-аналога при скалярном изменении цели по отношению к системе-оригиналу. В этом случае для сохранения подобия функционирования системы-аналога при возможных изменениях параметров x_{ji} и (или) z_{ji} и (или) s_{ji} необходимо какое-либо из этих параметров изменить соответствующим образом, например s , (в соответствии с зависимостью):

$$c_{sji} = \frac{c_{yi}}{c_{xji}^{\alpha_i} c_{zji}^{\beta_i}} \begin{cases} c_s = \text{var} \\ c_x = \text{var} - \text{const} \\ c_z = \text{const} - \text{var} \end{cases}. \quad (7)$$

Третье условие ($c_{yi} \neq 1 = \text{var}$) характерно для оценки и достижения подобия функционирования системы-аналога по отношению к системе-оригиналу в том случае, если выходная характеристика системы-аналога должна изменяться во времени детерминировано или изменяется стохастически. Детерминированное изменение выходной характеристики y_i может быть реализовано специальным регулятором по программе, соответствующей закону изменения y_i . Однако в любой, заданный момент времени подобие функционирования подсистемы-аналога и подсистемы-оригинала будет иметь место, если

$$c_{yi}(t) = c_{xji}^{\alpha_i}(t) c_{zji}^{\beta_i}(t) c_{sji}^{\gamma_i}(t). \quad (8)$$

Стохастическое изменение выходной характеристики y_i системы-аналога может быть реализовано специальным устройством с обязательным использованием обратных отрицательных связей. Однако, совокупность регуляторов, элементов обратных связей и самих подсистем представляет собой уже системы, анализ подобия функционирования которых рассматривается далее.

Таким образом, весьма кратко раскрытая сущность метода подобия функционирования подсистем позволяет определить его основные особенности и области предпочтительного использования. При этом исследуются функциональное соответствие параметров подсистемы и внешней среды, подобие функционирования подсистемы, подобие функционирования подсистем-аналогов.

2.2. Подобие функционирования систем

Система обладает свойством подобия функционирования, если отвечает одновременно таким его пяти принципам:

- функциональному соответствию параметров подсистемы и внешней среды;
- функциональному соответствию подсистем системы;
- подобию функционирования подсистем;
- подобию функционирования системы;
- подобию функционирования систем-аналогов.

Функциональное соответствие в целом формулируется так: подсистемы, в совокупности представляющие систему определенного функционального назначения, обладают свойством функционального соответствия, если:

-параметры подсистем и среды объединены множествами функциональных зависимостей:

-параметры связей объединяемых подсистем однородны и объединены в множества, состоящие между собой в отношениях включения, пересечения или объединения.

Необходимые и достаточные условия третьего принципа подобия функционирования подсистем исследуемой системы определяются видом каждой подсистемы и ее целевой задачей.

Необходимые и достаточные условия четвертого принципа подобия функционирования системы определяются видом объединения подсистем системы и ее целевой задачей.

Пятый принцип – это принцип подобия функционирования системы-оригинала и системы-аналога. Сущность указанных принципов раскрывается ниже.

Автором исследовано подобие функционирования таких систем: с последовательным, параллельным, комбинированным объединением подсистем; с объединением подсистем, работающих в режиме нагруженного или ненагруженного резервирования; с обратными связями и др.

В качестве примера рассмотрим условия, порядок и содержание анализа подобия функционирования систем с обратными связями.

Этот вид подобия функционирования систем с обратными связями является одним из важнейших направлений исследования метода подобия функционирования. Во-первых, это важно в гносеологическом аспекте, так как обратные связи обязательно присутствуют в любой управляемой системе. Во-вторых, задача достижения и сохранения подобия функционирования систем по отношению к заданным начальным условиям или аналогам является основной задачей проблемы подобия функционирования. И решение этой задачи в большинстве случаев желательно осуществлять посредством регулирования или управления системами за счет использования обратных связей.

Рассмотрим принцип подобия функционирования системы с обратной связью и управлением по входному воздействию (рис.1). Здесь управляемая подсистема 1 с параметрами $Y_{ic}, X_{jic}, Z_{jic}, S_{jic}$ совместно с другой, управляющей подсистемой - регулятором 2 с параметрами $S_{jip}, X_{jip} = Y_{ic}, Z_{jip}, U_{ip}$, включенным в обратную связь «выход-вход» подсистемы 1, и сравнивающим устройством 3 представляют замкнутую систему.

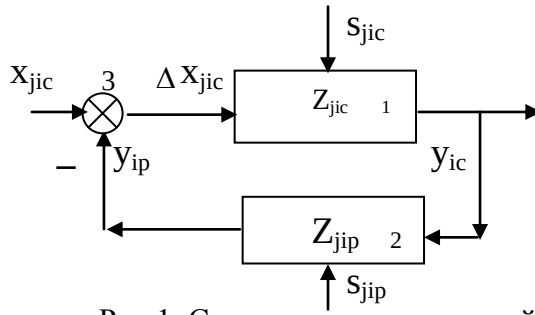


Рис.1. Система с отрицательной обратной связью

Функциональное соответствие подсистем данной системы определяется такими выражениями:

$$\left. \begin{aligned} x_{jip} &= y_{ic} = idem; \\ \dim y_{ip} &= \dim x_{jic}; \\ x_{jic} - y_{ip} &= \Delta x_{jic}; \\ y_{ip} &= f_{ic}(x_{jic}, z_{jic}, s_{jic}); \\ y_{ip} &= f_{ip}(x_{jip}, z_{jip}, s_{jip}). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Система уравнений (9) интерпретируется следующим образом: входным воздействием регулятора является выходная характеристика системы; размерности выходной характеристики регулятора и входного воздействия системы совпадают; управляющим воздействием системы является сигнал сравнивающего устройства отрицательной обратной связи; выходные характеристики реализующей системы и регулятора являются функциями входных задающих и внешних возмущающих воздействий, а также параметров системы и реализуемых ею внутренних процессов.

Подобие функционирования для основной подсистемы 1 (с целью реализации условия $y_{ic} = idem = const$) определяется такими выражениями:

$$\pi_{y_{ic}} = \frac{y_{ic}}{(\Delta x_{jic}^{\alpha_{ic}} z_{jic}^{\beta_{ic}} s_{jic}^{\gamma_{ic}})} = idem = const; \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} c_{\Delta x_{jic}}^{\alpha_{ic}} c_{z_{jic}}^{\beta_{ic}} c_{s_{jic}}^{\gamma_{ic}} \end{aligned} \right|_{c_{y_{ic}} = 1} = 1. \quad (11)$$

Аналогично, для того, чтобы регулятор выполнял заданные алгоритмом свои функции, должны выполняться условия:

$$\pi_{y_{ip}} = \frac{y_{ip}}{y_{jic}^{\alpha_{ip}} z_{jip}^{\beta_{ip}} s_{jip}^{\gamma_{ip}}} = idem = const; \quad (12)$$

$$\frac{c_{y_{ip}}}{(c_{y_{ic}}^{\alpha_{ip}} c_{z_{jip}}^{\beta_{ip}} c_{s_{jip}}^{\gamma_{ip}})} = 1. \quad (13)$$

При возможных изменениях значений внутренних параметров z_{jic} или (и)

внешних возмущающих воздействий и S_{jic} изменение значения задающего воздействия Δx_{jic} должно быть таким, чтобы выполнялось равенство (11).

При возможных изменениях возмущающего и задающего воздействий (а значит и регулируемой величины y_{ic}) регулятор должен выполнять свои заданные функции, т.е. должно выполняться условие (13). При этом значение комплекса

$$(c_{zjip}^{\beta ip} c_{sjip}^{\gamma ip}) = K_{oc} \quad (14)$$

представляет собой коэффициент передачи регулятора. Изменение K_{oc} определяет чувствительность и быстродействие регулятора. Закон регулирования выходной характеристики в таком случае описывается выражением:

$$C_{yip} / C_{yic}^{a ip} = K_{oc}. \quad (15)$$

При этом показатель α_{ip} может быть любым положительным, отрицательным или дробным числом – в зависимости от физической природы и вида функциональных зависимостей.

Подобие функционирования системы (получение и поддержание в заданных пределах значения выходной характеристики y_{ic} , т.е. $C_{yic}=1$), будет иметь место, если будут иметь место, полученные из выражений (9), (11) и (13) такие условия функционирования:

$$\begin{aligned} C_{yip} &= C_{yic}^{\alpha ip} k_{oc}; \\ C_{\Delta x jip} &= 1 - C_{yip}; \\ C_{\Delta x jip} &= \frac{1}{\frac{\beta_{ic}}{C_{zic}^{\alpha ic}} \frac{\gamma_{ic}}{C_{sic}^{\alpha ic}}} \end{aligned} \quad (16)$$

Если принято, что в процессе работы регулятора параметры z_{jip} и s_{jip} не изменяются, то $K_{oc} = 1$ и из выражения (16) следует, что регулятор реализует такой закон регулирования:

$$C_{yip} = C_{yic}^{\alpha ip} \cdot k_{oc} \Big|_{k=1} = C_{yic}^{\alpha ip}. \quad (17)$$

Как видно из выражения (14) путем поднастроек регулятора по параметрам z_{jip} и s_{jip} можно изменять значение K_{oc} по отношению к исходной настройке, изменяя тем самым чувствительность регулятора или компенсируя возможные разрегулировки, внешние воздействия регулятора.

Сравнивающее устройство 3 реализует уравнение связи (18) в относительных величинах, равных отношениям текущих и номинальных значений параметров.

$$1 - C_{yip} = \frac{x_{jic}}{x_{jic_o}} - \frac{y_{ip}}{y_{ip_o}} = c_{xic} - c_{yic}. \quad (18)$$

Решив совместно (16), (17) и (18), получаем общее уравнение подобия

функционирования системы с отрицательной обратной связью:

$$\begin{aligned} c_{xi_c} &= c_{yic}^{1/\alpha_{ic}} + c_{yic}^{\alpha_{ip}} (k_p k_{oc}) = \\ &= c_{yic}^{\alpha_{ip}} (c_{yic}^{1/\alpha_{ic} - \alpha_{ip}} k_p k_{oc}) \end{aligned} \quad (19)$$

где K_p - коэффициент передачи основной подсистемы 1 (см. рис.1).

Подобие функционирования системы-оригинала и системы-аналога будет иметь место, если будут выполняться одновременно условия функционального соответствия, подобия функционирования подсистем, а их индикаторы подобия (4) будут равны единице.

3. Моделирование подобия функционирования систем

В общетеоретическом смысле под моделированием понимают осуществление каким-либо способом отображения или воспроизведения действительности для изучения имеющихся в ней объективных закономерностей [5]. Однако, в аспекте рассматриваемой проблемы, цель моделирования значительно шире. Здесь основной целью является обеспечение реализации объективных закономерностей действительности на основе их изучения и обобщения. Поэтому дадим такую формулировку. Моделирование подобия функционирования систем – это осуществление каким-либо способом отображения или воспроизведения соответствия объективных закономерностей функционирования систем с сходственными функциями и воздействиями.

Математическое описание принципов подобия функционирования систем, рассмотренных в пункте 2, представляет собой математическую модель подобия их функционирования в общем виде. Вводя в эту модель значения однозначности конкретной физической системы-оригинала, определяют численные значения критериев подобия. В результате получают исходную математическую модель подобия функционирования систем определенного класса. На основе этой модели создаются различные виды моделей-аналогов для отображения или воспроизведения соответствующих параметров функционирования системы-оригинала в зависимости от задачи исследования. При этом могут быть решены все традиционные для моделирования задачи: прямые задачи анализа, обратные задачи анализа, задачи синтеза (инверсные), индуктивные задачи.

Метод моделирования подобия функционирования может использоваться на различных стадиях «жизненного цикла» систем (проектирование, диагностика и управление состоянием, реализация взаимозаменяемости подсистем, модернизация), в том числе систем, типа «человек – машина – среда», «техника – технология – продукция», «человек – одежда – среда» и др.

Литература

1. Федосин С.Г. Физика и философия подобия от преонов до метagalactic. – Пермь, 1999. – 543 с.
2. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. – Таганрог: ТРТУ; М.: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.

3. Ерохина Е.А. Исследование систем: конструктивный подход. – <http://www.tomsk.ru/r/Scientific/Pat8/index.htm>.
4. Основы теории подобия и моделирования: Сб. рекомендуемых терминов. – М.: Наука, 1987.
5. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования. – М.: Высш. шк., 1984.
6. Першин В.А., Дровников А.Н. Моделирование подобия функционирования систем // Новые технологии управл. движением техн. об-ов: Матер. 3-й Междунар. Научно-техн. конф. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000.

346500 г. Шахты, ул. Шевченко, 147, ЮРГУЭС, т. 2-17-40, e-mail: us@sssu.ru

УДК 681.322.001.57

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ВЫБОРА ОБЪЕКТА

Игнатъев В.М., Чубова Л.В.

При построении критерия оценки эффективности объекта можно применить следующие модели. Будем считать, что объект описывается рядом показателей, которые являются презентабельными после снижения размерности системы показателей [1]. Количество показателей, характеризующих объект, может достигать значительного числа. Предлагается определить значимость каждого показателя в системе оценивания объекта или упорядочить их по степени эффективности, то есть по какому-то критерию. Оценивание объекта можно провести с помощью системы оставшихся после снижения размерности системы показателей методом главных компонент [2]. Пусть число рассматриваемых объектов равно n , а число оставшихся после снижения размерности системы показателей объекта - m . С помощью метода главных компонент можно построить показатели, которые будут являться линейной комбинацией исходных показателей. Компоненты - это линии, которые пройдут на множестве m показателей таким образом, что точки, характеризующие объекты, будут максимально располагаться вдоль этих линий. В этом случае рассматриваемые объекты можно классифицировать.

Для оценки объекта на положительный эффект необходимо исходную систему показателей x_{ij} , $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, m$, "рандомизировать на успех". Показатели, значение которых желательно иметь максимальными, в j -ом столбце преобразуются по следующей формуле:

$$a_{ij} = (x_{ij} - \min x_{ij}) / (\max x_{ij} - \min x_{ij}), \quad (1)$$

где минимальные и максимальные значения показателей в j -ом столбце.

Показатели, значение которых желательно иметь минимальными, вычисляются по следующей формуле:

$$a_{ij} = (\max x_{ij} - x_{ij}) / (\max x_{ij} - \min x_{ij}). \quad (2)$$

Значение всех показателей будут принадлежать отрезку $[0, 1]$ и принимать значение вероятности "успеха". Если на матрице A , "рандомизированной на успех" построить главные компоненты, то они дадут упорядочение объектов на эффективность и позволят выявить значимость показателей. А главная компонента при подстановке показателей объекта может являться критерием успе-

ха F_1 для каждого объекта, если достоверно описывает объект. Если значения главной компоненты характеризуют объект не с достаточной достоверностью, то рассчитывается вторая и третья компоненты, которые ортогональны друг к другу. Значения компонент для объектов принимают отрицательные и положительные значения. Для перехода к положительной характеристике объекта, точка перехода через ноль переносится в то место, где не имеется отрицательных значений объекта. Положительные значения компонент являются проекциями вектора - критерия F_1 , который находится по формуле расстояния.

Для оценки объекта на отрицательный эффект необходимо исходную систему показателей x_{ij} , $i=1,2,\dots,n$, $j=1,2,\dots,m$, "рандомизировать на риск". Показатели с желательным минимальным эффектом (например, затраты), риск которых желательно иметь максимальным, вычисляются по следующей формуле:

$$b_{ij} = (x_{ij} - \min x_{ij}) / (\max x_{ij} - \min x_{ij}). \quad (3)$$

Показатели b_{ij} с минимальным риском (например, прибыль или эффективность) преобразуются по формуле аналогичной (2).

Если на матрице B , "рандомизированной на риск", построить главные компоненты, то они дадут упорядочение объектов по риску функционирования. Главная компонента является тогда критерием риска F_2 для каждого объекта. Если значения главной компоненты не характеризуют объект достоверно, то критерий F_2 находится по формуле расстояния из проекций первой, второй или третьей компонент. Эффективным обобщенным критерием оценки каждого объекта F будет отношение критерия F_1 к критерию F_2 . Значение критерия F характеризует модель "риск - успех" на максимум.

Все показатели рандомизированных матриц A и B принимают значения $[0,1]$, то есть они принадлежат m -мерному кубу со стороной, равной единице. Наилучшим вариантом на успех для матрицы A является точка C с показателями, равными единице. Расстояние от любой точки, которая характеризует объект, до наилучшей точки C определяется по формуле расстояния:

$$S_i = \sqrt{(1-a_{i1})^2 + (1-a_{i2})^2 + \dots + (1-a_{im})^2}. \quad (4)$$

Критерий (4) необходимо минимизировать. Вариантом с наибольшим риском для матрицы B также является точка C с показателями, равными единице. Расстояние от любой точки, которая характеризует риски объекта, до точки C определяется по формуле:

$$D_i = \sqrt{(1-b_{i1})^2 + (1-b_{i2})^2 + \dots + (1-b_{im})^2}. \quad (5)$$

Чем больше значение критерия (5), тем менее рисковое функционирование на i -ом объекте. Отношение критерия S_i к критерию D_i образует критерий R , значение которого характеризует модель "риск - успех". Значение критерия R необходимо минимизировать.

Предлагаемые выше критерии F , F_1 , F_2 , S , D , R использовались при сравнении и оценке водопользования в орошаемых хозяйствах [3] и оценке применимости узкотраншейных дренажников [4].

Литература

1. Игнатьев В.М. Уменьшение числа показателей системы // Мелиорация антропогенных ландшафтов. – Новочеркасск: НГМА, 1998. – Т.5. – С. 98-104.

2. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
3. Игнатъев В.М., Шевченко В.П. Производственная функция эффективности хозяйственного водопользования // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Общественные науки. – 2000. – № 3. – С. 45-48.
4. Игнатъев В.М., Миронов В.И. К оценке применимости узкотраншейных дренажников // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. Науки. – 2000. – № 1. – С. 30-32.

НГМА, г. Новочеркасск. Тел. (862-52) 5-55-48. . E-mail: ybd@ngma.novoch.ru

УДК 519.681

КОНТЕКСТНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ В МОДЕЛИРОВАНИИ

Иосенкин В.Я., Выхованец В.С.

Решение любой задачи всегда связано с проникновением в соответствующую предметную область. Предметы и события, лежащие в основе понимания информации, необходимой для решения задачи, составляют предметную область задачи. Предметная область представляется состоящей из абстрактных объектов (сущностей). Сущности предметной области находятся в определенных отношениях друг к другу (ассоциациях), которые также можно рассматривать как сущности и включать в предметную область. Совокупность сущностей, между которыми наблюдаются различные отношения подобия, составляет группу сущностей, являющуюся новой сущностью этой предметной области.

Отношения между сущностями выражаются с помощью суждений (мысленно возможных ситуаций, которые могут иметь или не иметь места для рассматриваемых сущностей). В языке (формальном или естественном) суждениям соответствуют лексические конструкции (предложения). Предложения также можно рассматривать как сущности и включать в предметную область. Совокупность лексических конструкций, характеризующих предметную область, будем называть знаниями об этой предметной области.

Универсальным языком представления знаний является естественный язык. Использование естественного языка в компьютерных системах наталкивается на трудности из-за присущих ему нерегулярностей, двусмысленностей, неоднозначностей, неопределенностей и т.п. Главное препятствие заключается в отсутствии формальной семантики естественного языка, которая имела бы достаточно эффективную операционную поддержку. Как известно, современные технологии программирования реализуются в рамках языков программирования, порождаемых узким классом контекстно-свободных формальных грамматик. Ограничением выразительных качеств этих языков программирования является бесконтекстность правил вывода, что не согласуется с явлением контекстной интерпретации слов в естественных языках и, как следствие этого, уменьшает надежность программирования, затрудняет, устанавливает непреодолимый барьер между языком программирования и естественным языком.

В рамках компонентной технологии предлагается контекстная система программирования, позволяющая снизить расходы на программирование, по-

высить надежность и безопасность кода [1]. Контекстный язык близок к естественным языкам и представлен в виде полуконтекстной формальной грамматики. В качестве вычислительного механизма использован магазинный автомат, имеющий 2 (3) стека: стек операндов, стек адресов возврата (стек контекста). Использование третьего стека позволяет реализовать динамическое связывание при произвольном контексте и произвести динамическую генерацию кода. Для привязки программы к конкретной вычислительной системе некоторые понятия, называемые первичными, определяются низкоуровневыми средствами, например, на языке ассемблера.

Приведем грамматику языка контекстного программирования *Esse* [2]. Язык *Esse* позволяет приблизить процесс проектирования программных средств к парадигмам постановки и решения многих прикладных задач.

```

program ::= '{' knowledge '}' text
knowledge ::= essence | essence '.' knowledge
essence ::= name 'is' visible nation 'that' description
visible ::= 'public' | 'protected' | 'private'
description ::= sentence | sentence ';' description
sentence -> context words 'makes' nations 'so' definition
context ::= '[' nations ']'
words ::= term | term words | nation local | nation local words
nations ::= nation local | nation local nations
definition ::= token | token definition
local ::= 'as' name
term ::= '"' token '"' | '"' token '"' term

```

Программа состоит из декларации знаний о предметной области *knowledge* и описания некоторой ситуации *text*, которая является исполняемой частью программы. Определяемые сущности *essence* образуют понятия *nation* с именами *name* находящиеся в отношении наследования. Каждое понятие определяется лексическими конструкциями *sentence*. В последних задается контекст их применения *context*, последовательность *words* терминальных знаков *term* и понятий *nation*, производящих новый контекст *result* путем выполнения действий *definition*.

В *definition* используются ранее описанные лексические конструкции и локальные значения понятий *local* из определяемой конструкции, посредством чего формируются значения нового контекста.

Лексемы *token* представляют собой последовательности знаков, разделенных пробельными знаками или знаками пунктуации, которые, в свою очередь, также являются лексемами.

Для привязки программы к конкретной вычислительной системе некоторые понятия, называемые первичными, определяются низкоуровневыми средствами *assembler* в виде последовательности команд *command*.

Предлагаемый язык наиболее близок к языку программирования *FORTH* и является его полной объектно-ориентированной модификацией без использования обратной польской записи выражений.

Выразительные возможности языка *Esse* соответствуют полукон-

текстной формальной грамматике, в которой терминальные и нетерминальные знаки **В...В** интерпретируются в зависимости от левого контекста **А...А** и в результате интерпретации получается новый контекст **С...С**:

$$\mathbf{A...AB...B \rightarrow C...C.}$$

Код представляется в виде дерева сущностей essence, состоящих из синтаксических конструкций sentence, определяемых через ранее декларированные сущности или в командах command некоторой виртуальной машины. Дерево мигрирующего кода подгружается в заданную точку дерева сущностей виртуальной машины.

Программа состоит из знаний, характеризующих предметную область (декларативные знания) и описания некоторой ситуации, которая является исполняемой частью программы (императивная часть). Императивная часть побуждает к определенным действиям, заложенным в словаре для данного действия, но с учетом ситуации созданной в императивной части (выполнение осуществляется с учетом контекста). Т.е. такая декомпозиция позволяет ожидать разных действий, как в результате изменения исполняемой части, так и описательной, и, кроме того, в зависимости от подключенного в данный момент дерева словарей.

Перечень терминальных объектов, которые могут обрабатываться, задается как при проектировании системы (базовые сущности), так и в коде самой программы (пользовательские сущности). Ими могут быть целые вещественные числа, идентификаторы, строки, списки и т. п. Семантика терминальных объектов определяется набором команд, оперирующих с ними, например: арифметические действия над числами, сравнение между собой строк или идентификаторов, операции ввода-вывода, включающие необходимые трансформации представлений, и т. д.

Использование языка контекстного программирования позволяет сократить число ошибок, возникающих из-за семантического разрыва между применяемыми языковыми средствами и математической моделью предметной области и, тем самым, повысить скорость и надежность разработки программ, в особенности связанных с пониманием естественно-языковых текстов, планированием поведения, обучения, принятия решений, управления изменениями среды и др.

Литература

1. Выхованец В.С. Контекстная технология программирования // Телеком-99: Труды IV Междунар. науч.-техн. конф. по телекоммуникациям. – Одесса, 1999. – С. 116-119.
2. Выхованец В.С. Технология безопасного программирования // Проблемы управления безопасностью сложных систем: Тезисы докладов 8-й Междунар. конф. – М., 2000. – Т. 2. – С. 89-91.

3300, Молдова, Тирасполь, ул. 25 Октября, д.128, Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, т. (233) 3-64-22, e-mail: srb@tdsu.tirastel.md

ДАТЧИКИ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ДВОИЧНЫХ ЧИСЕЛ С МНОГОКАСКАДНЫМ ВЫРАВНИВАНИЕМ

Ермаков В.Ф., Гудзовская В.А., Мурадова И.В.

В работе [1] подробно описан метод получения равномерно распределенных псевдослучайных двоичных чисел, на основе которого были разработаны схемы датчиков [2,3]. Для снижения подготовительных затрат на заполнение блоков памяти (БП) этих устройств или увеличения периода повторяемости формируемого потока чисел в статье предлагается датчик случайных чисел (ДСЧ) с многокаскадным выравниванием и с двумя вариантами реализации.

Схема первого варианта этого датчика (рис. 1) содержит генератор 1 прямоугольных импульсов (ГПИ), $n=2^k$ ($k=2$ – число каскадов выравнивания вероятностей) датчиков 2–5 исходных последовательностей двоичных случайных чисел (ДИПДСЧ), регистр 6, пирамидальную матрицу, элементами которой являются $n-1$ групп 7 – 9 элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, переключатель 10 и резистор 11.

Схема второго варианта датчика (рис. 2) содержит ГПИ 1, $n=k+1$ ($k=3$) ДИПДСЧ 2–5, регистр 6, матрицу конвейерного типа, элементами которой являются $n-1$ групп 7–9 элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, переключатель 10 и резистор 11.

В основном варианте ДИПДСЧ 2–5 (рис. 3, а) содержат счетчик 12, БП 13, первый 14 и второй 15 элементы И-НЕ.

Один из ДИПДСЧ 2–5 (например, 2 – рис. 3, б) содержит счетчик 12, БП 13 и элемент НЕ 14.

В ДИПДСЧ 2 – 5 используются двоичные счетчики 12, например, 8-разрядные. В БП 13 предварительно заносятся двоичные многоразрядные числа, например, 8-разрядные, распределенные по равномерному закону.

Первый вариант датчика (рис. 1) работает следующим образом.

При замыкании контактов переключателя 10 на входах установки нуля счетчиков 12 всех ДИПДСЧ 2 – 5 появляется единичное напряжение, что приводит к их установке в нулевое состояние. Выходной код счетчиков 12, соот-

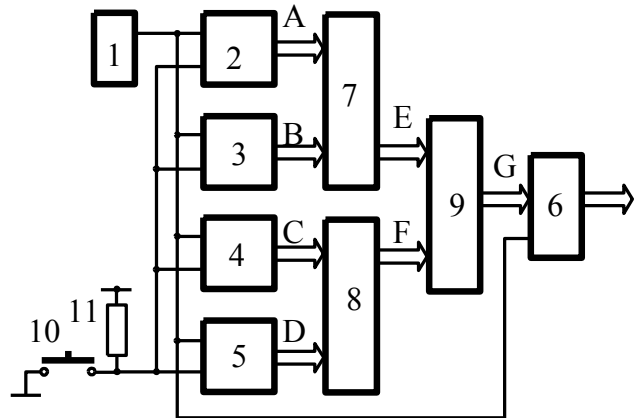


Рис. 1. Первый вариант схемы датчика случайных чисел с многокаскадным выравниванием ($k=2$)

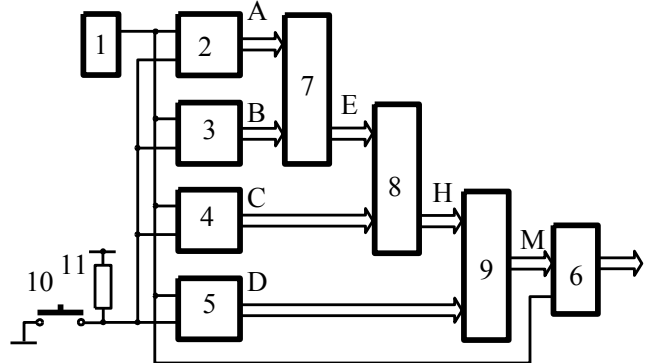


Рис. 2. Второй вариант схемы датчика случайных чисел с многокаскадным выравниванием ($k=3$)

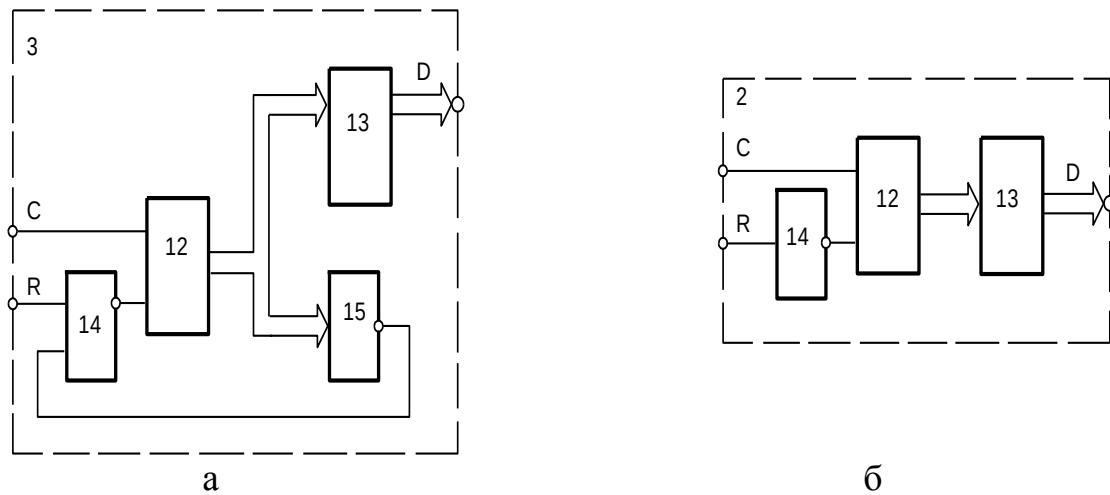


Рис. 3. Варианты реализации схемы датчика
исходной последовательности двоичных случайных чисел

ветственно, ко входам БП 13 – в результате на их выходах появляются двоичные 8-разрядные числа А, В, С, D, хранящиеся в ячейках с адресом 00000000. Эти числа прикладываются, соответственно, к первым и вторым входам первого столбца пирамидальной матрицы групп 7 – 8 элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ. На выходе последних появляются двоичные 8-разрядные числа Е и F, получающиеся как результат сложения по модулю два поданных попарно с выходов ДИПДСЧ 2 – 5 чисел А, В, С, D. Этот результат пропускается последней группой 9 элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, соответствующей вершине пирамидальной матрицы, на вход регистра 6. По переднему фронту первого импульса с выхода ГПИ 1 результат суммы G с выхода группы 9 элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ записывается в регистр 6. В результате в первом такте на выходе датчика появляется число G, получающееся как результат двойного попарного сложения по модулю два четырех многоразрядных чисел А, В, С, D, хранящихся в ячейках БП 13 с адресом 00000000 ДИПДСЧ 2 – 5.

По заднему фронту первого импульса с выхода ГПИ 1 содержимое счетчиков 12 всех ДИПДСЧ 2–5 становится равным 00000001. При на выходах ДИПДСЧ 2–5 появляются, соответственно, новые числа, хранящиеся в ячейках БП 13 с адресом 00000001. Новое значение числа G записывается в регистр 6 по переднему фронту следующего импульса с выхода ГПИ 1.

В следующих тактах датчик работает аналогично.

После окончания 251-го такта ГПИ 1 содержимое счетчиков 12 ДИПДСЧ 5 становится равным 11111011. При этом все входные сигналы элемента И-НЕ 15 ДИПДСЧ 5 (который используется в 7-входовом исполнении, причем его входы подключены к 1, 2, 4–8 разрядам выхода счетчика 12 ДИПДСЧ 5) становятся единичными, на его выходе появляется нулевое напряжение, которое, проходя через элемент И-НЕ 14, преобразуется в единичное напряжение и обнуляет содержимое счетчика 12 ДИПДСЧ 5. В результате в 252-м такте на выходе БП 13 ДИПДСЧ 5 появляется число, хранящееся в его первой ячейке с адресом 00000000. При этом содержимое счетчиков 12 ДИПДСЧ 2 – 4 продолжает увеличиваться.

Аналогичным образом путем использования 7-входного элемента И-НЕ 15, подключаемого к 1, 3–8 разрядам выхода счетчика 12, длительность периода работы (и, соответственно, количество заложенных в БП 13 двоичных случайных чисел исходной последовательности) ДИПДСЧ 4 задается равной 253 тактам ГПИ 1.

Аналогичным образом путем использования 8-входного элемента И-НЕ 15, подключаемого к 1–8 разрядам выхода счетчика 12, длительность периода работы ДИПДСЧ 3 задается равной 255 тактам ГПИ 1.

В качестве ДИПДСЧ 2 используется вариант его реализации, изображенный на рис. 3, б. В этом случае длительность периода работы ДИПДСЧ 2 оказывается равной 256.

Использование ДИПДСЧ 2–5 с длительностями периодов их работы, выражаемыми взаимно-простыми числами, позволяет генерировать на выходе датчика последовательность случайных чисел, длительность периода которых равняется произведению длительностей исходных последовательностей, т.е. в рассматриваемом примере

$$256 \times 255 \times 253 \times 251 = 4145475840.$$

Таким образом, благодаря тщательному "перемешиванию" чисел из БП 13 ДИПДСЧ 2–5 (с помощью их последовательного попарного сложения по модулю два каждым столбцом пирамидальной матрицы элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 7–9 со сдвижкой адресов ячеек БП 13 на единицу через цикл работы счетчика 12 в каждом ДИПДСЧ 2–5) на выходе датчика формируется последовательность равномерно распределенных слабо-коррелированных случайных двоичных чисел.

Второй вариант датчика (рис. 2) работает следующим образом.

Динамика работы первого и второго вариантов датчика одинакова. Разница заключается лишь в получаемых в каждом j-том столбце матрицы числах. В частности, на выходе элемента первого столбца матрицы, группы элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 7, появляется число E, как результат сложения по модулю два чисел A и B исходных последовательностей, так же как и в первом варианте датчика.

Однако, на выходе элемента второго столбца матрицы, группы элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 8, появляется уже число H, как результат сложения по модулю два чисел E и C – здесь уже наблюдается отличие от первого варианта датчика.

На выходе третьего столбца матрицы, группы элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 9, появляется число M, как результат сложения по модулю два чисел H и D и т.д.

Таким образом, на выходе первого варианта датчика формируется последовательность равномерно распределенных слабо коррелированных случайных двоичных чисел G, а на выходе второго варианта датчика – иная последовательность также равномерно распределенных слабо-коррелированных случайных двоичных чисел M.

Преимуществом предлагаемого датчика по сравнению с известными яв-

ляется повышение качества моделирования при формировании потока равномерно распределенных случайных двоичных чисел за счет многокаскадного выравнивания их вероятности и снижения корреляционной взаимосвязи. Схемы первого и второго вариантов ДСЧ легко реализуются на широко распространенных интегральных микросхемах отечественного производства.

Литература

1. Ермаков В.Ф., Гудзовская В.А. Метод моделирования случайных равномерно распределенных двоичных чисел // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 1994. – № 3-4. – С. 15–18.
2. Патент 2103725 РФ МПК G06F 7/58. Датчик случайных чисел с равномерным распределением/ Ермаков В.Ф., Гудзовская В.А. – 1998, Бюл. № 3.
3. Патент 2103726 РФ МПК G06F 7/58. Датчик случайных чисел с равномерным распределением повышенной точности / Ермаков В.Ф., Гудзовская В.А. – 1998, Бюл. № 3.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. ЭППиГ, 55-650.

УДК 628.001.573

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИВАЮЩИХСЯ СИСТЕМ ГОРОДСКИХ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ.

Кучевский В.А.

Реалиями большинства современных крупных городов, в настоящее время, становится ряд актуальных проблем, связанных с обеспечением потребителей разрастающихся как селитебных, так и промышленных зон застройки необходимыми коммуникационными сетями. Веерное отключение электроэнергии, недостаток напоров в системах городского горячего и холодного водоснабжения, сбои в работе линий транспортировки ливневых, бытовых и промышленных стоков, традиционные аварии на сетях теплотрасс в зимний период, и многое другое – вот перечень лишь некоторых из них. Не последнее место в ряде причин обуславливающих такое положение вещей занимает несоответствие систем инженерных коммуникаций запросам потребителей; притом, что количественные и качественные критерии запросов потребителей постоянно изменяются и уточняются.

Исходя из всего вышесказанного, необходимым условием проектирования, устройства и реконструкции современных сетей инженерных коммуникаций, является мощный инструмент средств математического моделирования поведения систем в условиях изменения (развития) качественных и количественных характеристик потребителей.

Развитие является целостным единым процессом необратимого изменения сложных систем. Особенность описания сложных систем развивающихся городских коммуникаций заключается в том, что решаемые практические задачи, требуют глубокого изучения отдельных объектов и явлений, что не всегда выполнимо, т.к. изучение таких систем в естественных условиях ограничено их сложностью, а иногда бывает невозможно вследствие того, что нельзя провести

натурный эксперимент. В этих условиях моделирование (физическое, логическое, математическое) является единственно-доступным методом исследования. Общая теория систем, понимаемая в широком смысле, охватывает комплекс математических и инженерных дисциплин, начиная с кибернетики и кончая инженерной психологией.

Для выявления наиболее общих закономерностей поведения системы необходимы макромоделю, которые имеют наиболее высокий уровень обобщения. Построение такой модели проводится в несколько этапов: концептуальная модель, модель процесса самоорганизации, собственно математическая модель, т.е. уравнение, описывающее поведение системы; и наконец, машинная модель, реализующая алгоритм решения этого уравнения.

Литература

1. Айламазян А.К., Стась Е.В. Информатика и теория развития. – М: Наука, 1989. – 170 с.
2. Глушков В.М., Иванов В.В., Яненко В.М. Моделирование развивающихся систем. – М: Наука, 1983. – 337 с.

346428, Россия, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ(НПИ).

СОДЕРЖАНИЕ

Воронцов Г.В., Федий В.С. Обобщенные методы вариационного исчисления, векторной оптимизации и нелинейного программирования в теории управления техническими системами.....	4
Бузало Г.А., Зарифьян О.П., Сорока М.В. Дифференциально-алгебраические уравнения в задачах динамики систем твердых тел.....	11
Бузало Г.А., Зарифьян О.П., Сорока М.В. Численные методы интегрирования дифференциально-алгебраических уравнений	17
Терпугов А.Ф., Устинова И.Г. Выделение тренда среднего случайного процесса при наличии линейного тренда дисперсии.....	25
Петрикевич Я. И., Щекочихина С. Г. Структурно-параметрическая идентификация нелинейных объектов на примере интегрального звена с отсечкой.....	27
Заболеева-Зотова А.В., Набока М.В. Представление модели технической системы как нечеткой решетки.....	34
Заболеева-Зотова А.В., Набока М.В., Лапшикова Е.Н. Система автоматизированного формирования задания на моделирование	36
Селезнев К.А. Движение в классической механике – это немарковский процесс	38
Першин В.А. Моделирование подобия функционирования систем	39
Игнатьев В.М., Чубова Л.В. Многокритериальные модели выбора объекта.....	47
Иосенкин В.Я., Выхованец В.С. Контекстное программирование в моделировании..	49
Ермаков В.Ф., Гудзовская В.А., Мурадова И.В. Датчики псевдослучайных двоичных чисел с многокаскадным выравниванием.....	52
Кучевский В.А. Методы и средства моделирования развивающихся систем городских инженерных коммуникаций.....	55

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства
Материалы международной научно-практической конференции
Часть 7

Технический редактор: Чебанов И.Р.

ЛР № 020417 12.02.1997 г. Подписано в печать 08.05.2001 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.
Печ. л. 3,5. Тираж 100 экз. Заказ 01/12.

Учебно-производственный центр «Набла»
Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)
346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ.
ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

Материалы
международной научно-практической
конференции

11 апреля 2001 года
г. Новочеркасск

Часть 8

Новочеркасск 2001

УДК 519.688
ББК 22.18 в6
М 74

Организаторы конференции:

Министерство образования Российской Федерации;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Горбатенко Н.И., профессор (РФ) – председатель;
Бахвалов Ю.А., профессор (РФ);
Вурмус Г., профессор (ФРГ);
Загороднюк В.Т., профессор (РФ);
Йегер Г., профессор (ФРГ);
Калленбах Е., профессор (ФРГ);
Ланкин М.В., доцент (РФ) – зам. председателя;
Никитенко Н.Ф., профессор (РФ);
Плаксин В.А., доцент (РФ);
Савельев М.В., профессор (РФ);
Чернов В.Н., профессор (РФ).

Редакционная коллегия:

Горбатенко Н.И. – ответственный редактор;
Плаксин В.А. – зам. ответственного редактора;
Ланкин М.В.

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы междунар.
науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 11 апреля 2001 г.: В 8 ч. / Юж.-Рос.
гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2001. –
Ч. 8. – 64 с.
ISBN 5-88998-266-4

Тексты докладов помещены в сборник, включающий 8 частей. Часть 8 содержит
статьи, посвященные математическим моделям в теплотехнике, гидравлике, геолого-
разведочной и горнодобывающей отраслях.

Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 519.688 :[621.1+621.22+55+622]

ISBN 5-88998-266-4

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2001
© Авторы, указанные в оглавлении, 2001

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) — крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные международные научно-технические контакты, — выступил инициатором проведения ряда международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе INTERNET.

В апреле 2001 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие представители вузов Москвы, Минска, Тирасполя, Санкт-Петербурга, Тулы, Днепропетровска, Новгорода, Екатеринбурга, Тамбова, Владикавказа, Омска, Томска, Новочеркасска и других городов России и ближнего зарубежья. На конференцию представлено 164 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из восьми частей. Каждая часть содержит материалы по одному или нескольким научным направлениям.

Первая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию в строительстве.

Во вторую часть вошла первая половина статей о математическом моделировании социальных и экономических процессов.

Третья часть содержит вторую половину докладов о математическом моделировании социальных и экономических процессов, а также статьи, посвященные физическому моделированию в науке и технике и учебно-методическим вопросам преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Четвертая часть включает доклады, посвященные математическому моделированию технологических процессов.

Пятая часть содержит статьи о математических моделях в энергетике, электромашиностроении, химии и металлургии.

В шестую часть вошли доклады, посвященные математическим моделям в медицине, биологии и экологии, а также математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем.

Седьмая часть включает доклады, освещающие общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений.

Восьмая часть содержит статьи о математических моделях в теплотехнике и гидравлике, в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, и с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУИ

Боровской В.П.

Разработка математических моделей разного класса сложных струйных течений базируется, как правило, на модели обычной затопленной турбулентной струи. Турбулентная струя в настоящее время достаточно подробно изучена. Однако, полученные на основе теории турбулентности модели струи порой громоздки, имеют сложный и неудобный для осуществления практических расчётов вид. Преобладающий в теории турбулентных струй статистический подход обуславливает необходимость рассмотрения течения в струе последовательно по трём характерным участкам (начальному, переходному и основному), что зачастую делает эти модели неудобными или непригодными для решения более сложных прикладных задач струйной гидравлики.

В настоящей работе предпринята попытка разработать на основе гидравлического расчёта модель течения в затопленной осесимметричной турбулентной струе, сведя количество расчётных участков до двух, и на её основе определить скорости эжекции.

При разработке модели были приняты следующие допущения: распределение скоростей в начальном створе струи равномерное, в ядре постоянного полного давления поперечная скорость значительно меньше продольной, касательные напряжения по динамической оси струи равны нулю, профили избыточной скорости во всех поперечных сечениях струи - аффинны.

Ширина водообменного слоя δ (рис. 1) в пределах начального участка пропорциональна текущей координате x и, согласно [1], определяется по формуле

$$\delta = C x, \quad (1)$$

где C - параметр расширения водообменного слоя, который в [2] определяется по зависимости

$$T = K_{\delta} \kappa^2 / \alpha_n = const;$$

K_{δ} - постоянная дифференцирования, определяется по профилю скорости и, согласно [1], равна 2,19; κ - опытная безразмерная константа [1]; α_n - плановый корректив количества движения полной эпюры скоростей, определяемый по максимальной скорости [3] (для $U_{\infty} = 0$, $\alpha_n = 0,37$).

Условие распределения плотности импульса в поперечном сечении слоя смешения характеризуется равенством количества движения жидкости, поступающей из ядра в слой смешения и в самом слое, то есть:

$$(r_o^2 - r_{\text{я}}^2) U_o^2 = \alpha_{o\delta} [(r_{\text{я}} + \delta)^2 - r_{\text{я}}^2] U_o^2, \quad (2)$$

где r_o , $r_{\text{я}}$ - радиусы струеформирующего сопла и ядра струи; U_o - скорость истечения из струеформирующего сопла; $\alpha_{o\delta}$ - объемный корректив количества движения, найденный по максимальной скорости при $U_{\infty} = 0$, определяется по

формуле

$$\alpha_{об} = \frac{\int U^2 d\omega}{U_o^2 \omega} \approx \frac{2\alpha_n r_{я}/\delta + \frac{\alpha_n}{2}}{2r_{я}/\delta + 1}.$$

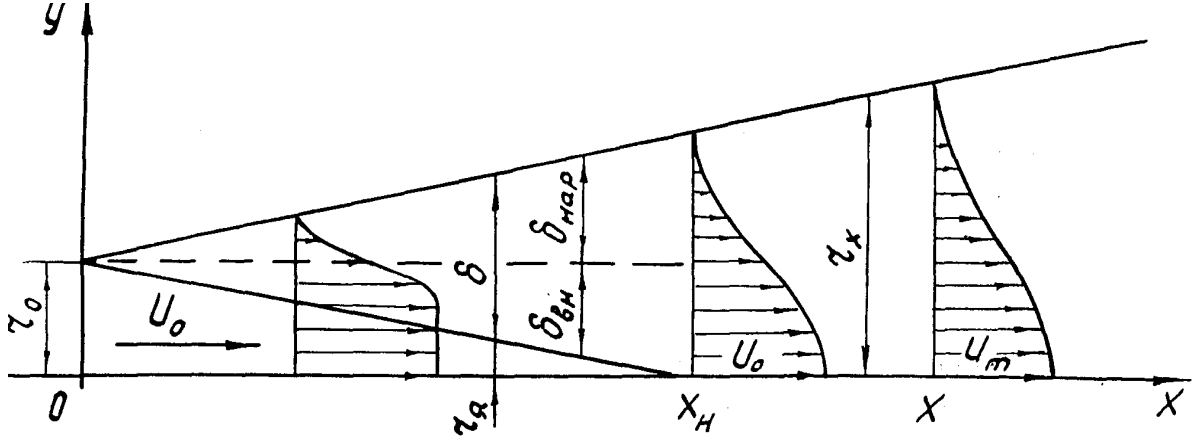


Рис.1. Схема течения

Из (2) получаем следующую зависимость для радиуса ядра:

$$r_{я} = \alpha_{об} \left[\sqrt{\delta^2 (1 - \alpha_{об}^{-1}) + (r_o / \alpha_{об})^2} - \delta \right], \quad (3)$$

из которой, при условии $r_{я} = 0$, $\delta = r_n$, находим длину начального участка и радиус струи в конце его по следующим формулам:

$$x_n = r_o / (C \sqrt{\alpha_{об}});$$

$$r_n = \delta|_{x_n} = r_o / \sqrt{\alpha_{об}}.$$

По известной ширине ядра и толщине слоя смешения, определяется радиус струи на начальном участке по формуле

$$r_x = r_{я} + \delta.$$

При выводе расчетных зависимостей для основного участка воспользуемся методикой, предложенной в работе [4]. Для этого выделим элемент жидкости длиной dx с полурадиусом $\bar{r}$ (рис. 2) и составим для него уравнение количества движения, которое в проекции на ось x имеет следующий вид:

$$\rho (\bar{r} + d\bar{r})^2 (U_m - dU_m)^2 / 2 - \rho \bar{r}^2 U_m^2 / 2 = \tau_{\delta} \bar{r} dx, \quad (4)$$

где τ_{δ} - касательное напряжение в слое смешения на линии максимального градиента скорости, определяется по формуле Прандтля [2] и, согласно [4], равно $\tau_{\delta} = \rho K_{\delta} \kappa^2 U_m^2$.

После преобразования (4) получаем простейшее дифференциальное уравнение для полурадиуса струи

$$d\bar{r} = K_{\delta} \kappa^2 dx,$$

интегрируя которое в диапазоне изменения переменных ($\bar{r}_n \div \bar{r}$, $x_n \div x$) получаем зависимость для радиуса струи на основном участке следующего вида:

$$r_x = 2\bar{r} = r_n + 2K_{\delta} \kappa^2 (x - x_n). \quad (5)$$

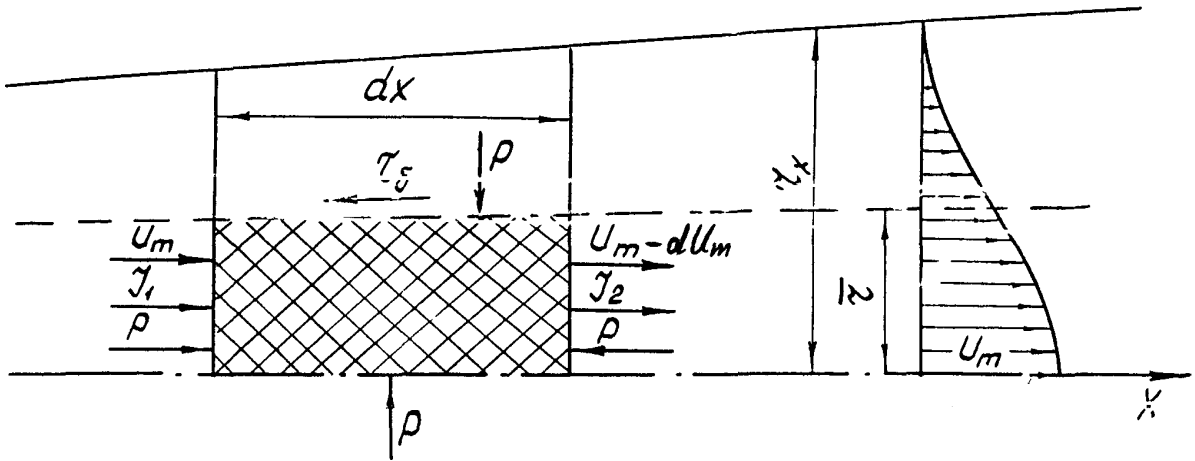


Рис.2. Расчетная схема

Следует отметить, что наилучшее соответствие с экспериментом достигается при $\kappa = 0,2$ и $C = 0,29$. Причём в этом случае величина $2K_\delta \kappa^2 \approx \alpha_{об}$ и зависимость (5) упрощается до следующего вида:

$$r_x = r_n + \alpha_{об}(x - x_n).$$

Скорость на динамической оси U_m определяется из условия постоянства полного импульса J в поперечных сечениях струи F в направлении x [1, 5], то есть $J = \rho \int U dF = const$, или

$$Q_o U_o = \alpha_{об} Q_x U_m.$$

Откуда находим скорость на динамической оси

$$U_m = U_o r_o \left[r_o + \alpha_{об}^{1,5} (x - x_n) \right]^{-1}.$$

Для описания распределения осредненных локальных скоростей течения в слое смешения удобно использовать универсальный профиль Шлихтинга [1] с уточнённым, согласно [2], показателем степени

$$U/U_m = \left[1 - (y_i/\delta)^{1,77} \right]^2.$$

Разработанная математическая модель осесимметричной затопленной турбулентной струи позволяет получить необходимые для практических расчетов кинематические характеристики струи. Исходными данными для этого являются размеры струеформирующего насадка и скорость истечения из него.

Сопоставление расчета с другими методиками свидетельствует об удовлетворительной сходимости скоростных параметров. Так, размеры начального участка по данным из работы [5] и по представленному расчету - практически совпадают ($x_n/r_o \approx 8$). Угол расширения струи на основном участке по данным [5] составляет 20° , а по расчету - $20,3^\circ$. Совпадение геометрических параметров на основном участке обуславливает и сопоставимость скоростных характеристик в силу действия закона постоянства полного импульса в поперечных сечениях струи.

К достоинству разработанной модели струи следует отнести прежде всего наличие двух расчётных участков, что значительно упрощает модель. Помимо этого, наличие криволинейного очертания внешней границы струи на начальном участке обеспечивает плавное сопряжение его с основным, что в

большей степени соответствует действительности. Относительная простота полученных зависимостей позволяет легко определить скорость эжекции $U_э$ по длине струи.

Количество жидкости, подтекаемое к круглой струе из внешней среды, определяется путем интегрирования профилей скорости.

Скорость эжекции выражается следующей зависимостью:

$$U_э = Q'_x / (2 \pi r_x), \quad (6)$$

где Q_x - текущий объемный расход струи, который для основного участка определяется по формуле

$$Q_x = \frac{\pi U_o r_o}{3 \sqrt{\alpha_{об}}} [r_n + \alpha_{об} (x - x_n)]. \quad (7)$$

После преобразований (6), с учётом (7), получаем зависимость для скорости эжекции на основном участке, следующего вида:

$$U_э|_{x > x_n} = \frac{\alpha_{об} U_o}{6} \cdot \frac{r_o}{r_o + \alpha_{об}^{1,5} (x - x_n)}.$$

Подобным образом определяется скорость эжекции на начальном участке

$$U_э|_{x < x_n} = \frac{Q_n - Q_o}{2 \pi x_n [r_o (1 - x/x_n) + C x]}.$$

В соответствии с разработанной моделью скорость эжекции в начальном створе струи составляет $U_э \approx 0,052 U_o$, а в конце ядра: $U_э = 0,022 U_o$.

Литература

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Под ред. Л.Г. Лойцянского. – М.: Наука, 1969. – 742 с.
2. Боровской В.П. Входные оголовки рыбоходов и рыбоходно-нерестовых каналов: Автореферат ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1990.
3. Боровской В.П. Расчет параметров привлекающего рыбу потока, формирующегося в условиях одностороннего сброса // Рыбозащитные сооружения и устройства: Сб. ст. / НИМИ – Новочеркасск: НИМИ, 1989. – С. 41-54.
4. Боровской В.П., Шкура В.Н. Гидравлический расчет параметров привлекающего рыбу потока в случае образования зоны пониженных скоростей, формирующегося в условиях несимметричного сброса спутных расходов // Экология, экономика, право. Концепции и модели: Межведомственный сборник ст. – Ростов-на-Дону: РИО СКНЦ ВШ, 1992. – С. 75-85.
5. Теория турбулентных струй. Изд. 2-ое, перераб. и доп. / Под ред. Г.Н. Абрамовича. – М.: Наука, 1984. – 716 с.

346428 г. Новочеркасск, ул. Пушкинская 111, НГМА, каф. СР, т. 5-55-22, 5-57-69

УДК 532.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУИ

Боровской В.П.

Газожидкостные струи относятся к разряду сложных двухфазных тече-

ний, состоящих из смеси газа и жидкости. Такие струи применяются в энергетике, гидротехнике, металлургии, авиации и других областях техники. Подобные струи возникают при смешении воздуха с водой в водовоздушных эжекторах или в специальных струеформирующих насадках многосопловых промывных устройств водозаборов электростанций. Анализ литературных источников показывает, что в отличие от однофазных турбулентных струй и газожидкостных, создаваемых истечением газа в жидкость (рис. 1), практически отсутствуют материалы по струям, формирующимся при истечении двухфазной газожидкостной смеси в жидкость, что затрудняет создание и внедрение в технику новых перспективных конструкций и технологий. Данная работа посвящена разработке на основе гидравлического расчёта математической модели затопленной осесимметричной газожидкостной струи, формирующейся при истечении двухфазной газожидкостной смеси в жидкость.



Рис.1. Схема компактной газожидкостной струи:

1 – струеформирующий насадок; 2 – газовое ядро струи; 3 – газокпельная смесь; 4 – пузырьковая смесь; 5 – граница газокпельного участка

При выводе расчетных зависимостей для определения кинематических параметров струи были приняты следующие допущения: распределение скоростей в начальном сечении струеформирующего насадка равномерное; в ортогональных координатах, связанных с осью струи, параметры её соответствуют параметрам затопленной турбулентной газожидкостной струи с прямолинейной траекторией движения; размер пузыря газа намного меньше ширины струи; профили избыточной скорости во всех поперечных сечениях струи - аффинны. Исходными данными для расчёта являются: глубина погружения насадка H , радиус струеформирующего насадка r_0 , скорость истечения из насадка U_0 , коэффициент аэрации k_a , плотность жидкости и газа при атмосферном давлении ρ_w и ρ_{go} .

Определяющая, активная роль в формировании газожидкостной струи отводится начальному участку. Здесь энергия потока, выходящего из струеформирующего насадка, затрачивается на формирование слоя смешения δ , образующего ядро постоянного полного давления, который в теории турбулентных струй описывается линейным законом с параметром расширения C_{gw} [1, 2]

$$\delta = C_{gw} \cdot x. \quad (1)$$

С учётом принятого допущения аффинности профилей скорости, для описания распределения скоростей в слое смешения воспользуемся универсальным профилем Шлихтинга с уточненным показателем степени [3, 2]

$$(U_i - U_\infty)/(U_m - U_\infty) = [1 - (y_i/\delta)^{1.77}]^2.$$

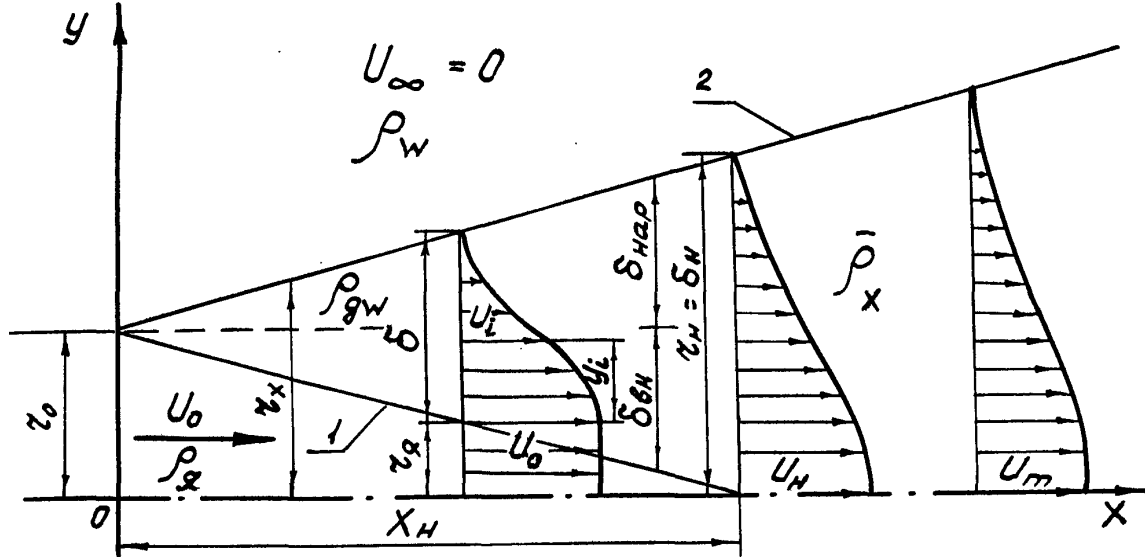


Рис.2. Схема течения в газожидкостной струе:

1 – граница ядра постоянного полного давления (ядра струи); 2 – граница струи

Распределение плотности импульса в поперечном сечении слоя смешения на начальном её участке характеризуется равенством количества движения в ядре струи и слое смешения и может быть выражено следующим соотношением:

$$\rho_{\text{я}}(r_o^2 - r_{\text{я}}^2)U_o^2 = \alpha_{об}\rho_{gw}[(r_{\text{я}} + \delta)^2 - r_{\text{я}}^2]U_o^2,$$

где $\rho_{\text{я}}$ и ρ_{gw} – осредненные плотности среды ядра и слоя смешения; $\alpha_{об}$ – объемный корректив количества движения, найденный по максимальной скорости в слое смешения, определяется по следующей формуле:

$$\alpha_{об} = (0,74r_{\text{я}}/\delta + 0,185)(2r_{\text{я}}/\delta + 1)^{-1}.$$

Из формулы (3) получаем следующую зависимость для радиуса ядра:

$$(r_o^2 - r_{\text{я}}^2)\rho_{\text{я}}/\rho_{gw} = \alpha_{об}\delta(2r_{\text{я}} + \delta). \quad (2)$$

Плотность в ядре струи можно выразить через коэффициент аэрации [4] следующей формулой:

$$\rho_{\text{я}} = \rho_w - k_a(\rho_w - \rho_{go}).$$

Плотность газа в пузырьке ядра определяется в соответствии с законами термодинамики по зависимости

$$\rho_{go} = \rho_{ga}(1 + H/P_{ga})(1 + U_o^2/(2gP_{g\infty})),$$

где ρ_{ga} и P_{ga} – плотность газа и давление на поверхности жидкости; $P_{g\infty} = P_{ga} + H$ – давление в пузырьке газа на глубине H .

Осуществив подобные преобразования для слоя смешения, определяем в

нём плотность среды по следующей зависимости:

$$\rho_{gw} = \rho_w - (\rho_w - \rho_{\text{я}}) \left(r_o^2 - r_{\text{я}}^2 \right) \left[\delta(r_{\text{я}} + \delta/3) \right]^{-1}.$$

Зная радиус ядра (2) и ширину слоя смешения (1) вычисляем радиус газожидкостной струи на начальном участке по следующей формуле:

$$r_x = r_{\text{я}} + \delta.$$

Ширина слоя смешения в конце ядра определяется по условию $r_{\text{я}} = 0$ и равна

$$\delta_{\text{н}} = r_{\text{н}} = r_o \sqrt{\rho_{\text{я}} / (\alpha_{об} \rho_w) + 3(1 - \rho_{\text{я}} / \rho_w)},$$

а длина начального участка находится из (1) и составляет

$$x_{\text{н}} = \delta_{\text{н}} / C_{gw}.$$

Основной участок струи в сравнении с начальным является инерционным, с ярко выраженным затуханием динамики водообменных процессов, характеризуется резким падением скорости на динамической оси при соблюдении постоянства количества движения в поперечном сечении струи и массового расхода газа на участке удержания пузырей в теле струи.

Радиус газожидкостной струи на этом участке определяется по следующей зависимости:

$$r_x = r_{\text{н}} + \alpha_{об}(x - x_{\text{н}}). \quad (3)$$

Скорость на динамической оси определяется по условию постоянства полного импульса в поперечных сечениях струи

$$\bar{\rho}_x \cdot r_x^2 \cdot U_m^2 = \bar{\rho}_{\text{н}} \cdot r_{\text{н}}^2 \cdot U_0^2,$$

откуда, с учётом (3), получаем

$$U_m = U_o r_{\text{н}} \left[r_{\text{н}} + \alpha_{об}(x - x_{\text{н}}) \right]^{-1} \sqrt{\bar{\rho}_{\text{н}} / \bar{\rho}_x},$$

где $\bar{\rho}_{\text{н}}$ и $\bar{\rho}_x$ - средние в сечении плотности при $x_{\text{н}}$ и на основном участке.

Для определения $\bar{\rho}_{\text{н}}$ и $\bar{\rho}_x$ следует учесть сжимаемость газа. Так как на пузырь газа в теле газожидкостной струи, помимо сил гидростатического давления, действует скоростной напор, то эпюра плотности будет неравномерной (рис. 3). Избыток локальной плотности газа в профиле $\Delta\rho_{gi}$ определяется по формуле

$$\Delta\rho_{gi} = \rho_{g\infty} U_i^2 / (2g P_{g\infty}). \quad (4)$$

Определив объем фигуры, образующейся вращением вокруг динамической оси криволинейного треугольника ABC, путём интегрирования (4) по сечению струи, находим осреднённую в сечении струи плотность газа

$$\bar{\rho}_{gx} \Big|_{x > x_{\text{н}}} \approx \rho_{g\infty} + \alpha_{об} \rho_{g\infty} U_m^2 / (2g P_{g\infty}),$$

зная которую, по аналогии с выводом ρ_{gw} , определяем плотность $\bar{\rho}_x$ по следующей зависимости:

$$\bar{\rho}_x = \rho_{go} \cdot \bar{E}_x + \rho_w (1 - \bar{E}_{gx} \rho_{go} / \bar{\rho}_{gx}), \quad (5)$$

где $\bar{E}_{gx}$ - безразмерный параметр, характеризующий текущую относительную концентрацию газа в струе, равен

$$\bar{E}_{gx} = k_a U_o r_o^2 / (\bar{U}_x r_x^2).$$

Отношение $\rho_{go}/\bar{\rho}_{gx}$ в формуле (5) для скоростей течения в газожидкостной струе, не превышающих местную скорость звука, можно принять, согласно [4, 5], равным единице, тогда формула (5) упростится до следующего вида:

$$\bar{\rho}_x = \rho_{go} \cdot \bar{E}_{gx} + \rho_w (1 - \bar{E}_{gx}).$$

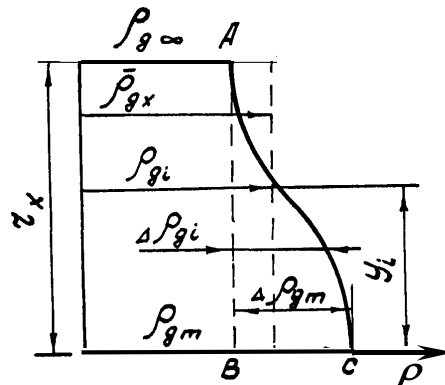


Рис.3. Расчетная схема

С учётом принятых допущений разработанная математическая модель позволяет смоделировать векторное поле скоростей течения в газожидкостной затопленной осесимметричной струе - на длине компактной части.

Литература

1. Теория турбулентных струй. Изд. 2-ое, перераб. и доп. / Под ред. Г.Н. Абрамовича. — М.: Наука, 1984. — 716 с.
2. Боровской В.П. Входные оголовки рыбоходов и рыбоходно-нерестовых каналов: Автореф. ... канд. техн. наук. — Новочеркасск, 1990.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Под общ. ред. Л.Г. Лойцянского. — М.: Наука, 1969. — 742 с.
4. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. 3-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 352 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. Изд. 6-е, перераб. и доп. — М.: Наука, 1987. — 840 с.

346428 г. Новочеркасск, ул. Пушкинская 111, НГМА, каф. СР, т. 5-55-22, 5-57-69

УДК 532.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСИ ПОЛУОГРАНИЧЕННОЙ СТРУИ, ФОРМИРУЮЩЕЙСЯ ВБЛИЗИ ПРОНИЦАЕМОГО ЭКРАНА

Боровской В.П.

Важность изучения турбулентных полуограниченных струй объясняется их большим значением для интенсификации или ослабления процессов переноса импульса и тепла, протекающих вблизи стенки, и оптимизации рабочего процесса технологических аппаратов в целом. Такие процессы встречаются при

струйной защите поверхностей от воздействия высоких температур и химически агрессивной среды, в авиационной и ракетной технике, в регенеративных и химических аппаратах, в вентиляционной технике и пневмо-гидроавтоматике. Полуограниченные струйные течения широко используются для непрерывной термообработки металлов, увеличения срока службы стен и сводов металлургических печей, в приборах струйной автоматики, в элементах гидротехнических сооружений [1]. Практический интерес представляет задача, связанная с определением размеров области очистки фильтрующего экрана.

Данная работа представляет фрагмент модели пристенного струйного течения полуограниченной осесимметричной турбулентной струи вблизи проницаемого, фильтрующего экрана. Основой для построения математической модели является расчёт траектории струи $Z = f(x)$ на криволинейном участке свободного (струйного) развития до примыкания к экрану.

При небольших значениях угла подъема струеформирующего насадка от поверхности водопроницаемого экрана (φ_o) и высоты его расположения над экраном (Z_o), соизмеримой с размером насадка (r_o), струя искривляется под влиянием разрежения, возникающего между областями потенциального течения, индуцируемого струей во внешней среде, расположенными в свободной части пространства над струей, и в части, ограниченной водопроницаемым экраном.

На размер криволинейного участка существенное влияние оказывает сквозность фильтрующего экрана (m). В реальных условиях эксплуатации технических устройств сквозность может изменяться от минимального значения (при сильном засорении) - до максимального (при чистом экране). Наличие подтекания из-под проницаемого экрана в зону разрежения способствует выравниванию давления под струей и, при $m=1$, давление восстанавливается полностью, разрежение - исчезает, струя - выпрямляется.

При разработке математической модели принимались следующие допущения: в ортогональных координатах, связанных с осью струи, ее параметры соответствуют параметрам обычной затопленной турбулентной струи; подтекание жидкости из внешней среды к телу струи происходит в плоскости поперечного сечения струи; профили скорости в поперечных сечениях слоев смешения - аффинны.

Задача решена по условию радиального равновесия выделенного элемента струи и сводится, в первую очередь, к определению разрежения [2, 3]. В ходе решения получено дифференциальное уравнение следующего вида:

$$\Pi_o \cdot Z^2 \cdot Z'' = - \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{Z \sqrt{\alpha_{ob}}}{\left[r_o + \alpha_{ob}^{1,5} (x - x_n) \right]} \right)^2 (x - x_n) \sqrt{1 + Z'^2},$$

где x_n - длина начального участка струи; Π_o - параметр, равный

$\frac{4\pi}{\alpha_y \cdot \alpha_{ob}^{1,5} (1-m)}$; $\alpha_{ob} = 0,185$ - корректив количества движения определённый

по максимальной скорости в струе.

Аналитически решить это уравнение не удастся. Однако, предварительно задавшись начальными условиями: $Z(x_o) = Z_o + x_n \cdot \sin \varphi_o$ и $Z'(x_o) = \operatorname{tg} \varphi_o$, его можно разложить в ряд Тейлора:

$$Z|_{x>x_n} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{Z^{(k)}(x_o)}{K!} (x - x_n \cdot \cos \varphi_o)^k,$$

где значения производных составляют:

$$Z''(x_o) = \frac{r_o}{P_o} \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{Z(x_o)}{r_n} \right)^2 \frac{\sqrt{1 + Z'(x_o)^2}}{Z(x_o)^2};$$

$$Z'''(x_o) = -\frac{1}{P_o Z(x_o)^2} \left[\frac{r_o Z'(x_o) Z''(x_o) \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{Z(x_o)}{r_n} \right)}{\sqrt{1 + Z'(x_o)^2}} - \right.$$

$$\left. - \frac{2r_o r_n Z'(x_o) \sqrt{1 + Z'(x_o)^2}}{r_n^2 + Z'(x_o)} \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{Z(x_o)}{r_n} \right)^2 - \right.$$

$$\left. - 2P_o Z(x_o) Z'(x_o) Z''(x_o) \right].$$

Удовлетворительное согласование с экспериментом наблюдается при разложении уравнения до производной третьего порядка, при значении $\alpha_y \approx 3$.

Литература

1. Сакипов З.Б. Теория и методы расчета полуограниченных струй и настильных факелов. – Алма-Ата: Наука, 1978. – 204 с.
2. Шандоров Г.С. Расчет оси струи в сносящем потоке // Изв. вузов. Авиационная техника. – 1966. – № 2. – С. 100-104.
3. Теория турбулентных струй. Изд. 2-ое, перераб. и доп. / Под ред. Г.Н. Абрамовича. – М.: Наука, 1984. – 716 с.

346428 г. Новочеркасск, ул. Пушкинская 111, НГМА, каф. СР, т. 5-55-22, 5-57-69

УДК 532.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУИ

Боровской В.П.

Газожидкостные струи применяются в энергетике, гидротехнике, металлургии, авиации и других областях техники. Анализ литературных источников показывает отсутствие материалов по струям, формирующимся при истечении двухфазной газожидкостной смеси в жидкость. В частности, отсутствие методик по расчету траектории таких струй, распространяющихся в неподвижной

жидкости, затрудняет проектирование перспективных конструкций и создание новых технологий. Данная работа посвящена разработке на основе гидравлического расчёта математической модели оси затопленной осесимметричной газожидкостной струи, формирующейся при истечении двухфазной газожидкостной смеси в жидкость.

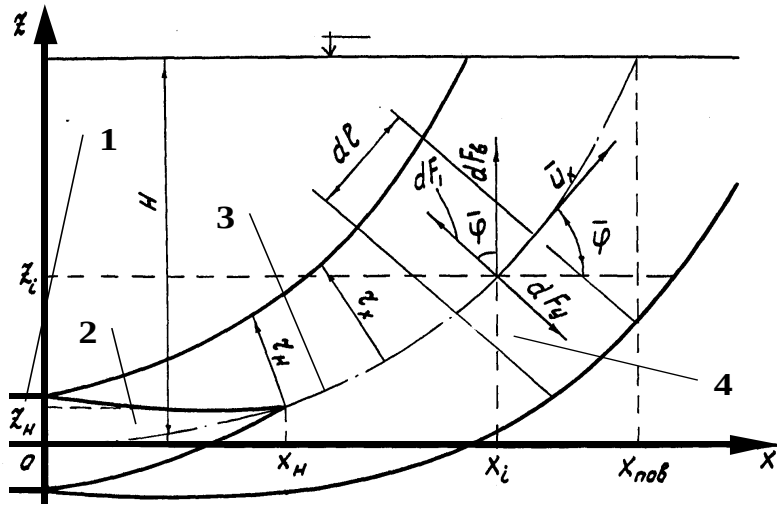


Рис.1. Расчетная схема:

1 – струеформирующий насадок; 2 – ядро струи; 3 – динамическая ось струи; 4 – выделенный элемент жидкости

При выводе расчетной зависимости были приняты следующие допущения: распределение скоростей в начальном сечении струеформирующего насадка равномерное; в ортогональных координатах, связанных с осью струи, параметры её соответствуют параметрам затопленной турбулентной газожидкостной струи; размер пузыря газа намного меньше ширины струи; профили избыточной скорости во всех поперечных сечениях струи - аффинны.

Исходными данными для расчёта являются: глубина погружения насадка H , радиус струеформирующего насадка r_o , скорость истечения из насадка U_o , коэффициент аэрации k_a [1], плотность жидкости и газа при атмосферном давлении ρ_w и ρ_{go} . Основные кинематические параметры газожидкостной струи на криволинейном участке формирования струи определяются по зависимостям, выведенным ранее [2].

Отклонение струи в вертикальном направлении обусловливается действием архимедовой подъемной силы. Задача решается по условию радиального равновесия выделенного элемента струи (рис. 1) и сводится к определению сил, действующих на него [2-5]. В ходе решения получено дифференциальное уравнение следующего вида:

$$\frac{z''}{1+z'^2} = \bar{P}_x [r_n + \alpha_{oo}(x - x_n)]^2, \quad (1)$$

где $\bar{P}_x$ - кинематический параметр, равный $\bar{P}_x = \frac{P_{xo}}{(U_o r_n / 3)^2 \cdot (\bar{\rho}_n / \bar{\rho}_x)} \approx const$.

Приняв обозначение $\bar{z} = dz/dx$ и преобразовав (1) интегрируем его

$$\bar{P}_x \left[(r_n - \alpha_{об} x_n)^2 \int dx + \alpha_{об}^2 \int x^2 dx + 2(r_n \alpha_{об} - \alpha_{об}^2 x_n) \int x dx \right] = \int \frac{d\bar{z}}{1 + \bar{z}^2}$$

и после этого получаем дифференциальное уравнение первого порядка

$$\bar{P}_x \left[(r_n - \alpha_{об} x_n)^2 x + \alpha_{об}^2 \frac{x^3}{3} + \alpha_{об} (r_n - \alpha_{об} x_n) x^2 \right] = \arctg \bar{z} + c_1.$$

Постоянная интегрирования, определяется по начальному условию ($x = x_n$, $z = z'_n$) и составляет

$$c_1 = \bar{P}_x \left[(r_n - \alpha_{об} \cdot x_n)^2 x_n + \alpha_{об}^2 \frac{x_n^3}{3} + \alpha_{об} (r_n - \alpha_{об} x_n) x_n^2 \right] - \arctg z'_n.$$

Вторично проинтегрировать (1) не удастся и в окончательном виде уравнение для оси струи включает в себя определенный интеграл и имеет следующий вид:

$$z = z_n + \int_{x_n}^{x > x_n} \left\{ \bar{P}_x \left[(r_n - \alpha_{об} x_n)^2 x + \alpha_{об}^2 \frac{x^3}{3} + \alpha_{об} (r_n - \alpha_{об} x_n) x^2 \right] - c_1 \right\} dx.$$

С учётом принятых допущений, разработанная математическая модель позволяет смоделировать траекторию двухфазной газожидкостной струи на длине ее компактной части.

Литература

1. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
2. Теория турбулентных струй. Изд. 2-ое, перераб. и доп. / Под ред. Г.Н. Абрамовича. – М.: Наука, 1984. – 716 с.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. Изд. 6-ое, перераб. и доп. – М.: Наука: 1987. – 840 с.
4. Шандоров Г.С. Расчет оси струи в сносящем потоке // Изв. вузов. Авиационная техника. – 1966. – № 2. – С. 100-104.
5. Боровской В.П. Входные оголовки рыбоходов и рыбоходно-нерестовых каналов: Автореф. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1990.

346428 г. Новочеркасск, ул. Пушкинская 111, НГМА, каф. СР, т. 5-55-22, 5-57-69

УДК 532.5

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМЫ ГРАНИЦ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУИ

Боровской В.П.

Вопрос моделирования затопленной турбулентной струи относится к ряду фундаментальных задач струйной гидравлики. Разработке математических моделей турбулентных струй посвящено много работ. Однако, большинство публикаций содержит материалы в обработанном виде – безразмерные профили скоростей, безразмерные скорости на динамической оси и т.д. Главным недо-

статком является то обстоятельство, что обработка результатов экспериментов и их осмысление проводились сквозь призму тех теоретических взглядов на струйные течения, которых придерживался сам автор эксперимента.

При решении целого ряда прикладных задач струйных течений необходимо знание более точной, а не аппроксимированной формы границы струи, а также характеристик ее дальноточности. Ввиду дискретности поверхности тангенциального разрыва, определить реальное положение границ турбулентной струи сложно. По-видимому, этим обстоятельством и можно объяснить малое количество экспериментальных данных о границах струи.

Вопрос о границах струи и форме внешней ее поверхности для конкретных условий решаемой задачи - является сам по себе довольно тонким и требует всестороннего изучения.

Разные авторы высказывают противоречивые суждения на этот счет. Так, в работе [1] утверждается, что внешняя граница струи выпуклая, а в работе [2] - граница показана вогнутой. Материалы экспериментальных исследований плоской струи в работе [3] убеждают в том, что эти границы слегка выпуклые. Исследования плановых струйных течений в работе [4] тоже свидетельствуют о выпуклости внешней границы струи.

В работах [5, 6], криволинейность формы границ объясняется наличием неавтономности, вызванной влиянием начальных условий, которые характеризуются, в первую очередь, неравномерностью распределения скоростей в поперечном сечении начального створа струи. Помимо этого, на форму внешней границы струи влияние оказывает не только начальная неравномерность, но и характеристика векторного поля скоростей в начальном сечении, обусловленная конструктивным решением струеформирующего сопла.

В рамках рабочей гипотезы можно допустить, что результаты исследования границ струи визуальным методом и по распределению осредненных скоростей в струе, могут отличаться. При визуальном анализе формы границ вполне возможно допустить, что неокрашенная, инжектируемая из внешней среды жидкость, создаёт при подтекании в струю, непосредственно перед слоем смешения, неокрашенный слой потенциального течения. А так как, скорость эжекции наибольшая в начальных створах струи, то и неучтённая визуальным методом относительная толщина неокрашенного слоя подтекания будет больше.

Следует отметить, что модель ламинарной затопленной струи имеет выпуклую форму границы. Принятие линейности расширения водообменного слоя смешения [7] упрощает разработку модели турбулентной струи, приводя к разделению ее на три характерных участка (начальный, переходный и основной).

Из эксперимента известно, что затопленная струя отдав энергию окружающей среде, затухает, превращается в ламинарную, и - окончательно гаснет. Принятие условия постоянства импульса в поперечных сечениях струи, является общепринятым и базируется на допущении отсутствия вторичных течений вокруг струи. Принятие этого допущения делает модель струи бесконечно расширяющейся, с асимптотическим уменьшением скорости на ее оси. Из очевидной логики следует, что затопленная турбулентная струя не может иметь прямолинейные границы, так как она полностью вырождается в конце, а шири-

на ее уменьшается до точки. Если при изучении высокоскоростной части струи приемлемо принятие условия постоянства импульса в струе, то при исследовании струи на всем ее протяжении - недопустимо.

В соответствии с вышесказанным, в динамике затопленной струи по ее длине глобально можно выделить два участка: эволюционный, характеризующийся наращиванием массы, и инволюционный, на протяжении которого происходит отдача ранее присоединенной жидкости в окружающую среду (участок релаксации струи). Следует отметить, что размеры этих участков являются важнейшими геометрическими макрохарактеристиками турбулентной струи, а проблема разработки модели затопленной турбулентной струе в приведенной постановке является актуальной.

Литература

1. Gibson M.M., Launder B.E. On the calculation of horizontal turbulent free shear flows under gravitational influence // Trans. ASME. – 1976. – S. 98. – № 1. – P. 81-87.
2. Kotsovinos N. A note on the spreading rate and virtual origin of a plane turbulent jet // Jour. Fluid. Mech. – 1976. – V. 77. – № 2. – P. 305-311.
3. Павловский В.А. Экспериментальное исследование плоской затопленной турбулентной струи: Сб. тр. / – Л.: ЛКИ, 1981. – С. 69-79.
4. Шкура В.Н., Михеев П.А. Гидравлический расчет параметров привлекающего рыбу потока / Новочерк. инж.-мел. ин-т. – Новочеркасск: НИМИ, 1980.
5. Абрамович Г.Н., Крашенинников С.Ю., Секундов А.Н. Неавтономные турбулентные струи // Турбулентные течения: Труды АН СССР. – М.: Наука, 1977. – С. 69-79.
6. Теория турбулентных струй. Изд. 2-ое, перераб. и доп. / Под ред. Г.Н. Абрамовича. – М.: Наука, 1984. – 716 с.
7. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Под ред. Л.Г. Лойцянского. – М.: Наука, 1969. – 742 с.
8. Справочник по гидравлике / Под ред. В.А. Большакова. Изд. 2-ое, перераб. и доп. – Киев: Вища школа, 1984. – 343 с.

346428 г. Новочеркасск, ул. Пушкинская 111, НГМА, каф. СР, т. 5-55-22, 5-57-69

УДК 632.525

ИТЕРАЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В РОТОРНО-ИМПУЛЬСНОМ АППАРАТЕ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ

Промтов М.А., Монастырский М.В.

Роторно-импульсные аппараты (РИА) применяются в различных отраслях промышленности для проведения процессов эмульгирования, диспергирования, экстрагирования, для проведения совмещенных процессов в системах твердое – жидкость, жидкость – жидкость, газ – жидкость [1].

Одной из задач расчета роторно-импульсных аппаратов является определение кинематических и динамических параметров потока жидкости в прерывателе РИА. Прерыватель РИА представляет собой канал ротора и канал статора и радиальный зазор между ротором и статором. При вращении ротора РИА каналы ротора периодически совмещаются с каналами статора. За счет

этого в канал статора генерируются импульсы акустического давления.

Закономерность изменения гидродинамических параметров потока жидкости записывается в виде нестационарного уравнения Бернулли:

$$\beta \cdot l \cdot \frac{dV}{dt} + \xi(t) \cdot \frac{V^2}{2} + \frac{B(t) \cdot v \cdot V}{2 \cdot d_3} = \frac{\Delta P_{\Sigma}}{\rho} - \frac{V^2}{2} \cdot k_V, \quad (1)$$

где β - коэффициент количества движения потока жидкости через прерыватель; $l = l_c + l_p + \delta$ - длина прерывателя; $V(t)$ - средняя по сечению канала статора скорость потока жидкости; $\xi(t)$ - суммарный коэффициент местного гидравлического сопротивления; $B(t)$ - коэффициент гидравлического сопротивления, учитывающий потери напора, линейно зависящие от скорости потока; v - коэффициент кинематической вязкости жидкости; ΔP_{Σ} - общий перепад давления между полостью ротора и камерой статора; ρ - плотность жидкости; l_c, l_p - длина канала статора, ротора; δ - величина зазора между ротором и статором; k_V - коэффициент кинетической энергии.

Коэффициент k_V определяется по соотношению:

$$k_V = \frac{\frac{\Delta P_{\Sigma}}{V_{\max}^2}}{2} \cdot k_1, \quad (2)$$

где $V_{\max}$ - максимальное значение скорости потока жидкости через прерыватель аппарата при совмещении канала ротора с каналом статора; $k_1 = 0,9 \div 0,99$ - коэффициент, устанавливающий максимальную величину падения общего перепада давления.

Коэффициент k_V учитывает функцию изменения перепада давления за счет изменения скоростного напора при совмещении канала ротора с каналом статора. Для нахождения коэффициента k_V устанавливается итерационная процедура. Первоначальное значение скорости $V_{\max}$ определяется при $k_V=0$, а затем методом приближений производится расчет $V_{\max}$ и коэффициента k_V для следующей итерации до тех пор, пока погрешность не будет меньше заданного числа $e=0,005$: $|V_{\max i+1} - V_{\max i}| < e$. Начальные значения ускорения и скорости потока жидкости на каждой итерации рассчитываются по формулам:

$$V(0) = \frac{-\frac{B(0) \cdot v}{2 \cdot d_3} + \sqrt{\left(\frac{B(0) \cdot v}{2 \cdot d_3}\right)^2 + 2 \cdot (\xi(0) + k_V) \cdot \frac{\Delta P_{\Sigma}}{\rho}}}{\xi(0) + k_V}, \quad \left. \frac{dV}{dt} \right|_{t=0} = 0. \quad (3)$$

Блок – схема алгоритма итерационной процедуры приведена на рис. 1.

Учет коэффициента k_V позволяет более точно определить кинематические и динамические характеристики потока жидкости в прерывателе РИА. Актуальность и новизна предложенной методики в том, что в существующих методах расчета гидродинамических параметров прерывистых течений в аппаратах типа РИА не учитывается изменение общего перепада давления при совмещении каналов.

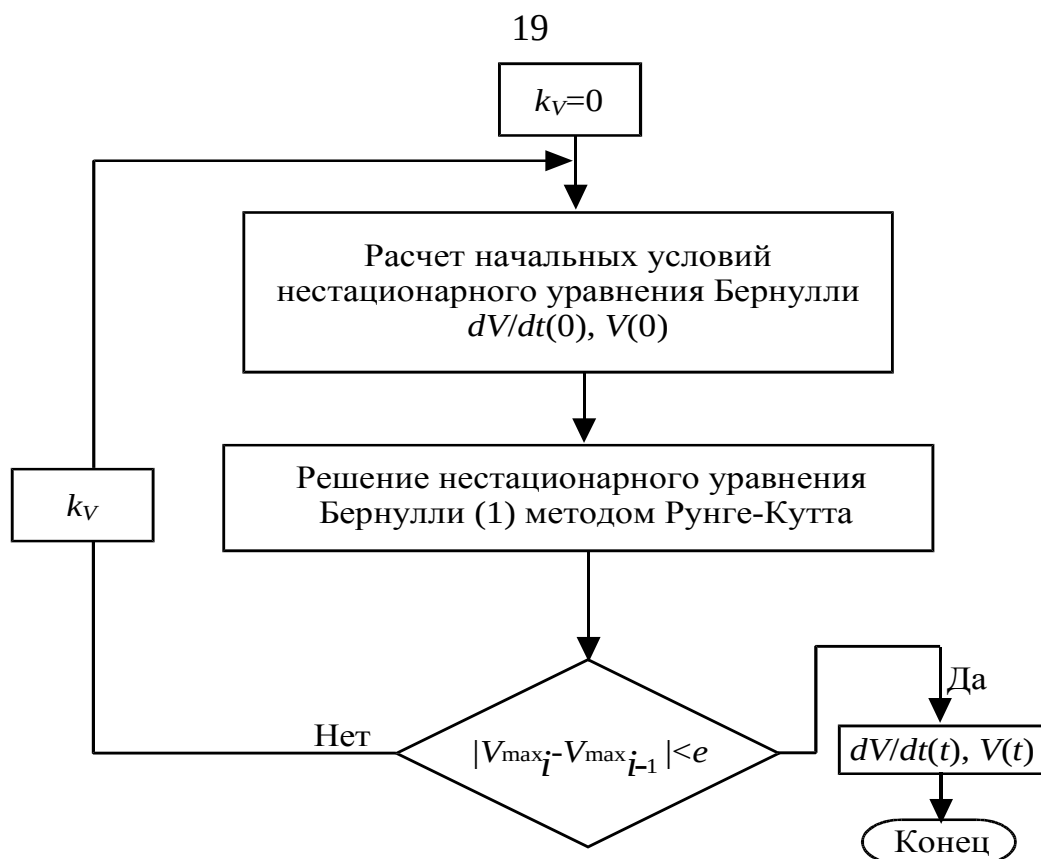


Рис.1 Блок – схема алгоритма итерационной процедуры нахождения коэффициента k_v

Литература

1. Зимин А.И. Прикладная механика прерывистых течений. – М.: Фолиант, 1997. – 308 с.

392620, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, Тамбовский государственный технический университет, телефон: (0752) 72-20-24, факс: (0752) 72-20-24, E-mail: postmaster@decin.tstu.ru

УДК 531.-621.822

СПОСОБ ОПТИМАЛЬНОГО ПО ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ КОРРЕКТИРУЮЩИХ РС-ЗВЕНЬЕВ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ПОШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Дашич П., Привалова О.В., Прокопенко В.А., Скубов Д.Ю.

Одним из наиболее эффективных средств на пути совершенствования технологического оборудования является улучшение динамического качества конструкции отдельных узлов и, в частности, подшипников шпиндельных устройств (ШУ). Тенденция к расширению диапазонов воспринимаемых нагрузок и частот вращения ШУ, связанная с переходом к созданию гибких производственных систем и необходимостью полной реализации возможностей современных режущих инструментов, порождает существенные технические трудности при использовании в опорах ШУ традиционных подшипников качения. Эти трудности связаны с необходимостью регулировки подшипников как для работы в тяжелых режимах резания, происходящих при низких оборотах и не требующих высокой точности, так и для чистовой обработки на максималь-

но возможных частотах вращения. Одним из наиболее эффективных путей решения этих проблем является использование узлов с гидростатическими опорами жидкостного трения (ГСП). Анализ результатов испытаний различных конструкций ШУ показывает заметное преимущество ГСП: повышенная жесткость, нагрузочная способность, термостабильность и т.д. Тем не менее на пути их использования возникают значительные сложности, связанные с необходимостью повышения виброустойчивости во всем диапазоне режимов резания.

Улучшение динамических свойств ГСП в некоторой степени возможно за счет варьирования их конструктивных параметров. Однако в большинстве случаев этот путь мало эффективен. Одним из путей воздействия на динамику ГСП является использование различных корректирующих средств, в частности введение дополнительных RC-звеньев [1].

Выбирая параметры RC-цепи, следует стремиться к повышению виброустойчивости на всем диапазоне частот вращения и возможных нагрузок, но наиболее важным представляется обеспечить достаточную виброустойчивость на чистовых режимах при достаточно высоких оборотах и малых значениях статической нагрузки. В работах авторов [2,3] предложен способ оптимального в смысле наибольшей степени устойчивости выбора параметров RC-звеньев на основе построения корневого годографа характеристического уравнения линеаризованной математической модели ГСП. Один из возможных видов корневого годографа при различных значениях давления питания приведен на рис.1

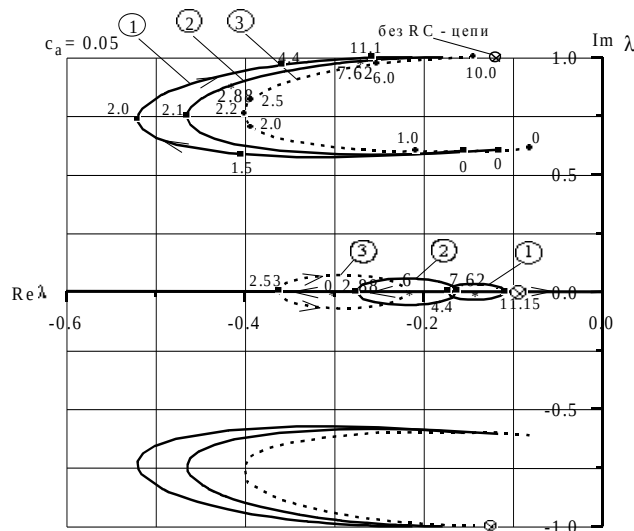


Рис. 1. Корневые годографы базового варианта ГСП при $p_n = 5.0$ МПа (1), $p_n = 7.5$ МПа (2), $p_n = 10.0$ МПа (3)

Максимальной степени устойчивости отвечает такое расположение корней, при котором два вещественных корня, двигаясь при возрастании постоянной времени цепи τ_a навстречу друг другу, сливаясь образуют кратный корень. Как показано в работе [3] за счет оптимального выбора параметров RC-цепи удастся значительно понизить амплитуду вибраций на чистовых режимах. Вместе с тем, как показали дальнейшие исследования, близкий к оптимальному выбор параметров может при малых давлениях питания привести к появлению дополнительного низкочастотного резонанса с относительно низким

демпфированием, что нежелательно с точки зрения виброустойчивости. При высоких давлениях питания (10 МПа и более - для базового варианта) низкочастотный резонансный пик не возникает в силу высокого относительного демпфирования, поэтому указанный способ выбора параметров корректирующей РС-цепи представляется наиболее удачным. Соответствующие двум значениям питания АЧХ построены на рис. 2

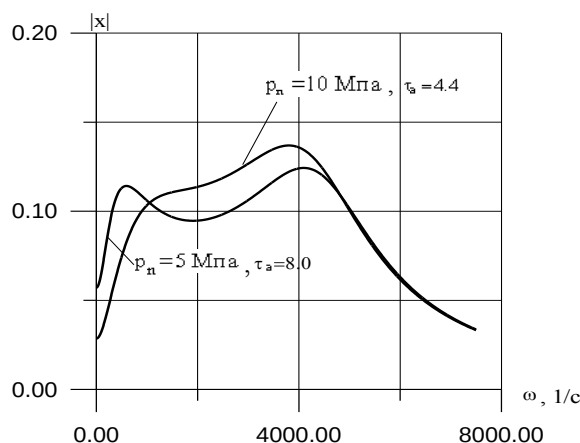


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики шпинделя ГСП при $c_a = 0.05$ и различных уровнях давления питания

Таким образом, предложенный способ выбора параметров корректирующего звена позволяет не только снизить время переходного процесса, но и что более существенно предсказать возможность и указать способ подавления резонанса на низких – наиболее опасных с точки зрения технологического процесса частотах.

Литература

1. Яцкевич А.А. Гидравлическая корректирующая цепь // А.С. 395631. СССР. №1717569. Заявл. 24.11.71. Оpubл. в Б.И., 1973, №35.
2. Привалов В.В., Прокопенко В.А., Скубов Д.Ю. Динамические свойства разомкнутых гидростатических опорных систем. В кн.: Анализ и синтез нелинейных механических колебательных систем (NOMS99). – СПб: ИПМаш, 2000. – С. 442-454
3. Liu Wai, V.V.Privalov, O.V.Privalova, V.A.Prokopenko, D.Ju.Skubov Modelling of dynamics hydrostatic bearings for spindle units of modern machines // In book: 45 IWK2000.- Ilmenau: TUI (Thuringen), 2000. – P. 523-528.

195251 Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, СПбГТУ, каф. МПУ, Скубов Д.Ю.
dsukubov@mail.lanck.net

УДК 519.8: 532.54

МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ И САПР ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Кудаев В. Ч.

1. **Содержательная постановка задачи.** Закрытая оросительная сеть (ЗОС) предназначена для обеспечения благоприятного для вызревания сельскохозяйственных культур водно-солевого режима на орошаемой территории с помо-

щью дождевания из оросителей. Техническая часть ЗОС (которую, собственно, и следует проектировать) состоит из сети трубопроводов, служащих для транспорта воды от места водозабора к гидрантам системы, дождевальных установок, подключаемых к гидрантам и предназначенных для полива территории орошения, и насосной станции (НС), осуществляющей забор и нагнетание требуемого расхода воды с необходимым напором через трубопроводную сеть в оросители. На содержательном уровне задача оптимального проектирования ЗОС состоит в следующем: исходя из заданных координат пунктов потребления воды (гидрантов) и водозабора, зон запрета на прокладку трасс трубопроводов, расходов и напоров воды на гидрантах, описания поверхности территории орошения, задаваемого сортамента труб для прокладки трубопроводов и марок насосно-силовых установок, следует выбрать такое соединение гидрантов с насосной станцией трубопроводами, указав по каждому из них материалы, марки, диаметры, толщины стенок используемых труб и так выбрать марки и количество насосно-силовых установок насосной станции, чтобы при этом общие затраты на создание и эксплуатацию ЗОС в течение заданного количества лет были наименьшими.

2. Моделирование элементов ЗОС.

2.1. Моделирование территории орошения. Территория орошения моделируется геометрическим графом перспективных соединений узлов сети друг с другом. Такое представление удобно тем, что позволяет легко учитывать зоны запрета на прокладку трасс трубопроводов (лесополосы, линии электропередач и т.п.) - соответствующие дуги в графе будут отсутствовать. Введем на территории орошения прямоугольную систему координат, определим координаты каждого гидранта и узла ветвления: $x_i, y_i, z_i, i = \overline{1, n}$. По схеме местности наметим возможные трассы трубопроводов сети, определим для криволинейных участков трасс их длины l_{ij} (для прямых трасс длины вычисляются на ЭВМ) и зададим граф перспективных соединений узлов сети друг с другом $\Gamma(B, D)$, где B - множество вершин сети, D - множество дуг. Тогда математической моделью территории орошения будет геометрический граф $\{\Gamma(B, D); x_i, y_i, z_i \forall i \in B; l_{ij}, \forall ij \in D\}$.

2.2. Модель трубопровода. Пусть на проектирование задан сортамент труб с диаметрами $d_1, d_2, \dots, d_k$ и удельными стоимостями $c_1, c_2, \dots, c_k$. В самом общем случае различные части одной и той же ветви сети могут укладываться трубами различных диаметров из заданного сортамента. Используя формулы гидравлики [1] вычислим предварительно потери напора по γ -ой части ветви, где предполагается укладывать трубы диаметра $d_\gamma, \gamma = \overline{1, k}$, при единичном потоке $g = 1$ по ветви и обозначим эту величину через h_γ . Обозначим, далее, удельную стоимость трубопровода с единичным потоком по нему и удельной потерей h через $C(1, h)$. С учетом такого (наиболее общего) способа конструирования трубопровода имеет место следующая теорема:

Функция $C(1, h)$ является выпуклой, монотонно убывающей, кусочно-линейной функцией, точками излома которой могут быть лишь точки

$(C_\gamma, h_\gamma), \gamma = \overline{1, k}$

Используя эту функцию получим функцию стоимости трубопровода при любом, а не только единичном, потоке - $C(x, h)$. Например, для металлических труб в большом диапазоне скоростей потока имеет место формула [1] $h = 0,00179x^{1,9} / d^{5,1}$. Используя эту формулу, получим $C(x, h) = C(1, h / x^{1,9})$ так как потери напора при потоке x отличаются от потерь на единичном потоке в $x^{1,9}$ раз.

2.3. Моделирование насосной станции. В основу моделирования положен принцип модульного проектирования НС [2]. В качестве строительно-технологических модулей выбраны строительные блоки прямоугольной формы (выпускаемые серийно) 6×4 и 6×6 метров со всем размещенным в них технологическим оборудованием. Всего таких модулей около сорока. Разработана соответствующая документация (Севкавгипроводхоз, г. Пятигорск) [3]. Рабочие характеристики (зависимость напора от расхода) насосно-силовых агрегатов

аппроксимируются полиномами второго порядка $H_m^S = a_s \left(\frac{Q}{m} \right)^2 + b_s \left(\frac{Q}{m} \right) + c_s$, где

$Q_s^- \leq Q \leq Q_s^+$, m - количество НСА работающих параллельно, S - номер НСА в сортаменте НСА. По расходу в сеть Q_1 и диапазону работы насоса $[Q_s^-, Q_s^+]$ можно определить необходимое количество НСА S -того типа и напор H^S обеспечиваемый ими в сеть. Тогда определяется и стоимость НС при формировании ее из строительно-технологических модулей S -того типа $P(Q, H^S) = P^S = m_s \cdot C_s$, где C_s - стоимость одного строительно-технологического модуля S -того типа.

2.4. Моделирование сезонов полива. Весь период полива разбивается на кванты (сезоны). Каждой дождевальная установка сопоставляются в соответствии с периодом вызревания с/х культур и размещением полей севооборота на орошаемой территории определенная последовательность нулей и единиц (орошается, не орошается) ее работы по сезонам полива. Трубопроводы при этом должны рассчитываться на наибольший (пиковый) расход, то есть если x_{ij}^t - поток по ij -ой ветви сети в t -ый сезон полива, ij -ая ветвь сети рассчитывается на расход $x_{ij} = \max \{x_{ij}^t, \forall t \in \Pi\}$, где Π - множество номеров сезонов полива.

3. Постановка задачи оптимального проектирования ЗОС. Задача оптимального проектирования ЗОС ставится следующим образом. Исходя из заданного на проектирование сортамента диаметров труб $d_1, d_2, \dots, d_k$, их удельной стоимости $c_1, c_2, \dots, c_k$, заданного набора насосно-силовых агрегатов $HCA_1, HCA_2, \dots, HCA_l$ и стоимости соответствующих им насосных станций $P^1, P^2, \dots, P^l$, обеспечивающих заданный расход Q_1 в сеть с напорами $H^1, H^2, \dots, H^l$ (об определении P^s и H^s , $s = \overline{1, l}$ было сказано выше), заданного графика поливов, запроектировать сеть, обеспечивающую на гидрантах сети заданные напоры и расходы воды и имеющую наименьшие затраты на ее со-

здание и эксплуатацию в течение заданного количества лет.

Математическая модель задачи имеет следующий вид:

$$\begin{cases} z = \alpha \sum_{ij \in D} c_{ij}(x_{ij}, h_{ij}) l_{ij} + \beta P^s + \gamma Q_1 H^s \rightarrow \min, \\ \sum_{i \in \Gamma_j^+} x_{ij}^t - \sum_{k \in \Gamma_j^-} x_{jk}^t = g_j^t, \quad \forall j_{\neq 1} \in B \text{ и } \forall t \in \Pi, \\ x_{ij} \geq x_{ij}^t, \quad \forall ij \in D \text{ и } \forall t \in \Pi, \\ H_j = h_{ij} l_{ij} + H_i + z_i - z_j, \quad \forall ij \in D, \\ H_j \geq H_j^H, \quad \forall j \in B, \\ H^s \in \{H^1, \dots, H^l\}, \quad P^s \in \{P^1, \dots, P^l\} \end{cases}$$

где x_{ij} , x_{ij}^t , h_{ij} - искомые пиковый поток по ij -ой ветви сети, реальный поток по ij -й ветви сети в t -й сезон полива, потеря напора по ij -й ветви сети; Π - множество номеров сезонов полива, z_j - высотная отметка j -го узла (гидранта) сети; H_j , H_j^H , g_j^t - напор, нормативный напор и нормативный расход в j -ом узле сети в t -ый сезон полива.

4. Метод динамической декомпозиции синтеза сетей Кирхгофа на графах. Рассматриваемая задача есть частный случай задачи оптимального проектирования сетей по переносу вещества и энергии состоящей в минимизации функции $z(v, u, U)$, отражающей затраты на строительство и эксплуатацию сети в течении ряда лет, при линейных ограничениях аналогичных уравнениям Кирхгофа для электрической цепи. Векторы $x = (x_1, \dots, x_h)$ и $u = (u_1, \dots, u_h)$ - искомые значения кинетических (поток) и потенциальных переменных на дугах заданного связного орграфа $\Gamma(B, D)$ моделирующего возможные соединения узлов (вершин) сети друг с другом и с источником сети, U - искомый потенциал источника. Целевая функция вогнута и возрастает по v , выпукла и убывает по u , выпукла и возрастает по U . В связи с такими (выполняющимися на практике) свойствами z задача существенно многоэкстремальна и нуждается в декомпозиции. Экстремальные задачи на геометрических графах обладают свойством характерным для вариационных задач - свойством компактной оптимальности. В данном случае имеет место следующая теорема:

- 1) *Оптимальное решение задачи существует. Любое локально-оптимальное решение является базисным по кинетическим переменным, то есть, компоненты потокораспределения отличные от нуля выделяют на $\Gamma(B, D)$ некоторое остовное дерево с корнем в источнике сети.*
- 2) *Пусть (v^*, u^*, U^*) - оптимальное решение, а T - соответствующий ему остов. Выделим любую его связную часть T' и построим на ней порожденный T' на $\Gamma(B, D)$ граф $\Gamma(T')$. Обозначим $\bar{v}$, $\bar{u}$ векторы компоненты которых совпадают с v^* , u^* вне $\Gamma(T')$, а на $\Gamma(T')$ удовлетворяют ограничениям задачи. Тогда*

$$z(v^*, u^*, U^*) \leq z(\bar{v}, \bar{u}, U^*).$$

Принцип оптимальности сводит проблему оптимизации сети к оптимизации ее малых, специальным образом подбираемых, фрагментов [4]. Способ формирования фрагментов и их структура зависит от ранга искомого оптимума. Назовем p -оптимальным такое базисное решение, которое нельзя улучшить введя в базис не более p новых переменных. С сетевой точки зрения это означает, что полученную сеть нельзя улучшить введя в нее не более чем p новых ветвей и исключив p старых.

Рассмотрим очень кратко метод получения 1-оптимальных сетей. Поскольку оптимумы соответствуют базисным решениям по кинетическим переменным, а им в свою очередь, остовы графа $\Gamma(B, D)$, то используется наиболее мощный метод перебора угловых точек – симплекс-метод, но в сетевой интерпретации. Для этого на текущей итерации в модифицируемый остов сети вносится очередная его хорда из $\Gamma(B, D)$, к образованному при этом контуру присоединяются смежные ему дуги и удаляется из него дуга инцидентная внесенной хорде. При этом преобразовании значения кинетических переменных останутся прежними вне контура, а на полученной конструкции их значения определяются однозначно. Поэтому при фиксации прежних значений потенциальных переменных по границе конструкции будем иметь на ней задачу оптимизации только потенциальных переменных – задачу выпуклого программирования (при линейных ограничениях) малой размерности. Для ее решения разработан специальный эффективный волновой алгоритм основанный непосредственно на условиях Куна-Таккера для задачи. Процесс формирования 1-оптимальной сети завершается когда ее модификации уже не уменьшают значения целевой функции.

После получения начального решения задачи оптимального проектирования ЗОС, запускается процесс динамической декомпозиции, модифицирующий решение до тех пор, пока не будет получено 2-оптимальное решение задачи. Время счета для средних (30-50 узлов) сетей около 10 минут. При этом задача решается перебором по напорам в сеть $H^1, \dots, H^l$, причем на каждом очередном напоре в сеть задача решается с конфигурации (и, соответственно, потоков) сети, полученной на предыдущем напоре, а сами напоры $H^1, \dots, H^l$ выстроены по возрастанию. Далее выпускается проектно-сметная документация по варианту сети соответствующей наименьшему значению целевой функции.

С помощью разработанной САПР 2-оптимальных сетей запроектированы и функционируют на Юге России около 150 крупных высокоэффективных трубопроводных оросительных сетей.

Литература

1. Абрамов Н.Н. и др. Расчет водопроводных сетей. – М.: Стройиздат, 1983.
2. Кудавев В.Ч. и др. Об одном подходе к автоматизированному проектированию оросительных насосных станций // САПР и АСПР в мелиорации: Сб. науч. трудов. – Нальчик, 1983.
3. САПР оросительных систем и систем магистральных водопроводов для сельхозводоснабжения. (САПР СКГВХ). Подсистема оросительных насосных станций. Технологическая и архитектурно-строительная части. – Пятигорск: Минводхоз РСФСР; Севкавгипроводхоз, 1985.
4. Кудавев В.Ч., Нахушева М.М. 2-оптимальное решение задачи синтеза сетей методом динамической декомпозиции // Доклады АМАН. – 1999. – Т. 4. – № 1. – С. 15-20.

УДК 626.862.9

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НАПОРА В ДРЕНОПРОМЫВОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ

Долматов Н.П., Михеев А.В.

Для определения параметров насосного агрегата дренапромывочного устройства, помимо расхода, необходимо определить напор, необходимый для создания соответствующей скорости в струеформирующих насадках (СФН) распределительной камеры (РК) дренапромывочного устройства (ДПУ) ($Z_{\text{дпу}}$). Расчетная схема определения общих потерь напора в дренапромывочном устройстве показана на рисунке 1.

Напор ДПУ складывается из напора на срезе струеформирующего насадка ($Z_{\text{сфн}}$) и суммарных потерь напора в водопроводящих элементах устройства ($Z_{\text{п}}$), то есть:

$$Z_{\text{дпу}} = Z_{\text{сфн}} + Z_{\text{п}}. \quad (1)$$

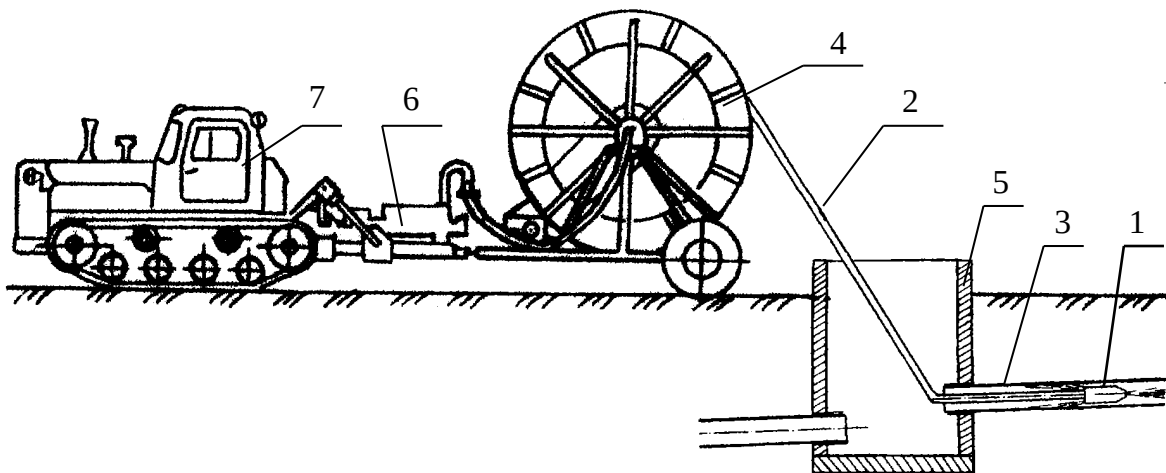


Рис.1. Схема к определению общих потерь напора в дренапромывочном устройстве:
1 – дренапромывочная головка; 2 – водонапорный шланг; 3 – дренажная труба; 4 – барабан для водонапорного шланга; 5 – дренажный колодец; 6 – насос; 7 – базовая машина

Потери напора в водопроводящих элементах дренапромывочного устройства, в свою очередь, складываются из потерь в распределительной камере ДПУ ($Z_{\text{рк}}$), в диффузоре ($Z_{\text{диф}}$), по длине водонапорного шланга ($Z_{\text{ш}}$) и в барабане ($Z_{\text{бар}}$):

$$Z_{\text{п}} = Z_{\text{рк}} + Z_{\text{диф}} + Z_{\text{ш}} + Z_{\text{бар}}. \quad (2)$$

Слагаемые формул можно определить по известным в гидравлике методам.

За основу, для определения потерь в СФН, принимаем схему (рис.2) с внешним цилиндрическим насадком, расположенным под углом к стенке.

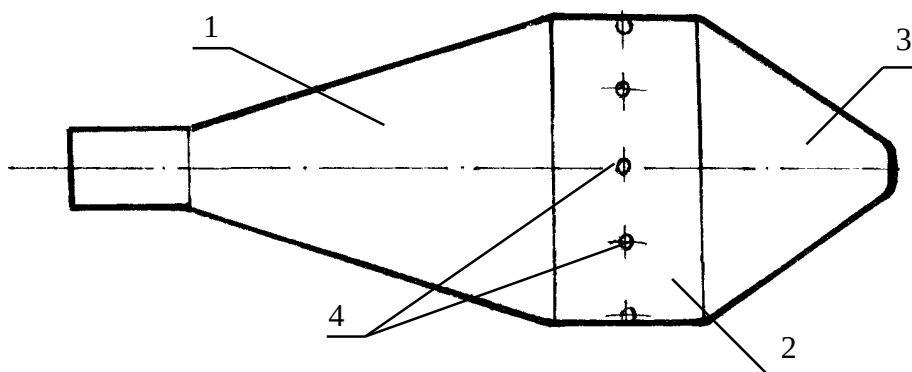


Рис.2. Основные конструктивные элементы РК ДПУ:

1 – диффузор рабочей камеры; 2 – цилиндрическая часть распределительной камеры; 3 – лобовая часть рабочей камеры; 4 – струеформирующие насадки

Следует отметить, что для увеличения пропускной способности насадка, его длину целесообразно принять равной не менее $(4 \div 6) \cdot d_o$.

Связь расхода СФН с напором имеет вид:

$$Q_o = \mu_o \cdot \omega_o \cdot \sqrt{2gZ_{сфн}},$$

откуда найдем напор

$$Z_{сфн} = \frac{\left(\frac{U_o}{\mu_o}\right)^2}{2g}, \quad (3)$$

где μ_o – коэффициент расхода струеформирующего насадка, для принятой конструкции составляет $0,7 \div 0,8$.

Движение жидкости в распределительной камере ДПУ характеризуется делением потока и носит сложный характер. В первом приближении потери напора можно определить как в приточном тройнике при нулевом проходном расходе. Коэффициент сопротивления в ответвлении распределительной камеры $\zeta_{рк}$ можно определить по следующей зависимости:

$$\zeta_{рк} = 0,8 \cdot \left[\left(\frac{U_{кв}}{U_o} \right)^2 + 1 - 2 \cdot \left(\frac{U_{кв}}{U_o} \cdot \cos(\pi - \beta) \right) \right], \quad (4)$$

где $U_{кв}$ – скорость в распределительной камере ДПУ.

Скорость в распределительной камере дренапромывочного устройства определяется по найденному расходу ДПУ и внутреннему сечению распределительной камеры

$$U_{кв} = \frac{Q_{дпу}}{\omega_{кв}}, \quad (5)$$

где $\omega_{кв}$ – площадь поперечного сечения внутренней части распределительной камеры, составляет

$$\omega_{кв} = \pi \cdot \frac{d_{кв}^2}{4}, \quad (6)$$

где $d_{кв}$ – внутренний диаметр распределительной камеры, определяемый по формуле

$$d_{\text{кв}} = d_{\text{к}} - 2 \cdot \Delta_{\text{стен}}, \quad (7)$$

где $\Delta_{\text{стен}}$ - толщина стенки корпуса распределительной камеры.

Потери напора в распределительной камере составят

$$Z_{\text{рк}} = \zeta_{\text{рк}} \cdot \frac{U_o^2}{2g}. \quad (8)$$

Потери напора в диффузоре корпуса рабочей камеры составляют

$$Z_{\text{диф}} = \zeta_{\text{диф}} \cdot \frac{U_{\text{кв}}^2}{2g}. \quad (9)$$

Коэффициент сопротивления диффузора определяется по следующей формуле

$$\zeta_{\text{диф}} = k_{\text{см}} \cdot \left(\left(\frac{d_{\text{кв}}}{d_{\text{ш}}} \right)^2 - 1 \right)^2 + \zeta_{\text{тр}}, \quad (10)$$

где $k_{\text{см}}$ - коэффициент смягчения при постепенном расширении, для предельного угла безотрывного расширения потока в диффузоре ($\alpha_{\text{диф}} \approx 14^\circ$) коэффициент равен 0,3; $\zeta_{\text{тр}}$ - коэффициент сопротивления трению, определяемый по формуле

$$\zeta_{\text{тр}} = \frac{\lambda}{8 \cdot \sin\left(\frac{\alpha_{\text{диф}}}{2}\right)} \cdot \left(\left(\frac{d_{\text{кв}}}{d_{\text{ш}}} \right)^4 - 1 \right). \quad (11)$$

Потери напора по длине шланга определяются в общем случае по формуле А. Дарси – Ю. Вейсбаха

$$Z_{\text{ш}} = \lambda \cdot \frac{L_{\text{ш}}}{d_{\text{ш}}} \cdot \frac{U_{\text{ш}}^2}{2 \cdot g}, \quad (12)$$

где λ - гидравлический коэффициент трения.

Коэффициент гидравлического трения для шланга можно определить как для гладких труб, например по формуле Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}, \quad (13)$$

где Re - число Рейнольдса, составляет

$$\text{Re} = \frac{U_{\text{ш}} \cdot d_{\text{ш}}}{\nu}. \quad (14)$$

Скорость движения воды в водонапорном шланге определяется по известному расходу ДПУ и площади внутреннего сечения шланга $\omega_{\text{ш}}$

$$U_{\text{ш}} = \frac{Q_{\text{дпу}}}{\omega_{\text{ш}}}, \quad (15)$$

$$\omega_{\text{ш}} = \pi \frac{d_{\text{ш}}^2}{4}. \quad (16)$$

Максимальные потери напора в свернутом на барабане водонапорном

шланге будут иметь место на начальном этапе промывки дренажной трубы, когда шланг практически полностью по всей длине свернут в кольца на барабане. Наибольшие потери будут в нижнем ряду колец шланга, так как радиус поворота будет наименьшим. В качестве расчетной схемы примем наихудшие в комплексе условия, то есть:

- шланг полностью намотан на барабан;
- радиус колец шланга принимается равным радиусу цилиндра барабана $r_{\text{бар}}$.

В первом приближении потери напора в одной четверти кольца ($\Delta Z_{\text{бар}}$) можно определить по известным формулам гидравлики, например:

$$\Delta Z_{\text{бар}} = \zeta_{90} \cdot \frac{U_{\text{ш}}^2}{2g}, \quad (17)$$

где ζ_{90} - коэффициент сопротивления плавного поворота трубы на 90° , определяется по формуле

$$\zeta_{90} = 0,02 \cdot (100 \cdot \lambda)^{2,5} + 0,106 \cdot \left(\frac{d_{\text{ш}}}{r_{\text{бар}}} \right)^{2,5}. \quad (18)$$

Потери напора в свернутом на барабане шланге равны произведению количества колен на барабане на потерю напора в одном колене

$$Z_{\text{бар}} = n_{\text{кол}} \cdot \Delta Z_{\text{бар}}, \quad (19)$$

где $n_{\text{кол}}$ - количество колен на цилиндре барабана при полной намотке шланга, составляет

$$n_{\text{кол}} = 4 \cdot \frac{L_{\text{ш}}}{\pi \cdot d_{\text{бар}}}. \quad (20)$$

Подставив найденные по зависимостям потери напора в формулу и, можно определить полный напор в ДПУ, который необходимо создать насосным агрегатом в начале водонапорного шланга.

По найденным значениям расхода и напора подбирается насосный агрегат.

Литература

1. Царевский А.М. Гидромеханизация мелиоративных работ. – М.: Сельхозгиз, 1969.
2. Бэтчер Дж. Введение в динамику жидкости: Пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – 758 с.
3. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. – М.: Наука, 1984. – 750 с.

346428 г. Новочеркасск, ул. Пушкинская 111, НГМА, каф. ТуА, т. 29-680

УДК 629.1.039

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЭРОДИНАМИКИ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ

Ушаков В.Г., Сыченко В.С.

Регенеративные вращающиеся теплообменные аппараты относятся к хвостовым поверхностям нагрева огнетехнических установок (котлов, печей,

сушильных устройств). Они предназначены для отвода тепла от отработанных дымовых газов к холодному воздуху. Температура уходящих дымовых газов при этом понижается, что приводит к уменьшению потерь тепла с уходящими дымовыми газами.

Такой регенеративный вращающийся воздушнонагреватель РВВ [1] состоит из насадки, вращающейся вокруг вертикальной оси и размещенной в корпусе. Последний разделен перегородкой на воздушный и газовый каналы. Перемещение воздуха по каналам насадки РВВ осуществляется с помощью вентилятора, а уходящие дымовые газы транспортируются через РВВ дымососом. Привод ротора РВВ производится электродвигателем через редуктор.

Известно[2], что значения коэффициентов теплоотдачи газообразных сред невелики. Поэтому РВВ повышенной теплопроизводительности имеют развитую площадь теплообменной поверхности, а их насадка – большую массу. Для привода ротора с такой насадкой требуются значительные затраты энергии.

С целью снижения затрат энергии на привод, ротор РВВ снабжается разгрузочным поршнем, который жестко закреплен на валу со стороны входа воздушного потока, подаваемого дутьевым вентилятором под избыточным давлением. Причем аэродинамика и конструктивные размеры разгрузочного поршня выбираются с учетом того, что при нагнетании вентилятором воздуха насадка РВВ должна находиться во взвешенном состоянии. Пребывание насадки во взвешенном состоянии исключает трение насадки о корпус РВВ, благодаря чему снижается расход энергии на вращение ротора.

Такой РВВ состоит из насадки 1 (рис.1), которая сидит на валу ротора 2 и размещается в корпусе 3, разделенном перегородкой 4 (рис.2) на воздушный 5 и газовый 6 каналы. В нижней части РВВ расположен разгрузочный поршень 7, жестко закрепленный на валу ротора, с возможностью перемещения последнего вдоль оси. Привод ротора производится электродвигателем 8 через редуктор 9.

Устройство работает следующим образом. При нагнетании воздуха дутьевым вентилятором под избыточным давлением поршень 7 перемещается вверх. А так как поршень и насадка 1 жестко закреплены на валу ротора 2, то последняя окажется во взвешенном состоянии.

Перемещение насадки вверх и пребывание ее во взвешенном состоянии под действием напора, создаваемого вентилятором, и силы трения воздушного потока о теплообменную поверхность насадки имеет место при превышении упомянутых выше сил над направленными вниз силами веса насадки и трения газового потока. Это условие представляет собой математическую модель аэродинамики РВВ, оснащенного разгрузочным поршнем.

Ротор находится во взвешенном состоянии, если соблюдается условие:

$$\Delta P_{изб} * \frac{\pi D_n^2}{4} \geq M * g - F_{\epsilon} * P_{mp\epsilon} + F_{\epsilon} * P_{mp\epsilon},$$

где $\Delta P_{изб}$ – избыточное давление, необходимое, для нахождения поршня во взвешенном состоянии, Па; M – масса ротора, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; D_n – диаметр поршня, м; F_{ϵ} – площадь теплообменной поверхности, омываемой воздухом, м²; F_{τ} – площадь теплообменной поверхности, омываемой

дымовыми газами, м^2 ; $P_{\text{трв}}$ – сила трения воздушного потока о теплообменную поверхность насадки РВВ; $P_{\text{трг}}$ – сила трения газового потока о теплообменную поверхность насадки РВВ.

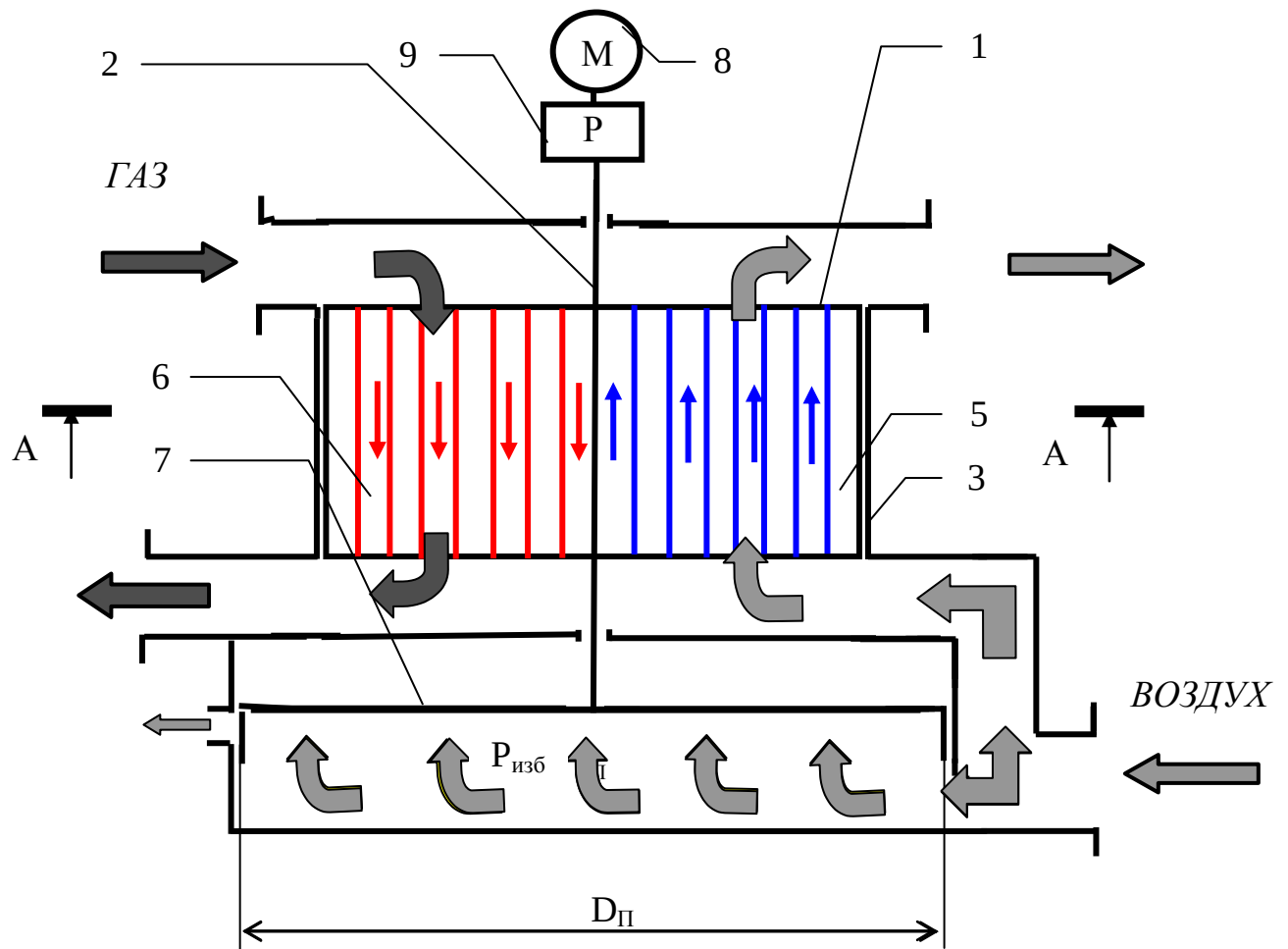


Рис.1

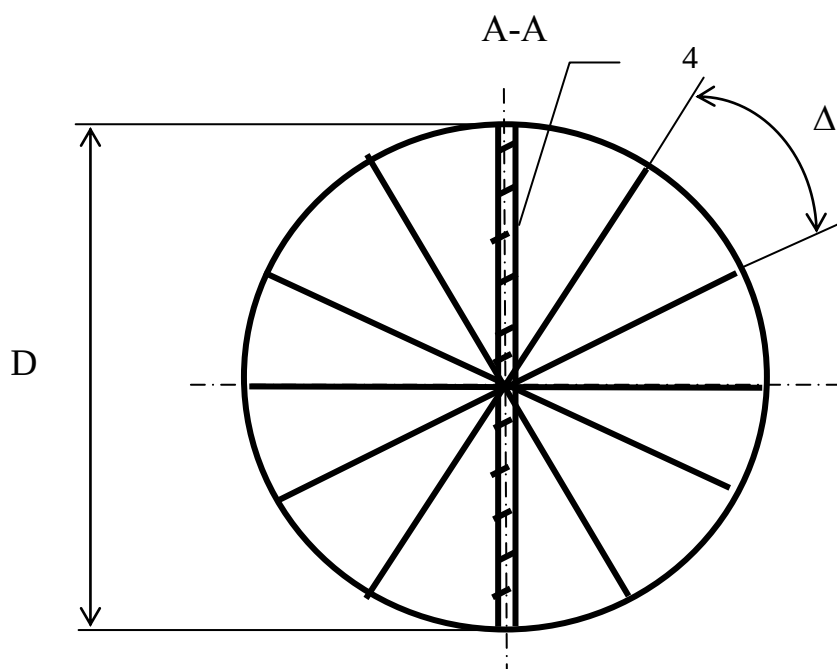


Рис.2

Исходными параметрами при решении данного неравенства являются: диаметр насадки D , высота насадки H (длина канала), диаметр разгрузочного поршня D_p , толщина пластины насадки δ_n , толщина стенки корпуса δ_k , ширина зазора между пластинами насадки Δ , диаметр вала d , скорость воздуха в живом сечении насадки W , плотность материала насадки ρ , коэффициенты местного сопротивления на входе в каналы насадки $\xi_{вх}$ и на выходе из них $\xi_{вых}$.

$$G_p = M * g = m_n * g + \delta_{nl} * H * D * \rho_n * n / 2 + (\pi * d^2 / 4) * h_v * \rho_v * g;$$

$$G_p = V_n * \rho_n * g + \delta_{nl} * H * D * \rho_n * g * n / 2 + (\pi * d^2 / 4) * h_v * \rho_v * g;$$

где G_p – вес ротора, Н; m_n – масса поршня, кг; V_n – объем поршня, м³; ρ_n – плотность материала, из которого изготовлен поршень, кг/м³; n – количество пластин, шт; ρ_n – плотность материала, из которого изготовлена насадка, кг/м³; d_v – диаметр вала, м; h_v – длина вала, м; ρ_v – плотность материала, из которого изготовлен вал, кг/м³;

$$P_{тр,г} = (\lambda_{тр,г} + \xi_{вх} + \xi_{вых}) * (\rho_n * W^2 / 2) * (H / d_{экв}),$$

где $\lambda_{тр,г}$ – коэффициент, учитывающий трение потока в каналах насадки; $d_{экв} \approx 2\Delta$ – эквивалентный диаметр живого сечения насадки, м.

Расчеты показывают, что давление воздуха под разгрузочным поршнем, необходимое для удержания ротора во взвешенном состоянии, не превышает 2,8 мм.водн.ст. на каждые 10 кг массы ротора M .

Литература

1. Киселев Н.А. Котельные установки. – М.: Высшая школа, 1979. – 271 с.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 342 с.

346428 г.Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ(НПИ), каф. ТОТ, т. 5-52-27.

УДК 517.946 (075.8)

ОБ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ МЕТОДОЛОГИИ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Галканов А.Г.

Установившаяся методология математического моделирования определенных классов физических полей состоит в следующем.

1. Пространственно-временная область, в которой протекает физический процесс, моделируется пространственно-временным континуумом.
2. Зависимости между величинами моделируются достаточно гладкими функциями.
3. Законы, имеющие конечный вид, моделируются дифференциальными соотношениями.
4. В конечной области вышеназванного пространственно-временного континуума составляются законы сохранения – балансовые соотношения, которые в пределе переходят в дифференциальные уравнения.

Аналогичность возникает тогда, когда начинается обратный процесс, т.е., когда с целью поиска численного решения только что принятый континуум

наделается дискретной структурой, дифференциальные уравнения аппроксимируются конечноразностными уравнениями и т.д. Возникает вопрос: возможен ли альтернативный подход, при котором уравнения изначально составлялись бы в конечном виде в дискретной пространственно-временной области, что исключало бы появление бесконечности и других «побочных продуктов», а дифференциальные уравнения получались бы как предел конечных уравнений.

Автором альтернативный подход реализован для линейной теплопроводности. Но стало ясно, что существенным препятствием для развития этого подхода является отсутствие дискретной модели физического пространства (геометрия Евклида, служащая моделью физического пространства, неявно содержит аксиому Архимеда и поэтому непрерывна). В связи с этим возникает проблема создания такой геометрии, в аксиомах которой вместо прямой, плоскости и пространства с непрерывной структурой имелись бы их дискретные аналоги. При этом Евклидова геометрия следовала бы из такой дискретной геометрии как ее предельный случай.

УДК 550.8.053:519

МНОГОМЕРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ОСНОВА ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Черненко М.Ю.

Комплексное изучение геологических процессов на метрической основе даёт большое количество цифровой параметрической информации. Число получаемых признаков может достигать многих десятков и даже сотен. Возникает естественная потребность оперативной математической обработки получаемого комплекса признаков и надлежащей их разбраковки в зависимости от поставленной геологической задачи. Параметры участвующие в описании геологических объектов должны быть не только достаточно корректно геологически интерпретированы, но и статистически достоверны. Данные требования к численной информации помогают обеспечивать надёжную фактурную основу разработок связанных с прогнозированием, поисками и оценкой полезных ископаемых. Информация для решения поставленных проблем обычно неявно содержится в матрицах данных представленных в виде «объект - признак». Последние в свою очередь пригодны для использования алгоритмов распознавания (обнаружения) образов, т.е. решения проблем классификации [6, 7, 8].

Исследовательский поиск оптимальной классификационной процедуры в рамках геологических работ проводится в условиях как определённости, так и неопределённости. Это обязывает параллельно использовать математический аппарат в случаях контролируемого и неконтролируемого обучения. Неконтролируемое обучение относится к методам, которые предварительно не делают предположений о классах объектов, и используется в основном, со следующими целями: 1 – вскрыть внутреннюю структуру или основные черты поведения совокупности данных; 2 – проверка правильности (однородности) совокупности данных и выявление выбросов, странных и неверных результатов. Боль-

шинство методов неконтролируемого обучения основывается на идее нахождения кластеров точек (кластерный анализ) в совокупности данных. Точки группируются на основе их близости и подобия в кластеры, и одним из исходных положений является предположение о подобии свойств точек, являющихся отражением их близости в многомерном пространстве признаков. Контролируемое обучение относится к набору методов, в которых априорное знание о принадлежности к определённым классам членов совокупности объектов используется для разработки классификационного правила: 1 – для предсказания класса новых объектов наблюдения; 2 – проверки классификационных гипотез путём оценивания правила на совокупности данных. Одним из примеров в геологических исследованиях методов контролируемого обучения является применение дискриминантного анализа.

Наиболее универсальным среди методов многомерного моделирования является аппарат факторного анализа, сочетающий в себе черты вышеописанных подходов в распознавании образов и позволяющий в более полном объёме производить геологическую интерпретацию наблюдаемой изменчивости. В свою очередь, с точки зрения формальных математических требований [1, 3, 4, 9], наиболее корректно геологически интерпретируемым является метод главных компонент (МГК) R-факторного анализа. Во-первых, это сочетание компонентного, состоящего в исследовании дисперсий, и собственно факторного, состоящего в исследовании корреляций между переменными, анализов. Во-вторых, в ряде решений сочетаются детерминированный и стохастический случаи, что делает более корректными геологические выводы по результатам вычислений. Последнее положение выражается в следующем виде:

$$\hat{A} = U_k \Lambda^{1/2},$$

где A – матрица факторных нагрузок, U – выборочная матрица собственных векторов, Λ – диагональная матрица собственных чисел как выборки, так и совокупности, k – число факторов, $(\wedge)$ – символ соответствующей выборочной оценки [4].

Само моделирование геологических процессов или объектов представляет собой итерационный процесс. Сначала по традиционной схеме факторного анализа вычисляются корреляционная матрица, собственные вектора (главные компоненты), собственные числа, факторные нагрузки и значения компонент в точках наблюдения [3, 4, 6]. Интерпретации обычно подвергаются главные компоненты (факторы) с собственными числами более единицы или вклад которых в суммарную дисперсию составляет не менее 10 %. Наиболее информативным является анализ факторных нагрузок линейных комбинаций признаков первых главных компонент. Анализ производится с учётом классических качественных геологических данных (текстурно-структурных, вещественных, типоморфных и т.п.). При выявлении закономерностей характеризующих геологические объекты или процессы, необходимо произвести анализ информативности признаков в данных главных компонентах, учитывая, что переменные с наибольшими факторными нагрузками содержат наибольшую информацию о данных. Целесообразно, как минимум, пренебречь признаками с факторными

нагрузками менее [0,2]. В основе данной рекомендации лежит понятие об общности, представляющей ту долю дисперсии, с учётом некоррелированности факторов, которая связана с другими переменными и входит в ковариации с ними [4]. В нашем случае общность σ_{ci}^2 – это сумма квадратов элементов строки матрицы факторных нагрузок $\hat{A}$ анализируемой переменной X_i :

$$\sigma_{ci}^2 = \alpha_{i1}^2 + \alpha_{i2}^2 + \dots + \alpha_{ik}^2.$$

Иными словами, квадраты факторных нагрузок признака – это величины, показывающие степень участия данной переменной от её общей изменчивости, а следовательно, и информативность, в тех геологических процессах, которые описываются главными компонентами в исходном многомерном пространстве признаков. После отбраковки не информативных признаков на данном этапе моделирования желательно повторить процедуру вычисления факторного анализа.

Опыт показывает, что при геологической интерпретации результатов математической обработки, в том числе и метода главных компонент R-факторного анализа, имеем дело с тремя видами изменчивости природных объектов – непрерывной, дискретной и дискретно-непрерывной. Часты случаи, когда собственные векторы являются моделирующими, но не дискриминирующими, т.е. сталкиваемся с невозможностью однозначного выделения однородного геологического образования.

Исходя из этого, целесообразно на каждом шаге обработки данных параллельно обращаться к процедурам неконтролируемого обучения, независимым от исследователя. Наиболее удачным является применение иерархического кластерного анализа (Q – вариант) для решения проблем классификации и помогающего принять решение о выделении границ между геологическими образованиями. Необходимо отметить, что при обработке разнообразных комплексов данных мы часто получаем измерения в различных масштабах. Устранить это противоречие в кластерном анализе, а также и в ряде других математических методах, помогает стандартизация – процедура преобразования данных, которая обычно проводится таким образом, чтобы среднее равнялось нулю, а дисперсия единице. Новые переменные имеют стандартную нормальную форму, получаемую при вычитании среднего значения распределения из каждого наблюдения и деления каждой полученной разности на стандартное отклонение распределения [2].

После выявления или подтверждения описанных видов изменчивости и тщательной геологической интерпретации результатов вычислений опять возвращаемся к оценке исходных переменных. Необходимо решить проблему выбора оптимальной совокупности статистически достоверных признаков для окончательного решения классификационной геологической задачи. Отбор признаков сохраняет время и уменьшает затраты на дальнейшие аналитические исследования, а также на обработку и хранение информации. Для этого можно применить однофакторный дисперсионный анализ, основанный на разделении общей дисперсии на две группы объектов, соответствующих различаемым геологическим образованиям (внутривыборочную дисперсию), и дисперсию между сравниваемыми группами (межвыборочную дисперсию) [2, 6, 8]. Вычислен-

ный для каждого признака F – критерий (Фишера) сравнивается с табличным при соответствующих степенях свободы и заданном уровне значимости. К тем признакам, у которых вычисленный критерий превосходит табличный, допустима гипотеза о взаимосвязи геологических процессов и исследуемым свойствам [1, 5, 9], следовательно их можно считать типоморфными.

На следующем этапе, имея базис геологической модели и статистически оцененные типоморфные признаки, опять обращаемся к процедуре факторного анализа. После цикла вычислений описанного выше, привлекая только статистически значимые признаки, анализ полученных компонентной диаграммы дискриминированных геологических образований, группировки признаков на диаграмме факторных нагрузок переменных на главные компоненты и графиков значений главных компонент в точках наблюдения, обычно даёт хорошие результаты, а часто и помогает детализировать исходные предположения.

Таким образом, по комплексу участвующих в обработке геохимических, рудно-минералофизических, кристаллографических, декриптографических и др. признаков, многие из которых имеют лишь косвенный характер при интерпретации геологических процессов, можно путём модельного приближения, при тщательной разбавке переменных по статистическим и геологическим критериям, получить достаточно объективную картину, отражающую особенности изучаемого геологического объекта или процесса. В случае моделирования в условиях определённости, т.е. при наличии уже известных (эталонных) классов геологических образований, построение модели целесообразно производить в два этапа. На первом – выделение комплекса признаков на основании содержательной геологической интерпретации и статистической оценки степени типоморфизма. На втором – непосредственное математическое описание наблюдаемой изменчивости, в зависимости от характера решения поставленной задачи, и тщательная интерпретация результатов вычислений.

Литература

1. Богуш И.А., Черненко М.Ю., Болтенко А.Е. Методы рудноминералогенетического моделирования и локальный прогноз колчеданного оруденения. – Новочеркасск: НПИ, 1991. – 47 с.
2. Девис Дж. Статистический анализ данных в геологии. Кн. 1. – М.: Недра, 1990. – 319 с.
3. Девис Дж. Статистический анализ данных в геологии. Кн. 2. – М.: Недра, 1990. – 427 с.
4. Йёреског К.Г., Клован Д.И., Рейнмент Р.А. Геологический факторный анализ. – Л.: Недра, 1980. – 223 с.
5. Константинов Р.М. Математические методы при изучении типоморфных особенностях минералов // Новые данные о типоморфизме минералов. – М.: Наука, 1980. – С. 10-24.
6. Справочник по математическим методам в геологии // Д.А. Родионов, Р.И. Коган, В.А. Голубева и др. – М.: Недра, 1987. – 335 с.
7. Хант Э. Искусственный интеллект. – М.: Мир, 1978. – 558 с.
8. Шараф М.А., Иллмен Д.Л., Ковальски Б.Р. Хемометрика. – Л.: Химия, 1987. – 272 с.
9. Черненко М.Ю. Количественная оценка степени полезной нагрузки ведущих рудогенетических факторов при комплексном изучении гетерогенного оруденения // Геология, оценка и локальный прогноз месторождений цветных, редких и благородных металлов: Сб. науч. тр. – Новочеркасск: НГТУ, 1994. – С. 123-131.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ(НПИ), Горно-геологический факультет, каф. “Общая и историческая геология, минералогия и петрография”, т. 55-360.
e-mail: chernenk@novoch.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОАКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА

Денисенко В.В., Сидоренко П.Ф., Мельковский Д.Я.

Для целей оперативного выявления структурных особенностей углевмещающей толщи и литологического расчленения геологического разреза используется метод геоакустического зондирования (ГСЗ) с применением различных методов спектрального анализа акустического сигнала-отклика массива. Наиболее эффективной по затратам времени, достоверности и оперативности решения задачи является метод обработки оцифрованного сигнала на ЭВМ, записанного ранее в аналоговом виде на магнитную ленту. При этом возможно использование различных методов математического анализа, открывающих новые возможности частотной фильтрации сигнала.

Независимо от применяемого метода анализа конечным результатом является нахождение параметров геологического разреза, т.е. решается обратная задача геоакустики. При решении прямой задачи определяются параметры геоакустического сигнала по известным параметрам геологического разреза. С целью поиска единого методического аппарата решения прямых и обратных задач было выполнено математическое моделирование.

В основе математического моделирования используется принцип обратимости функциональных преобразований типа свертки, широко используемой в сейсморазведке. На физическом уровне эти преобразования описывают процесс фильтрации сигнала. Свертку можно рассматривать как операцию взаимного сдвига двух векторов или как автокорреляцию с обращенной последовательностью входного импульса. На рис. 1 приведен пример такой свертки когда на вход фильтра с импульсной реакцией $W = 4, 2, 1$ подан элементарный волновой импульс $x = (2, 1, -1)$.

$$\begin{aligned}
 y_0 &= \begin{matrix} x_2 & x_1 & x_0 \\ & W_0 & W_1 & W_2 \end{matrix} = x_0 W_0 = 8 \\
 y_1 &= \begin{matrix} x_2 & x_1 & x_0 \\ & W_0 & W_1 & W_2 \end{matrix} = x_1 W_0 + x_0 W_1 = 4 \\
 y_2 &= \begin{matrix} x_2 & x_1 & x_0 \\ & W_0 & W_1 & W_2 \end{matrix} = x_2 W_0 + x_1 W_1 + x_0 W_2 = -2 \\
 y_3 &= \begin{matrix} & x_2 & x_1 & x_0 \\ & W_0 & W_1 & W_2 \end{matrix} = x_2 W_1 + x_1 W_2 = -2 \\
 y_4 &= \begin{matrix} & & x_2 & x_1 & x_0 \\ & & W_0 & W_1 & W_2 \end{matrix} = x_2 W_2 = -1
 \end{aligned}$$

Рис.1. Свертка как геометрическая операция взаимного сдвига

При алгебраической трактовке результат свертки записывается в виде последовательности коэффициентов, полученных при перемножении двух многочленов. Таким образом осуществляется z преобразование дискретной функции, где коэффициенты при различных степенях z представляют собой элемен-

ты входного вектора y [1].

Удобно представлять составляющие сигнала регистрируемого при геоакустических исследованиях следующими функциями:

$I(t)$ - функция описывающая амплитудно-временной импульс источника сигнала; $\Phi(t)$ - функция обобщающая импульсную реакцию фильтра (под фильтром в этом случае подразумевается последовательный канал состоящий из геологической среды, сейсмоприемника, усилителя и регистратора); $S(t)$ - функция регистрируемого сигнала.

С учетом оговариваемых допущений (анизотропия, плоскопараллельность наслоений и т.д.) процесс фильтрации рассматривается как линейный или приведенный к линейному. Исходя из этого прямая задача геоакустического эксперимента может быть описана выражением:

$$S(t) = I(t) * \Phi(t) \quad (1)$$

где знак $*$ означает операцию свертки скалярного произведения векторов строк импульса источника, $I(t)$ и строки обобщенного фильтра $\Phi(t)$.

Обобщенный фильтр в свою очередь может быть представлен в виде многократной свертки.

$$\Phi(t) = \Phi_1(t) * \Phi_2(t) * \Phi_3(t) * \Phi_4(t) \dots \dots \Phi_n(t) \quad (2)$$

где $\Phi_1(t)$ - импульс реакции среды; $\Phi_2(t)$ - реакция сейсмоприемника; $\Phi_3(t)$ - реакция усилителя; $\Phi_4(t)$ - реакция регистратора.

В рамках данной работы линейность вышеописанных фильтров, с точностью достаточной для практического применения, принимается за аксиому. В дискретном виде строки векторов описывающиеся функционалом представляют собой последовательность чисел, отражающие величины амплитуд сигналов в момент времени, определяемым местом числа. Например импульс источника может быть описан быстро затухающей синусоидой при равномерной дискретизации и описан числами 0; 0.5; 1; 0.5; 0; - 0.25; - 0.5; - 0.25; 0. Синусоида представляет собой дискретную функцию на числовой оси n t , где n - номер числа, а t - шаг квантования сигнала по времени.

Аналогично в виде числового ряда могут быть представлены и другие сигналы. Для иллюстрации процесса свертки удобно представлять эти числовые ряды в виде коэффициентов степенных рядов в так называемом z представлении, где z - единичный аргумент, а именно:

$$\begin{aligned} I(z) &= i_0 z^0 + i_1 z^1 + i_2 z^2 + \dots + i_n z^n; \\ \Phi(z) &= f_0 z^0 + f_1 z^1 + f_2 z^2 + \dots + f_n z^n; \\ S(z) &= s_0 z^0 + s_1 z^1 + s_2 z^2 + \dots + s_n z^n. \end{aligned} \quad (3)$$

В этом случае скалярное произведение векторов представляется множителем:

$$\begin{aligned} S(z) &= I(z) * \Phi(z) = (i_0 z^0 + i_1 z^1 + i_2 z^2 + \dots + i_n z^n) * (f_0 z^0 + f_1 z^1 + f_2 z^2 + \dots + f_n z^n) \\ &= i_0 f_0 z^0 + (i_1 f_0 + i_0 f_1) z^1 + (i_2 f_0 + i_1 f_1 + i_0 f_2) z^2 + \dots + (i_n f_0 + i_{n-1} f_1 + \dots + i_0 f_n) z^n \end{aligned}$$

Из уравнения (1) возможны следующие варианты нахождения одного из членов преобразования при известных двух других. При известных $\Phi(t)$ и $S(t)$ можно определить $I(t)$

$$I(t) = S(t) * \Phi^{-1}(t)$$

где $\Phi^{-1}(t)$ - фильтр обратный фильтру $\Phi(t)$.

Иначе говоря нахождение обратного фильтра эквивалентно частному от деления 1 на прямой фильтр $\Phi(t)$, т.е.

$$\Phi^{-1}(t) = 1/\Phi(t)$$

Аналогично можно из формулы (1) представить

$$\Phi(t) = S(t) * \Gamma^{-1}(\tau)$$

где $\Gamma^{-1}(\tau)$ - обратный функционал импульса источника.

Итак свертка является некоторым универсальным инструментом, который позволяет находить функции, описывающие составляющие компоненты геоакустического сигнала от источника до регистратора. Операция свертки поддается достаточно простой алгоритмизации, которая сводится к выполнению двух циклов, вложенных один в другой. При этом вычисляется сумма произведений компонентов векторов строк.

$$S(t) = \sum_{n=0}^{\infty} I(\tau) * \Phi(t-\tau) \quad (5)$$

Приведем пример свертки для получения сигнала-отклика записанного при импульсном воздействии на модель среды. В этом случае сигнал, как функция времени представляется сверткой импульсной реакции сейсмоакустического канала временной модели среды.

$$S(t) = R(\tau) * M(t) \quad (6)$$

где $S(t)$ - сигнал; $R(\tau)$ - импульсная реакция сейсморегирующего канала (сейсмоприемник, усилитель, регистратор, исключая среду); $M(t)$ - скоростная модель, представляющая собой дискретную функцию, имеющую нулевые значения во всех точках временной оси t , кроме $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$ в которых она имеет значения $k_1, k_2, k_3, \dots k_n$, где k_n определяется соотношением:

$$K_n = \frac{V_{n+1} - V_n}{V_{n=1} + V_n} \quad (7)$$

Импульсная реакция $R(t)$ определялась путем возбуждения упругих колебаний в условно неограниченном полупространстве в котором четко отделим прямой сигнал от сигнала реакции среды. В этом случае расстояние до ближайшей отражающей границы на столько велико, что за время прихода отраженной волны прямой сигнал полностью затухает. Оценка при решении прямой задачи осуществляется путем сравнения полученной синтетической кривой с реальной записью сигнала в шахтных условиях с известными параметрами среды, заложенными в выше описанной модели.

При решении обратной задачи известен синтетический сигнал-отклик среды полученный при решении прямой задачи $S(t)$ и сигнал обратного фильтра реакции сейсморегирующего канала $R(t)$, потому из формулы (8) скоростную модель среды можно представить в виде:

$$M(t) = \frac{S(t)}{R(t)} = S(t) * R^{-1}(\tau) \quad (9)$$

Обратная задача в данном случае является некорректной в виду неоднозначности соотношений между t_i и k_i , а также существуют некоторые сложности в определении обратного фильтра (деление 1 на многочлен даже ограниченной длины, дает неограниченный ряд). По практическим соображениям его необходимо ограничивать по длине и как следствие этого неизбежно доказа-

тельство его сходимости. В рамках данной работы эти допущения оправданы удовлетворительной сходимостью результатов математического и физического моделирования.

Обратный фильтр импульсной реакции определен по алгоритму винеровского обратного фильтра во временной области [2]. В этом случае определяется автокорреляционная функция $B(t)$ в диапазоне значения от 0 до N . Параметры обратного фильтра вычисляются решением уравнения Колмогорова-Винера по алгоритму Левинсона. При этом:

$$R^{-1}(\tau) = H(\tau)$$

где $H(\tau)$ - вектор обратного фильтра элементы которого определяются следующим образом:

1) Все $H(\tau) = 0$ при $\tau < 0$;

2) Все N элементов фильтра вычисляются за N итераций (последовательных приближений);

3) В процессе первой итерации задается начальный элемент фильтра $H(0)=1$, затем при второй итерации $M=2$, вычисляется $H(1)$ и V по формуле:

$$V = B(0) \frac{B^2(1)}{B(0)} \quad (11)$$

$$H(1) = \frac{B(1)}{B(0)} \quad (12)$$

Затем в цикле обнуляются остальные элементы вектора H , на чем и заканчивается так называемый подготовительный этап.

Далее по формуле:

$$C = \sum_{t=1}^{M-1} H(t)B(M+1-\tau)$$

где $1 < \tau < M-1$

вычисляется промежуточный параметр C , который характеризует произведение очередного элемента вектора обратного фильтра импульсной реакции:

$$C = C + H(\tau) - G H(M+1-\tau)$$

где коэффициент корреляции G определяется по формуле

$$G = C/V$$

Затем производится корреляция с использованием формулы:

$$H^1(\tau) = H(\tau) - G H(M+1-\tau)$$

Задавая $M+1-\tau$ вместо τ получим:

$$H^1(M+1-\tau) = H(M+1-\tau) - G H(M+1-\tau)$$

Следовательно по паре элементов $H(\tau)$ и $H(M+1-\tau)$ можно вычислить пару скорректированных элементов с теми же индексами, что позволяет в вычислениях использовать принцип замещения, запоминая скорректированные элементы на месте ранее найденных новые значения.

Следующим этапом производится вычисление свободного члена V . В результате последней итерации $M = N$ в массиве $H(\tau)$ получаем элементы обратного фильтра. Функция автокорреляции $B(\tau)$ вычислялась по алгоритму М.Б. Рапопорта [2].

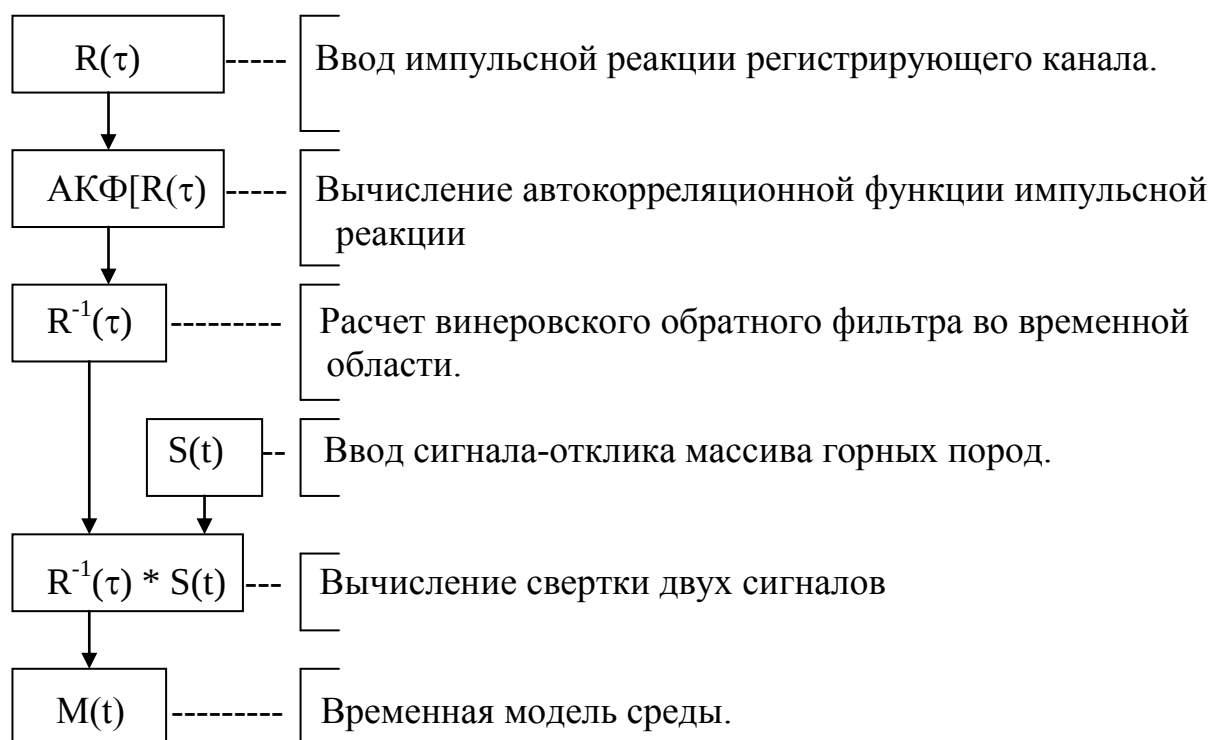


Рис.2. Алгоритм математического анализа амплитудно-временных характеристик резонансного сигнала массива

Следующим этапом производится вычисление свободного члена V . В результате последней итерации $M = N$ в массиве $H(\tau)$ получаем элементы обратного фильтра. Функция автокорреляции $B(\tau)$ вычислялась по алгоритму М.Б. Рапопорта [2].

Итак для выполнения обратной фильтрации нужно последовательно выполнить процедуры прохождения автокорреляционной функции согласно алгоритма решения обратной задачи (Рис 2), для определения параметров обратного фильтра и нахождения свертки сигнала отклика массива горных пород с обратным фильтром, что дает возможность получить искомые параметры среды.

Литература

1. Канасевич Э.Р. Анализ временных последовательностей в геофизике. – М.: Недра, 1985. – 396 с.
2. Рапопорт М.Б. Вычислительная техника в полевой геофизике. – М.: Недра, 1993. – 350 с.

346428 г Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ (НПИ) каф. ГИТР., т 55-357,
e-mail: gitr@srstu.novoch.ru

УДК 550.831.015.072

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА U_z

Мотрюк Е.Н., Зубкова С.Е.

В практике интерпретации гравиметрических задач настоящее время большое внимание уделяется трехмерному 3Д-моделированию данных. Учиты-

вая данное направление, займемся вычислением вертикальной составляющей гравитационного потенциала U_z , создаваемого слоем нижнего полупространства. Допустим, что мы исследуем объект объема V_1 , о котором нам известна необходимая информация для вычисления U_z (плотность, форма и границы). Пусть известно также о среде объема V_2 вблизи рассматриваемого объекта. Нашей целью является подсчет гравитационного поля U_z , создаваемого в любой точке верхнего полупространства. Как будет влиять на это значение объем V_2 (боковые зоны рассматриваемого тела)? При решении прямой задачи гравиразведки с учетом этого влияния полное поле $U_{z\text{расч.}}$, создаваемое нижним полупространством, будет складываться из гравитационного поля данного тела U_{zV1} и гравитационного поля боковых зон U_{zV2} . Об одном из способов вычисления U_{zV2} и пойдет речь в данной работе.

Среди рассматриваемых модельных классов выделим трехмерные геологические источники, которые можно представить совокупностью вертикальных призм. Рассмотрим простейший случай (см. Рисунок), когда все призмы прямые четырехугольные (прямые параллелепипеды). Нам известны границы, плотность среды в каждой призме считается постоянной. Плоскость xOy совпадает с дневной поверхностью.

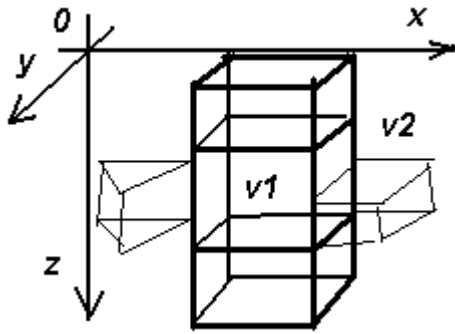


Рис. 1. Вид рассматриваемого объекта

Плоскость xOy совпадает с дневной поверхностью. Ось Oz направлена вертикально вниз. Объем выделенного тела обозначим V_1 . Объем V_2 представляет собой продолжение границ объекта до бесконечности. Он разбивается на 4 полубесконечные прямоугольные призмы и 4 полубесконечные треугольные (с прямым углом) призмы. Они разбиваются на разное число слоев, каждый со своей плотностью.

Из выше сказанного имеем для одной точки (назовем ее A):

$$U_z(x_A, y_A, z_A) = U_z^{V_1}(x_A, y_A, z_A) + U_z^{V_2}(x_A, y_A, z_A), \quad (1)$$

где $V_1 = \sum_{i=1}^n V_1^i$ – объем выделенного тела, $V_2 = \sum_{i=1}^n V_2^i$ – объем вне выделенного тела, n – число слоев. Значение для вертикальной составляющей $U_z^{V_2}$ запишется следующим образом:

$$U_{zs}^{V_2^{ПРЯМ}}(x_A, y_A, z_A) = \iiint_{V_2^{TR}} \frac{\gamma \sigma (\zeta - z_A) d\xi d\eta d\zeta}{[(\xi - x_A)^2 + (\eta - y_A)^2 + (\zeta - z_A)^2]^{3/2}} = \gamma \sum_{i=1}^{n_{trS}} \int_{z_{i-1}^{trS}}^{z_i^{trS}} \sigma_i^{trS} \iint_{S_i^{trS}} \frac{(\zeta - z_A) d\xi d\eta d\zeta}{\rho^3} \quad (2)$$

$$U_{zs}^{V_2^{ТРЕУГ}}(x_A, y_A, z_A) = \iiint_{V_2^{PR}} \frac{\gamma \sigma (\zeta - z_A) d\xi d\eta d\zeta}{[(\xi - x_A)^2 + (\eta - y_A)^2 + (\zeta - z_A)^2]^{3/2}} = \gamma \sum_{i=1}^{n_{prS}} \int_{z_{i-1}^{prS}}^{z_i^{prS}} \sigma_i^{prS} \iint_{S_i^{prS}} \frac{(\zeta - z_A) d\xi d\eta d\zeta}{\rho^3}, \quad (3)$$

где $\sigma_i^{prS}, \sigma_i^{trS}$ – избыточная плотность i -го слоя пород соответствующей главной призмы, $\rho = \sqrt{(\xi - x_A)^2 + (\eta - y_A)^2 + (\zeta - z_A)^2}$ – расстояние между точками A и M , n_{trS}, n_{prS} – число слоев в s -х треугольных и прямоугольных соответственно главных призмах, $s \in 1 \dots 4$. S_i – область, получаемая при сечении данного пласта

рассматриваемого объекта плоскостью xOy . Для треугольной и прямоугольной областей объема V_2 интегралы (2), (3) вычисляются посредством аналитического решения. В результате мы вывели следующее:

$$U_{z_i}^{\bar{V}_2 \text{ ПРЯМ}} = \gamma \sigma_i \left(\bar{z}_2 \left(\operatorname{arctg} \frac{\bar{x}_2}{\bar{z}_2} - \operatorname{arctg} \frac{\bar{x}_1}{\bar{z}_2} + \operatorname{arctg} \frac{\bar{x}_2 \bar{y}_1}{\bar{z}_2 R_{212}} - \operatorname{arctg} \frac{\bar{x}_1 \bar{y}_1}{\bar{z}_2 R_{112}} \right) - \right. \\ \left. - \bar{z}_1 \left(\operatorname{arctg} \frac{\bar{x}_2}{\bar{z}_1} - \operatorname{arctg} \frac{\bar{x}_1}{\bar{z}_1} + \operatorname{arctg} \frac{\bar{x}_2 \bar{y}_1}{\bar{z}_1 R_{211}} - \operatorname{arctg} \frac{\bar{x}_1 \bar{y}_1}{\bar{z}_1 R_{111}} \right) + \bar{x}_2 \ln \left(\frac{\bar{y}_1 + R_{212}}{\bar{y}_1 + R_{211}} \right) - \bar{x}_1 \ln \left(\frac{\bar{y}_1 + R_{112}}{\bar{y}_1 + R_{111}} \right) \right) \quad (4)$$

$$U_{z_i}^{\bar{V}_2 \text{ ТРЕУГ}} = \gamma \sigma_i \left(\bar{x}_1 \ln \left(\frac{\bar{y}_1 + R_{111}}{\bar{y}_1 + R_{112}} \right) + \bar{y}_1 \left(\ln \left(\frac{\bar{x}_1 + R_{111}}{\bar{x}_1 + R_{112}} \right) \right) + \bar{z}_2 \left(-\operatorname{arctg} \frac{\bar{y}_2}{\bar{z}_2} - \operatorname{arctg} \frac{\bar{x}_1}{\bar{z}_2} + \operatorname{arctg} \frac{\bar{x}_1 \bar{y}_1}{\bar{z}_2 R_{112}} \right) - \right. \\ \left. - \bar{z}_1 \left(-\operatorname{arctg} \frac{\bar{y}_2}{\bar{z}_1} - \operatorname{arctg} \frac{\bar{x}_1}{\bar{z}_1} + \operatorname{arctg} \frac{\bar{x}_1 \bar{y}_1}{\bar{z}_1 R_{111}} \right) + \frac{\pi}{2} (\bar{z}_2 - \bar{z}_1) \right) \quad (5)$$

В формулах (2), (3) координаты $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{z}_1, \bar{z}_2$ - координаты объекта в случае параллельности ребер относительно осей координат. Подставляя свои данные для каждой призмы (избыточную плотность σ , координаты $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ границ областей) в выражения (2) и (3), сложив их, можно получить величину, которая характеризует вертикальную составляющую гравитационного потенциала для боковых зон рассматриваемого геологического источника. Результаты прямой задачи можно использовать для дальнейшего исследования нашего объекта. Для этого необходимо, раз мы рассматриваем трехмерный случай, значения U_z вычисляются по сетка. А сетка составляется по дневной поверхности, на которой мы измеряем наше гравитационное поле, создаваемое слоем нижнего полупространства. По рассчитанному и измеренному в этих точках полю мы имеем возможность уточнения характера среды, составляющей содержание нашего источника. Таким образом, решать обратную задачу.

Мы поставили и решили прямую трехмерную задачу гравиметрии для слоистой среды, то есть для структурной модели рассматриваемого тела. Она, в свою очередь, является основой для решения обратной задачи. Полученные результаты позволят повысить эффективность комплексной интерпретации геофизических данных (наряду с магниторазведкой и сейсморазведкой). Что, несомненно, принесет пользу при работе в области геологических исследований.

УДК 550.831.015.072

РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ БОКОВЫХ ЗОН ПРИ ТРЕХМЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ НАД НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДОЙ

Зубкова С.Е., Мотрюк Е.Н.

Одна из наиболее информативных физических характеристик это плотность, которая в математическом моделировании рассматривается как функция координат. При решении обратных задач гравиразведки выделяются несколько

подзадач. Во-первых, пространственная локализация плотностных неоднородностей, т.е. определение границ аномалеобразующего тела. Во-вторых, определение распределения плотностей в выделенном объеме, возможно более точно отражающего гравитационное поле.

Т.к. те плотностные неоднородности в нижнем полупространстве, которые представляют интерес для изучения, располагаются в некотором объеме, то для получения более точного решения обратной структурной задачи было бы очень удобно исключить из наблюдаемого гравитационного поля влияние среды вне выделяемого нами объема, т.е. влияние боковых зон.

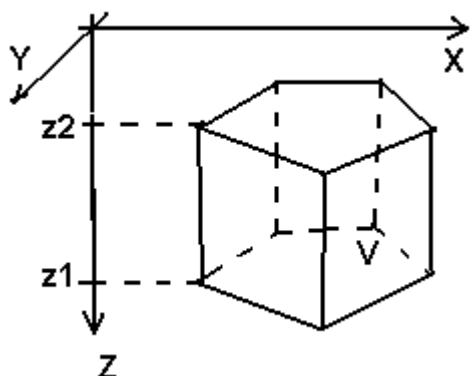


Рис.1

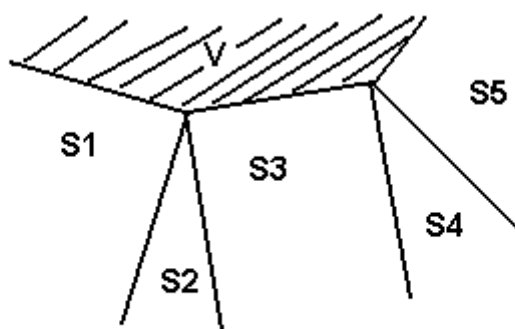


Рис.2

Боковыми зонами будем называть весь гравитационный слой, в котором находится аномалеобразующее тело, без самого тела. Для краткости обозначим объем выделяемого тела, содержащего неизвестные нам плотностные неоднородности, - V , дополнение его до горизонтального слоя - W . Итак, имеем $V \cup W = E$. Будем предполагать, что V - прямая n -угольная призма (рис.1). Вертикальная составляющая силы тяжести в некоторой произвольной точке на поверхности, т.е. в верхнем полупространстве, будет складываться из влияния V и W , т.е. $U_z(x_0, y_0, z_0) = U_z^V(x_0, y_0, z_0) + U_z^W(x_0, y_0, z_0)$.

Выбираем на поверхности некоторую сетку, в узлах которой вычислим значение поля от боковых зон. Далее, вычитаем эти значения из значений наблюдаемого поля. Таким образом, в каждом узле поверхностной сетки получаем значение вертикальной составляющей силы тяжести от выделенного объема V . Пока эта величина еще включает в себя постоянную, которая характеризует региональный фон. Но ни на точность определения границы тела, ни на распределение плотностей внутри него, эта постоянная существенно не повлияет. Выпишем оператор прямой задачи гравиразведки, с помощью которого и будем находить гравитационное влияние боковых зон

$$U_z^W(x_0, y_0, z_0) = \gamma \iiint_{(W)} \frac{\sigma(x, y, z)(z - z_0) dx dy dz}{[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} \dots$$

где γ - гравитационная постоянная; $\sigma(x, y, z)$ - плотность; (x_0, y_0, z_0) - точка на поверхности (узел сетки).

Задача данной работы состоит в вычислении этой составляющей, при наложении некоторых условий на распределение плотностей в области W , т.е. во внешней среде.

Для решения данной задачи необходимо каким-либо образом разбить область W на более простые пространственные области и продолжить в них плотности по какому-либо правилу. Это продолжение должно основываться на априорной информации, знании геологического строения данного региона. Пусть нам известно распределение плотностей на внешних гранях призмы, т.е. вне области. Тогда продолжим значение плотности в каждой точке по нормали, восстановленной в этой точке к боковой грани призмы. В результате этого предположения вся область W распадается на области двух разных типов: прямоугольные полубесконечные призмы и полубесконечные пространственные сектора (угловые области). Получаем $2n$ более простых областей: n – прямоугольных, n – угловых. Проекция этих областей на плоскость XOY показаны на рис.2.

Итак, объем W состоит из объединения $2n$ частей двух принципиально важных типов. Во-первых, каждая боковая грань призмы ограничивает в пространстве полубесконечный параллелепипед. Во-вторых, между любыми двумя соседними параллелепипедами, имеющими общее ребро, образуется двугранный угол. Области первого и второго типа чередуются и соприкасаются полуплоскостями.

$$U_z^W(x_0, y_0, z_0) = \gamma \sum_i \iiint_{(S_i)} \frac{\sigma(x, y, z)(z - z_0) dx dy dz}{(\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2})^3}, \quad \bigcup_{i=1}^{2n} S_i = W,$$

где прямоугольные области, $S_2, S_4, \dots, S_{2i}$ – угловые области $i = \overline{1, n}$.

Рассмотрим теперь интегрирование по каждой области отдельно. При вычислении вертикальной производной гравитационного потенциала по прямоугольной области значения функции плотности не меняются в одном направлении. Значит при повороте системы координат так, чтобы указанное направление совпало с одной из координатных осей, можно провести интегрирование по фиксированной координате аналитически. Это на один шаг упростит вычисление интеграла по данной области. Далее двойной интеграл можно вычислить численными методами для кратных интегралов.

Пусть (a, b) и (c, d) – координаты точек, задающих одну из сторон основания аномалиеобразующего тела; z_1, z_2 – координаты по z верхнего и нижнего основания (рис.1). Выпишем формулы прямого перехода при преобразовании координат, включающем параллельный перенос системы XOY на вектор (c, d) и поворот на угол α .

$$\begin{cases} x = x' \frac{c-a}{M} - y' \frac{d-b}{M} + c \\ y = x' \frac{d-b}{M} + y' \frac{c-a}{M} + d, \text{ где } \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \phi = \frac{d-b}{c-a}, M = |\overline{M}| = \sqrt{(d-b)^2 + (c-a)^2} \\ z = z' \end{cases}$$

Для определения новых координат точки наблюдения выведем формулы обратного перехода $(x_0, y_0, z_0) \rightarrow (x'_0, y'_0, z'_0)$

$$\begin{cases} x' = x \frac{c-a}{M} + y \frac{d-b}{M} - \frac{c(c-a) + d(d-b)}{M} \\ y' = -x \frac{d-b}{M} + y \frac{c-a}{M} + \frac{c(d-b) - d(c-a)}{M} \\ z' = z \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x'_0 = -\frac{(c-x_0)(c-a) + (d-y_0)}{M} \\ y'_0 = \frac{(c-x_0)(d-b) - (d-y_0)(c-a)}{M} \\ z'_0 = z_0 \end{cases}$$

После этого получаем:

$$U_z^S(x_0, y_0, z_0) = U_z^S(x'_0, y'_0, z'_0) = \gamma \iiint_{(S)} \frac{\sigma(x', y', z')(z' - z'_0) dx' dy' dz'}{[(x' - x'_0)^2 + (y' - y'_0)^2 + (z' - z'_0)^2]^{3/2}}.$$

Т.к. $\sigma(x', y', z')$ сохраняет постоянное значение на лучах, параллельных оси OY' (OY' выбираем перпендикулярно к боковой грани), то $\sigma(x', y', z')$ не зависит от y').

$$U_z^S(x_0, y_0, z_0) = \gamma \int_{z'_1}^{z'_2} dz' \int_0^M \sigma(x', 0, z') dx' \frac{z' - z'_0}{(x' - x'_0)^2 + (z' - z'_0)^2} \left(\frac{y' - y'_0}{\sqrt{(x' - x'_0)^2 + (y' - y'_0)^2 + (z' - z'_0)^2}} \right) \Big|_0^{+\infty}.$$

Вычислим предварительно предел: $\lim_{y' \rightarrow +\infty} \frac{y' - y'_0}{\sqrt{(x' - x'_0)^2 + (y' - y'_0)^2 + (z' - z'_0)^2}} = 1$.

И теперь можно записать

$$\begin{aligned} U_z^S(x_0, y_0, z_0) &= \gamma \int_{z'_1}^{z'_2} dz' \int_0^M \sigma(x', 0, z') \frac{z' - z'_0}{(x' - x'_0)^2 + (z' - z'_0)^2} \left(1 + \frac{y'_0}{\sqrt{(x' - x'_0)^2 + (y'_0)^2 + (z' - z'_0)^2}} \right) dx' = \\ &= \gamma \int_{z'_1}^{z'_2} dz' \int_0^M \frac{(z' - z'_0) \sigma(x', 0, z')}{(x' - x'_0)^2 + (z' - z'_0)^2} dx' + \gamma \int_{z'_1}^{z'_2} dz' \int_0^M \left(\frac{y'_0 (z' - z'_0) \sigma(x', 0, z')}{[(x' - x'_0)^2 + (z' - z'_0)^2] \sqrt{(x' - x'_0)^2 + (y'_0)^2 + (z' - z'_0)^2}} \right) dx' \end{aligned} \quad (1)$$

Полученные интегралы (1) находим с помощью численных методов.

При вычислении вертикальной производной гравитационного потенциала по угловой области (двугранному углу) можно либо напрямую воспользоваться методами численного интегрирования, либо перейти к цилиндрическим координатам. Пусть $(a, b), (c, d), (p, q)$ – координаты точек, задающих две последовательные стороны основания аномалиеобразующего тела. Формулы прямого перехода, как и в предыдущем случае, содержат параллельный перенос системы XOY на вектор (c, d) и поворот на угол α .

$$\begin{cases} x = x' \frac{p-c}{N} - y' \frac{q-d}{N} + c \\ y = x' \frac{q-d}{N} + y' \frac{p-c}{N} + d, \text{ где } \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \phi = \frac{q-d}{p-c}, N = |\vec{N}| = \sqrt{(q-d)^2 + (p-c)^2} \\ z = z' \end{cases}$$

Формулы обратного перехода и координаты точки наблюдения в новой системе координат будут иметь вид

$$\begin{cases} x' = x \frac{p-c}{N} + y \frac{q-d}{N} - \frac{c(p-c) + d(q-d)}{N} \\ y' = -x \frac{q-d}{N} + y \frac{p-c}{N} + \frac{c(q-d) - d(p-c)}{N} \\ z' = z \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x'_0 = -\frac{(c-x_0)(p-c) + (d-y_0)(q-d)}{N} \\ y'_0 = \frac{(c-x_0)(q-d) - (d-y_0)(p-c)}{N} \\ z'_0 = z_0 \end{cases},$$

Далее перейдем к цилиндрическим координатам и получим

$$\begin{aligned} U_z^S(x_0, y_0, z_0) &= U_z^S(x'_0, y'_0, z'_0) = \gamma \iiint_{(S)} \frac{\sigma(x', y', z')(z' - z'_0) dx' dy' dz'}{[(x' - x'_0)^2 + (y' - y'_0)^2 + (z' - z'_0)^2]^{3/2}} = \\ &= \gamma \iiint_{(S)} \frac{\sigma(r, \phi, z')(z' - z'_0) r}{[r^2 + r_0^2 + 2r r_0 \cos(\phi - \phi_0) + (z' - z'_0)^2]^{3/2}} d\phi dr dz', \end{aligned}$$

где $k = \frac{(q-d)(c-a) + (p-c)(b-d)}{(p-c)(a-c) + (q-d)(b-d)}$, $\phi_0 = \operatorname{arctg} \frac{(d-y_0)(p-c) - (c-x_0)(q-d)}{(d-y_0)(q-d) + (c-x_0)(p-c)}$,

$$r_0 = \sqrt{(x_0 - c)^2 + (y_0 - d)^2} = \sqrt{(x'_0)^2 + (y'_0)^2},$$

$$R^2 = r^2 + r_0^2 - 2rr_0 \cos(\varphi - \varphi_0), \quad r_0^2 = (x'_0)^2 + (y'_0)^2 = (x_0 - c)^2 + (y_0 - d)^2.$$

Окончательно имеем

$$\begin{aligned} U_z^S(x_0, y_0, z_0) = & \gamma \int_{z'_1}^{z'_2} \sigma(0, \pi/2, z')(z' - z'_0) * \left[\frac{r_0 - (r_0^2 + (z' - z'_0)^2)}{r_0 + (z' - z'_0)^2} \operatorname{arctg}(k) + \frac{1}{z' - z'_0} \operatorname{arctg} \frac{r_0 \cos \varphi_0}{z' - z'_0} + \right. \\ & + \frac{1}{z' - z'_0} \operatorname{arctg} \frac{k \cos \varphi_0 - \sin \varphi_0}{\sqrt{1+k^2}} + \frac{\sqrt{r_0^2 + (z' - z'_0)^2}}{r_0^2 (z' - z'_0)} \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{ctg} \varphi_0 (r_0 + (z' - z'_0)^2)}{z' - z'_0} + \\ & \left. + \frac{r_0^2 + (z' - z'_0)^2}{r_0^2 (z' - z'_0)} \operatorname{arctg} \left(\frac{r_0^2 + (z' - z'_0)^2}{z' - z'_0} \cdot \frac{k - \operatorname{tg} \varphi_0}{1 + k \operatorname{tg} \varphi_0} \right) \right] dz' \end{aligned} \quad (2)$$

Этот интеграл находится с помощью численных методов.

Таким образом, аппроксимируя объекты, содержащие плотностные неоднородности, прямой призмой и разбивая внешнюю область на простейшие геометрические тела, продолжая в них плотности стандартным образом, гравитационное влияние боковых зон в каждой точке на дневной поверхности складывается из (1) и (2). По выведенным формулам составлены программы на языке программирования Си. В дальнейшем имеется возможность применения полученных разработок для решения обратной плотностной и структурной задач гравиразведки.

Литература

1. Гладкий К.В. Гравиразведка и магниторазведка. – М.: Недра, 1967. – 320 с.
2. Кобрунов А.И. Теоретические основы решения обратных задач геофизики. – Ухта, 1995. – 226 с.
3. Кобрунов А.И. Об одной постановке задачи оптимизации, возникающей при интерпретации комплекса геофизических данных // Геофизический журнал. – 1982. – Т. 4. – № 3. – С. 50-56.
4. Страхов В.Н. Об Общих решениях обратных задач гравиметрии и магнитометрии // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1978. – № 4. – С. 104-117.

УДК 550.838.017

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ СТРУКТУРНОЙ ЗАДАЧИ МАГНИТОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ДВУХМЕРНОЙ МОДЕЛИ СРЕДЫ

Мужикова А.В.

В нефтегазовой геофизике структурные задачи, где априори вводится предположение о слоистом строении среды, занимают особо важное место. Это связано с тем, что скопление углеводородов часто приурочено к тем или иным структурным особенностям и их изучение прямо связано с поисками месторождений нефти и газа.

Рассмотрим предложенную слоистую модель среды. Пусть S – область в нижнем полупространстве, в пределах которой сконцентрированы горные породы, минералы или полезные ископаемые обладающие различной намагниченностью. Предположим, что в S имеется N пластов, разделенных границами

(рис.1). Каждая из границ $f_i(x), i = 0, \dots, N$ и компоненты вектора намагничивания

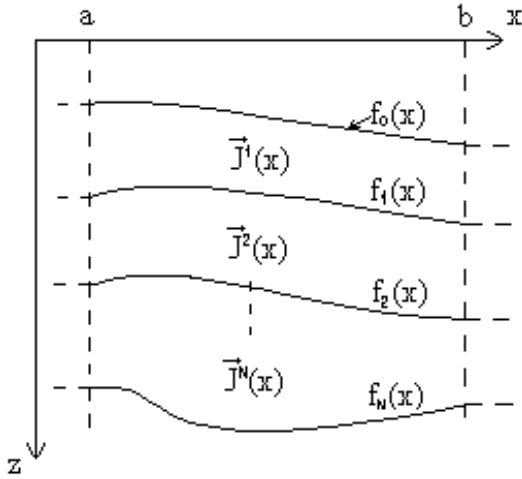


Рис.1

$J_x^i(x)$ и $J_z^i(x)$ заданы своими значениями в точках $x_j, j = 0, \dots, M, x_0 = a, x_M = b, M = (b - a)/\Delta x$, где Δx – интервал, с которым заданы значения глубин. Границы и намагниченность вне интервала $[a, b]$ продолжают до бесконечности величинами, равными значениям на соответствующих кривых. Намагниченность выше нулевой границы $J^0=0$ и ниже N -ной, т.е. $J^{N+1}=0$.

Под прямой задачей понимается задача нахождения вертикальной и горизонтальных составляющих аномалии напряженности, а также суммарного магнитного поля

$$T = \sqrt{(T_x + T_{xH})^2 + (T_y + T_{yH})^2 + (T_z + T_{zH})^2},$$

где T_{xH}, T_{yH} и T_{zH} – заданные фоновые компоненты магнитного поля в некоторой точке, относительно которой рассчитывается аномальное магнитное поле. В этом случае для потенциала U в точке $S_0(x_0, y_0, z_0)$, находящейся на расстоянии r от элементарного объема dV намагниченного тела можно записать [1, с.32-29]

$$U(S_0) = \int_V \frac{|\vec{J}| \cos(\vec{J}, \vec{r})}{r^2} dV = \int_V \left(J_x \frac{x - x_0}{r} + J_y \frac{y - y_0}{r} + J_z \frac{z - z_0}{r} \right) \frac{1}{r^2} dV.$$

В том случае, когда компоненты вектора намагничивания J_x, J_y и J_z не зависят от горизонтальной координаты y , магнитный потенциал равен

$$U(S_0) = \iint_S \left(J_x \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x - x_0}{r^3} dy + J_z \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{z - z_0}{r^3} dy \right) dS = 2 \iint_S J_x \frac{x - x_0}{r^2} dS + 2 \iint_S J_z \frac{z - z_0}{r^2} dS.$$

Тогда горизонтальная и вертикальная составляющие аномального магнитного поля $\vec{T}_a = (T_x, T_z)$ будут вычисляться из следующих формул

$$T_x = \frac{\partial U}{\partial x_0} = 2 \iint_S J_z \frac{\partial}{\partial x_0} \left(\frac{z - z_0}{r^2} \right) dS - 2 \iint_S J_x \frac{\partial}{\partial z_0} \left(\frac{z - z_0}{r^2} \right) dS, \quad (1)$$

$$T_z = \frac{\partial U}{\partial z_0} = 2 \iint_S J_x \frac{\partial}{\partial x_0} \left(\frac{z - z_0}{r^2} \right) dS + 2 \iint_S J_z \frac{\partial}{\partial z_0} \left(\frac{z - z_0}{r^2} \right) dS. \quad (2)$$

Каждая из компонент T_x и T_z складываются из поля левой и правой боковых зон $T_x^l, T_z^l, T_x^n, T_z^n$, а также поля структурной модели T_x^c, T_z^c , т.е.

$$T_x = T_x^l + T_x^n + T_x^c, T_z = T_z^l + T_z^n + T_z^c.$$

I. Найдем выражение, определяющее горизонтальную составляющую аномального магнитного поля структурной модели. Используя формулу (1), а также дифференциальное и интегральное исчисления, получаем

$$T_x^c = 2 \int_a^b \sum_{i=1}^N \int_{f_{i-1}}^{f_i} \left\{ J_z^i \frac{\partial}{\partial x_0} \frac{z - z_0}{(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2} - J_x^i \frac{\partial}{\partial z_0} \frac{z - z_0}{(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2} \right\} dz dx$$

$$= \sum_{i=0}^N \int_a^b \Delta J_z^i \frac{-2(x - x_0)}{(x - x_0)^2 + (f_i - z_0)^2} dx + \sum_{i=0}^N \int_a^b \Delta J_x^i \frac{2(f_i - z_0)}{(x - x_0)^2 + (f_i - z_0)^2} dx.$$

Для численных расчетов предположим, что измерения ведутся на дневной поверхности $z_0 = -\psi(x_0)$, где $\psi(x_0)$ – отметка высоты точки наблюдения над уровнем, принятым за уровень дневной поверхности. В пределах интервала (x_j, x_{j+1}) границы и намагниченность замыкаются постоянными значениями, равными значениям в середине интервала, например,

$$f(\bar{x}_j) = f\left(x_j + \frac{\Delta x}{2}\right) \cong \frac{f(x_j) + f(x_{j+1})}{2}, j = 0, \dots, M.$$

Аналогично выписываются $J_x(\bar{x}_j)$ и $J_z(\bar{x}_j)$. Тогда можно записать

$$T_x^c = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{M-1} \int_{x_j}^{x_{j+1}} \Delta J_z^i(\bar{x}_j) \frac{-2(x - x_0) dx}{(x - x_0)^2 + (f_i(\bar{x}_j) + \psi(x_0))^2} +$$

$$+ \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{M-1} \int_{x_j}^{x_{j+1}} \Delta J_x^i(\bar{x}_j) \frac{2(f_i(\bar{x}_j) + \psi(x_0)) dx}{(x - x_0)^2 + (f_i(\bar{x}_j) + \psi(x_0))^2}.$$

Вычисляя интегралы, получаем следующую расчетную формулу для T_x^c

$$T_x^c = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{M-1} \Delta J_z^i(\bar{x}_j) \ln \frac{(x_j - x_0)^2 + (f_i(\bar{x}_j) + \psi(x_0))^2}{(x_{j+1} - x_0)^2 + (f_i(\bar{x}_j) + \psi(x_0))^2} +$$

$$+ \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{M-1} \Delta J_x^i(\bar{x}_j) \left(2 \arctg \frac{x_{j+1} - x_0}{f_i(\bar{x}_j) + \psi(x_0)} - 2 \arctg \frac{x_j - x_0}{f_i(\bar{x}_j) + \psi(x_0)} \right).$$

II. Найдем теперь выражения, определяющие T_x^n и T_x^n .

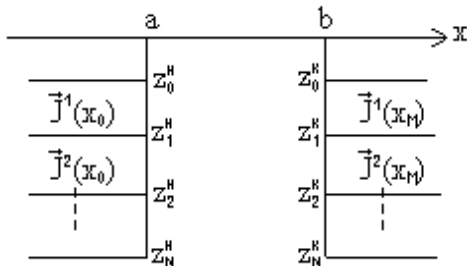


Рис.2

Для расчета влияния боковых зон следует рассчитать эти компоненты от модели среды, представляющей набор уступов, где

$$z_i^H = f_i(\bar{x}_0) = \frac{f_i(x_0) + f_i(x_1)}{2},$$

$$z_i^K = f_i(\bar{x}_{M-1}) = \frac{f_i(x_{M-1}) + f_i(x_M)}{2}$$

По формуле (1) вычисляем горизонтальную компоненту вектора напряженности для одного правого и левого бесконечного уступа, например,

$$T_x^n = 2J_z \int_b^{\infty} \int_{h_1}^{h_2} \frac{\partial}{\partial x_0} \frac{z - z_0}{(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2} dx dz - 2J_x \int_b^{\infty} \int_{h_1}^{h_2} \frac{\partial}{\partial z_0} \frac{z - z_0}{(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2} dx dz$$

$$= J_z \ln \frac{(b-x_0)^2 + (h_2-z_0)^2}{(b-x_0)^2 + (h_1-z_0)^2} - 2J_x \left(\operatorname{arctg} \frac{b-x_0}{h_2-z_0} - \operatorname{arctg} \frac{b-x_0}{h_1-z_0} \right).$$

В итоге, горизонтальная компонента магнитного поля правой и левой боковых зон рассчитывается по следующим формулам

$$\begin{aligned} T_x^n &= \sum_{i=1}^N J_z^i(\bar{x}_{M-1}) \ln \frac{(b-x_0)^2 + (f_i(\bar{x}_{M-1}) + \psi(x_0))^2}{(b-x_0)^2 + (f_{i-1}(\bar{x}_{M-1}) + \psi(x_0))^2} \\ &- 2 \sum_{i=1}^N J_x^i(\bar{x}_{M-1}) \left(\operatorname{arctg} \frac{b-x_0}{f_i(\bar{x}_{M-1}) + \psi(x_0)} - \operatorname{arctg} \frac{b-x_0}{f_{i-1}(\bar{x}_{M-1}) + \psi(x_0)} \right). \\ T_x^l &= - \sum_{i=1}^N J_z^i(\bar{x}_0) \ln \frac{(a-x_0)^2 + (f_i(\bar{x}_0) + \psi(x_0))^2}{(a-x_0)^2 + (f_{i-1}(\bar{x}_0) + \psi(x_0))^2} \\ &+ 2 \sum_{i=1}^N J_x^i(\bar{x}_0) \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x_0}{f_i(\bar{x}_0) + \psi(x_0)} - \operatorname{arctg} \frac{a-x_0}{f_{i-1}(\bar{x}_0) + \psi(x_0)} \right). \end{aligned}$$

Расчетные формулы для вертикальной компоненты выводятся из формулы (2) аналогично горизонтальной компоненте.

Прямая задача является вспомогательной для решения обратной задачи. Решение же последней позволит повысить точность подбора параметров среды по магнитному полю, что является крайне важным для повышения эффективности геофизических работ, в частности, магнитометрических работ в комплексе геологоразведочных исследований.

Литература

1. Серкерев С.А. Гравиразведка и магниторазведка. – М.: Недра, 1999. – 437 с.
2. Никитский В.Е., Глебовский Ю.С. Магниторазведка. – М.: Недра, 1980. – 367 с.
3. Кобрунов А.И. Теоретические основы решения обратных задач геофизики: Учебное пособие. – Ухта: УИИ, 1995. – 226 с.

УДК 622.235.05

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВАЛА ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА КАРЬЕРАХ

Горлов Ю.В.

Горное предприятие – одно из наиболее ресурсоемких современных производств, поэтому для интенсификации горных работ необходимо широкое внедрение достижений научно-технического прогресса. Актуальной задачей горного производства является оптимизация технологических процессов, для чего необходимо широкое применение ЭВМ, создание и внедрение систем автоматизированного проектирования и планирования.

Реализация автоматизированного проектирования предполагает создание на основе математических моделей программного обеспечения, методов и алгоритмов для решения различных проектных задач. Одной из самых распро-

страненных и сложных задач при проектировании горных работ является математическое моделирование геометрических объектов, которые наиболее удобно представлять в аналитическом виде с помощью уравнений (зависимостей).

При проектировании и составлении планов развития горных работ на карьерах необходимо прогнозировать параметры развала породы, разрыхленной взрывом (см. рисунок). С помощью регрессионного анализа опытных и нормативных данных [1] получен ряд функциональных зависимостей, характеризующих параметры развала взорванной горной массы на карьерах по добыче сырья для производства строительных материалов.

Полная ширина развала (B_p , м) описывается системой уравнений:

$$B_p = \left\{ \left[1,481H \left(1,869^{\frac{A}{H}} \right) - A - K_2 \right] K_1 + A \right\} \frac{K_p}{1,5}, \quad \text{при } A < 0,9H$$

$$B_p = \left[(1,267H + 0,461 - K_2) K_1 + A \right] \frac{K_p}{1,5}, \quad \text{при } 0,9H \leq A < 2,3H$$

$$B_p = \left\{ \left[\left(7,9H - 7,558 \frac{H^2}{A} \right) - A - K_2 \right] K_1 + A \right\} \frac{K_p}{1,5}, \quad \text{при } 2,3H \leq A < 3H$$

$$B_p = \left[(2,4H - K_2) K_1 + A \right] \frac{K_p}{1,5}, \quad \text{при } 3H \leq A \leq 5H$$

где H - высота взрываемого уступа, м; $A = W + b(n - 1)$ - ширина буровой заходки, м; W - линия сопротивления по подошве уступа, м; b - расстояние между рядами скважин, м; n - количество рядов скважин; K_p - коэффициент разрыхления породы; K_1 - поправочный коэффициент при короткозамедленном взрывании (0,75 - безврубная порядная схема коммутации зарядов; 0,675 - врубовая схема с клиновидным или трапецеидальным врубом; 0,6 - врубовая схема с поперечным боковым или призматическим врубом); $K_2 = 1,22H \cos \beta$ - величина уменьшения неполной ширины развала для наклонных скважин, м; β - угол наклона скважин к горизонту, градус.

Максимальная высота развала (H_p , м) определяется по формулам:

$$H_p = \left\{ \left[0,81 + 0,318 \ln \left(\frac{A}{H} \right) \right] H + 0,6H \cdot \cos \beta \right\} K_3, \quad \text{при } A < 0,9H$$

$$H_p = \left[\left(1,545 - 0,693 \frac{H}{A} \right) H + 0,6H \cdot \cos \beta \right] K_3, \quad \text{при } 0,9H \leq A < 1,6H$$

$$H_p = \left[1,035H \left(\frac{A}{H} \right)^{0,154} + 0,6H \cdot \cos \beta \right] K_3, \quad \text{при } 1,6H \leq A < 3H$$

$$H_p = \left[0,8H \cdot 1,1545^{\frac{A}{H}} + 0,6H \cdot \cos \beta \right] K_3, \quad \text{при } 3H \leq A \leq 4H$$

$$H_p = (1,421H + 0,6H \cdot \cos \beta) K_3, \quad \text{при } A > 4H$$

где K_3 - поправочный коэффициент при короткозамедленном взрывании ($K_3 = 1,15$ - для безврубовой порядной схемы коммутации зарядов; $K_3 = 1,2$ - для врубовых с клиновидным и трапецидальным врубом или диагональных схем; $K_3 = 1,25$ - для схем коммутации скважинных зарядов с поперечным боковым или призматическим врубом).

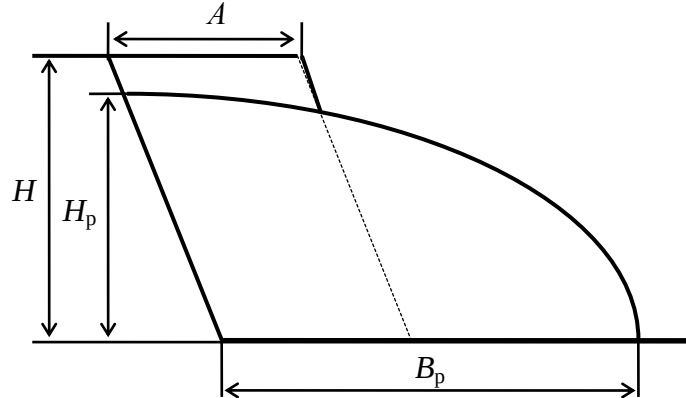


Рис.1. Параметры развала взорванной горной массы в карьере

Полученные зависимости обеспечивают компактность, простоту и удобство разработки алгоритмов решения задач при компьютерном программировании технологических процессов горного производства на карьерах.

Литература

1. Нормы технологического проектирования предприятий промышленности нерудных строительных материалов. – Л.: Стройиздат, 1988. – 150 с.

346428 г.Новочеркасск, ул. Просвещения 132, ЮРГТУ(НПИ), каф. ОРМПИ, т. 55-354

УДК 624.131 + 556.3: 519.2

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ И НАПРЯЖЕНИЙ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ

Ткачук Э.И.

Выполнен анализ результатов изучения проницаемости скальных оснований гидротехнических сооружений, рудовмещающих и углевмещающих пород, трещинных коллекторов нефти и газа, ряда других объектов, охватывающие в общей сложности интервалы глубин H от 5-20 м до 1,5-7 км. В качестве показателей проницаемости K использованы преимущественно коэффициенты фильтрации K_f , м/сут, коэффициенты трещинной проницаемости и удельные водопоглощения по нагнетаниям [1].

В результате упомянутого анализа выявлено 2 основных типа вероятностных моделей поведения K : обратно пропорциональных $H^{1,5}$ и обратно пропорциональных H^3 . Эти модели в линеаризованной форме имеют соответственно следующий вид:

$$\lg K = a_1 - 1,5 \lg H; \quad (1)$$

$$\lg K = a_2 - 3 \lg H, \quad (2)$$

где a зависит от состава скальных пород и особенностей опытно-фильтрационного опробования, H – в метрах.

Предполагается, что выявленные два типа моделей соответствуют двум типам напряженного состояния скальных массивов: нормальному (геостатическому) и аномальному (геодинамическому). При нормальном напряженном состоянии величина напряжений соответствует весу вышележащей толщи пород γH , при аномальном - значительно (в 2-5 раз и более) превышают γH . При этом обобщение имеющихся эмпирических данных [2, 3] позволяет отметить, что поведение суммы горизонтальных напряжений $\sigma_{x,y}$ в условиях нормального и аномального напряженных состояний аппроксимируется соответственно следующим образом:

$$\sigma_{x,y} = 0,05H; \quad (3)$$

$$\sigma_{x,y} = A + 0,10H, \quad (4)$$

где $\sigma_{x,y}$ – в МПа, коэффициент A изменяется преимущественно от 16 до 19 МПа.

Двукратное различие коэффициентов регрессии $\sigma_{x,y}$ по H зависимостей (3) и (4) соответствует двукратному различию коэффициентов регрессии $\lg K$ по $\lg H$ зависимостей (1) и (2).

Однако упомянутое соответствие не является неоспоримым, поскольку результаты измерения напряжений и определения проницаемости горных пород, как правило, разобщены в пространстве. Исключением являются результаты гидрогеологического и инженерно-геологического изучения ордовикских и силурийских доломитов штата Висконсин, США [4]. Эти результаты включают значения K_f , полученные с помощью опытных нагнетаний в 30 интервалах скважины глубиной 300 м, а также данные о минимальных и максимальных напряжениях ниже зоны выветривания (на глубинах свыше 58 м), которые в 2-3 раза превышают γH (в данных условиях $\gamma H = 0,026H$). Статистическая обработка полученных материалов показала, что средние значения напряжений $\sigma = 2,7 + 0,053H$. Это по коэффициенту регрессии вдвое выше γH и соответствует аномальному напряженному состоянию, для которого $\lg K_f = 4,8 - 3 \lg H$, что соответствует уравнению (2). В зоне выветривания (до глубины 55 м, т.е. в условиях нормального напряженного состояния) $\lg K_f = 1,5 - 1,5 \lg H$, что соответствует уравнению (1).

Полученные данные позволяют отметить, что коэффициент регрессии $\lg K$ по $\lg H$ представляет собой важный диагностический признак напряженного состояния скальных массивов, и наоборот: принадлежность исследуемых горизонтов земной коры к конкретному типу напряженного состояния позволяет определить модель наиболее вероятного поведения проницаемости.

Выявленные соответствия типов вероятностных моделей поведения проницаемости и напряженного состояния скальных массивов создают необходимую теоретическую основу решения ряда практических задач, в числе которых - поиск экологически безопасных горизонтов захоронения токсичных отходов, месторождений подземных вод, нефти и газа, прогноз рудничных и шахтных водопритокров и т.п.

Для захоронения токсичных отходов наиболее пригодны горизонты земной коры, характеризующиеся аномальным напряженным состоянием, при котором поведение проницаемости аппроксимируется зависимостью (2). Опыт исследований при проектировании полигонов подземного захоронения показывает, что поиск таких горизонтов не представляет особого труда. Так, обобщение результатов детального изучения докембрийских гранитов одного из участков Центральной Швеции, предназначенного для подземного захоронения ядерных отходов [5] и архейского гранитного плутона Канадского щита на юго-западе Онтарио [6] показало соответственно, что наиболее правдоподобные оценки средних $K_f = 2,1 \cdot 10^3 \text{ Н}^{-3}$ и $K_f = 1,1 \cdot 10^3 \text{ Н}^{-3}$: при увеличении глубины залегания исследованных пород в 10 раз (например, с 50 до 500 м) их проницаемость снижаются на 3 порядка, тогда как в условиях нормального напряженного состояния - лишь в 30 раз. Иными словами, изученные горные породы в условиях аномального напряженного состояния уже на глубине порядка 400-500 м обладают столь ничтожными фильтрационными свойствами (порядка 0,02-0,03 мм/сут), что способны обеспечить длительное и экологически безопасное хранение отходов. В условиях нормального напряженного состояния эти же породы в соответствии с уравнением (1) обеспечат требуемую безопасность лишь на глубине не менее 4-5 км.

При поисках месторождений подземных вод, нефти и газа, наоборот, предпочтительны массивы горных пород с нормальным напряженным состоянием, для которого, в соответствии с моделью (1), градиенты вертикальной изменчивости проницаемости значительно меньше. Такое состояние может наблюдаться на значительных (до 1,5-7 км) глубинах [1].

Однако в ряде случаев на глубинах свыше 20-70 м, нередко на глубине более 0,5 км нормальное напряженное состояние трансформируется в аномальное. Такая трансформация зафиксирована в Донбассе (на глубине порядка 400-600 м), на Кавказе, в складчатых поясах Урала, Сибири, Казахстана, на Кольском полуострове, в других районах многих стран и является важным фактором формирования рудничных и шахтных водопритокков Q , в частности, приводит к качественному изменению поведения Q . Так, оценочные расчеты показывают, что в условиях нормального напряженного состояния значения Q увеличиваются с увеличением глубины отработки полезного ископаемого, при аномальном напряженном состоянии - уменьшаются. Натурные наблюдения подтверждают полученные оценки [7].

В заключение отметим, что в настоящее время существуют достаточно надежные геофизические методы изучения напряженного состояния скальных массивов [8].

Литература

1. Ткачук Э.И. Закономерности вертикальной изменчивости параметров трещиноватости и фильтрационных свойств скальных массивов // Инженерная геология. – 1992. – № 4. – С. 3-26.
2. Пейве А.В., Кропоткин П.Н. Новый подход к изучению напряжений в земной коре // Напряженное состояние земной коры. – М.: Наука, 1973. – С. 5-11.
3. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. – Л.: Недра, 1984. – 503 с.
4. Haimsson B. C. Unified fracture, stress and permeability studies //Bull. IAEG. –1983. – № 26-

27. – P. 427-431.
5. Carlsson H., Carlsson L., Jamtlid A. et al. Cross-hole techniques in a deep seated rock mass //Bull. of the International Association of Engineering Geology (IAEG). –1983. – № 26-27. – P. 377-384.
 6. Leep P.K., Pearson R., Leech R. E. J., Dickin R. Hydraulic testing of deep fractures in the Canadian Shield // Bull. IAEG. – 1983. – № 26-27. – P. 461-465.
 7. Сергиенко Е.В., Стулова О.Ю., Ткачук Э.И. Особенности поведения водопритоков шахты Западная-Капитальная // Вопросы геологии и разработки месторождений полезных ископаемых. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999. – С. 64-65.
 8. Савич А.И., Коптев В.И. Изучение напряженного состояния массивов скальных пород сейсмоакустическими методами в связи со строительством подземных гидротехнических сооружений //Тр. Гидропроекта. Вып. 78. – М.: Гидропроект, 1981. – С. 47-65.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения 132. ЮРГТУ (НПИ), каф. ГГиИГ, т. 55-352.
e-mail: e.tkachuk@mail.ru

УДК 681.5.017:621.039.58

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСЛАБЛЕННОЙ ЗОНЫ ВОКРУГ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВЫРАБОТОК

Яковлев С.Ю., Каспарьян Э.В., Вьялкова Н.Ю., Исакевич Н.В.

Оценка безопасности состояния приконтурной области массива важна для подземных объектов, в частности, для подземных атомных станций и хранилищ радиоактивных отходов. Одним из актуальных методов исследования является компьютерное моделирование. Ранее была реализована геомеханическая модель для выработок наиболее простой формы - вертикальной цилиндрической. Данная работа выполнена на основе математической постановки задачи расчета параметров ослабленной зоны для горизонтальных выработок цилиндрической формы.

Программа написана в среде программирования Delphi 5 фирмы Borland для операционной системы Windows 95. Программирование в Delphi построено на взаимодействии двух процессов: конструирования визуального представления программы и написания кода, придающего элементам этого окна и программе в целом необходимую функциональность. Процесс написания кода охватывал 4 основных блока: ввод и редактирование данных, расчет напряжений, расчет параметров зон возможных вывалов, графическое представление зон возможных вывалов. Зона разрушений определяется путем вычисления зон возможных вывалов для полярных углов от 0^0 до 90^0 (этого диапазона достаточно в силу осевой симметрии задачи). Графическое изображение формируется с помощью отрезков, длины которых равны длинам зоны разрушений с соответствующими углами наклона.

Реализация потребовала существенной доработки программы расчета ослабленной зоны для вертикальных цилиндрических выработок, с сохранением ранее принятых общей структуры и интерфейса. Кроме того, созданные модели объединены в рамках программной системы (пакета), предполагающей дальнейшее развитие.

Далее предполагается осуществить исследование программы в ходе опытной эксплуатации, и, при необходимости, ее доработку. В перспективе планируется перейти к разработке моделей для выработок более сложной формы (практического очертания), например, горизонтальных выработок сводчатого сечения.

184200 г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, 24а, ИИММ КНЦ РАН, (81555) 79691
e-mail yakovlev@iimm.kolasc.net.ru

УДК 622.014.2:519.688

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ РИСКА

Зайцева И.В.

В современных условиях очень важны мероприятия, уточняющие планирование горных работ, так как этапы развития предприятий важнейшей отрасли народного хозяйства – цветной металлургии – определяются сложностью и характером месторождения полезных ископаемых.

Возникает задача разработки экономического механизма, позволяющего учитывать при планировании качественные и количественные показатели добычи рудной массы с учетом неопределенности геологической информации и учете вероятностных характеристик геологических и технико-экономических показателей отдельных блоков предприятия горнодобывающей промышленности, подготовленных к добычным работам, при формировании производственного плана рудника.

Один из подходов по применению математических методов для экономического обоснования развития горных работ можно представить в виде предложений по улучшению планирования для предприятия ЗАО «Урупский горно-обогатительный комбинат»:

1. Процесс оптимизации месячного плана производства проводить на основе установления и оценки закона распределения случайной величины производительности конкретного блока, основные вероятностные характеристики которого рекомендуется использовать при планировании.

2. Использовать при планировании постановку модели формирования оптимального месячного плана рудника, обеспечивающего заданный объем поставки руды на обогатительную фабрику с требуемым содержанием полезных компонентов (Cu, Zn) в руде, с учетом вероятностных характеристик производительности блоков горного предприятия, являющейся задачей линейного программирования и реализуемой симплекс-методом в паре с двойственной.

3. Плановую стратегию предприятия формировать на основе комплексной оценки производительности отдельных блоков: степени влияния на прибыль, полученной в процессе анализа чувствительности разработанной модели

и корреляционно-регрессионного анализа оценки степени связи между производительностью отдельного блока и прибылью с использованием технических критериев принятия решения в условиях неопределенности и риска, т.е. из нескольких плановых стратегий выбирать ту, которая обеспечивает максимальный уровень прибыли при наименьшей себестоимости добычи.

Литература

1. Резниченко С.С., Ашихмин А.А. Математические методы и моделирование в горной промышленности. – М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 1997. – 404 с.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ(НПИ), каф. ЭиОМЭиЭП, т. 55-0-45

УДК 658.012.011.56.004.14:622

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ФИРМЫ "CYCORP INC." В ЗАДАЧАХ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

Коваленко И.Л., Иванов И.Ю.

Фирмой CYCORP INC. разрабатывается проект CYC. Цель проекта - создание мультиконтекстуальной базы знаний в совокупности с машиной вывода, позволяющих интегрировать разнородные данные и интерпретировать их осмысленным образом в контексте решаемых задач. Проект был доведен до стадии промышленного применения в 1995г. и продолжает интенсивно развиваться. Среди используемых в настоящее время приложений CYC имеют место такие: интеграция разнородных (в том числе несовместимых по стандартам) баз данных с автоматическим построением схем, запросов и электронных таблиц; целенаправленный смысловой поиск и анализ информации в больших информационных массивах и в Интернет; формирование тезауруса и устранение неоднозначности смысла терминов при совместном использовании документов из различных прикладных областей; распределенная параллельная обработка запросов в Интернет.

В 1996г. некоторые базовые элементы созданных CYCORP технологий были предоставлены в общественное пользование и в настоящее время доступны через вебсайт фирмы <http://www.cyc.com>.

Широко известное и многократно проверенное практикой построения и внедрения промышленных систем, автоматизации управления и САПР правило гласит: действующая сложная система может быть получена только в результате развития действующей простой системы. Это означает, что нельзя отделить процесс проектирования сложной системы от процесса ее внедрения. Нельзя, например, сначала спроектировать, написать и отладить сложную систему в лаборатории, а после этого приглашать ее будущих пользователей, администраторов и эксплуатационников, и объяснять им, как они будут с ней работать. Подобные попытки всегда приводят к одному результату: немедленно после начала подобного "внедрения" обнаруживается, что поведение системы неадек-

ватно содержанию задач, решению которых она призвана способствовать (по крайней мере в понимании тех, кто отвечает на предприятии за решение этих задач), не учитываются важные факторы, которые при проектировании забыли упомянуть или сочли сами собой разумеющимися, что постановщики и консультанты в своих формулировках имели в виду не то, что сказали или написали и пользование системой создает больше проблем, чем решает и что вообще от этой автоматизации один вред.

В то же время успеха можно добиться, если после введения в действие простой системы постепенно наращивать ее функциональность, проверяя в реальной практике адекватность и эффективность каждой вновь добавленной или модифицированной функции. Особенно важно подчеркнуть, что эта проверка должна производиться в тех же условиях и на тех же реальных данных, в которых и на которых будет происходить эксплуатация системы. Только практика может показать, был ли очередной сделанный шаг от простой системы к сложной сделан правильно и в правильном направлении.

Примером такого подхода может служить выпуск коммерческих программных продуктов в виде последовательности версий, каждая из которых прежде, чем получит официальный статус, проходит так называемое "бета-тестирование", которое отличается от обычной эксплуатации только более льготными условиями приобретения пользователями (обычно уже знакомыми с предыдущими версиями) копии новой версии продукта.

Однако применение этого подхода в построении систем, подобных системам автоматизации календарного планирования горных работ, приводит к необходимости решать ряд проблем, которые в совокупности можно было бы охарактеризовать как "проблемы разнородности и несовместимости". Дело в том, что для составления календарного плана, особенно на год (что является стандартным сроком планирования для геолого-маркшейдерской службы) и более длительные отрезки времени, необходимо учитывать информацию совершенно различного свойства, происхождения и форм представления, описывающую условия предстоящих работ с различных точек зрения, на разных уровнях абстракции и в различных системах понятий. Это, например, пространственно соотнесенная двухмерная и трехмерная информация о геологическом строении пород, обстановке на поверхности и состоянии существующих горных выработок; техническая информация об устройстве и параметрах доступного для использования оборудования и машин; информация экономического характера, касающаяся прогнозов цен на используемые ресурсы, добываемую продукцию и транспортные услуги. Этот список можно продолжить, вплоть до необходимости учета политической и социологической обстановки. Речь идет, таким образом, не только о несовместимости данных по форматам представления, но и о необходимости интегрировать в рамках решаемой задачи сведения, источники которых изначально не могли предполагать подобной интеграции. Сами специалисты – маркшейдеры, геологи, экономисты, и т.д. – привлечение которых необходимо для всестороннего учета факторов, от которых зависит оптимальный календарный план, не всегда в состоянии понять друг друга, поскольку имеют разное образование, мыслят в разных системах понятий и поль-

зуются различными терминами. Еще хуже то, что, подготавливая данные, касающиеся области их специализации, для использования в автоматизированной системе планирования, они используют одни и те же или сходные термины, понятия и форматы для обозначения и представления различных вещей, и наоборот, называют одно и то же по-разному. Это приводит к ошибкам и необходимости длительных поэтапных уточнений и согласований. Задача осложняется еще и тем, что и формы представления используемой информации часто не стандартизованы или имеют несколько взаимоисключающих стандартов, и специалисты на каждом предприятии уже имеют к настоящему времени определенные предпочтения такого рода, а также сложившиеся традиции и навыки в пользовании программным обеспечением для обработки этой информации. Обычно эти предпочтения свои на каждом предприятии. Часто специалисты, не имея информации о существующих форматах представления данных, с которой им приходится работать, или не будучи удовлетворенными этими форматами, изобретают свои собственные, что только усиливает неразбериху.

По мере наращивания функциональности системы автоматизации календарного планирования она становится способной все более полным образом учитывать существенные для составления календарного плана факторы. Однако в процессе такого наращивания на каждом его этапе мы не всегда можем предсказать, какая именно функция будет включена в систему на следующем этапе и какой именно новый фактор она будет учитывать. Более того, возможность такого предсказания и возможность наращивания системы по заранее утвержденному плану является скорее исключением, чем правилом. Выбор наиболее актуального направления для очередного шага в развитии системы зависит от результатов предыдущего шага. На этом пути возможны и возвращення, и "откаты" к неким узловым точкам, когда выбранное ранее направление развития в результате проверки практикой оказывается ошибочным, или когда какой-то отрезок пути оказывается необходимо пройти другим, более оптимальным способом. Непредсказуемость выбора относится не только к данным, но и к алгоритмам, которые будут их обрабатывать на очередном этапе с целью выработки более оптимального или более детального календарного плана. Таким образом, мы не можем предсказать, какие данные и какие алгоритмы будут включены в систему на следующем этапе, и не можем заблаговременно позаботиться о том, чтобы первые находились в соответствии со вторыми, и чтобы те и другие были приспособлены для включения в уже работающую часть системы. Это означает, что задачу объединения и стыковки разнородного, нестандартного, несовместимого и взаимно неподготовленного придется решать на каждом этапе, по мере развития простой системы в сложную.

Именно для решения таких задач (в их самом широком смысле) и предназначена система СУС. Это можно проиллюстрировать примером, который компания приводит в описании приложения СУС к интеграции баз данных (<http://www.cyc.com/applications>). Современные базы данных "богаты информацией, но бедны знаниями". База данных отдела кадров может содержать сведения о том, что некий "Фред Ютц" работает в должности "профессора" в "Гарвардском университете", но она не знает, что такое "персонал", кто такой "про-

фессор" и что такое "университет". Поэтому, имея все нужные сведения, она не может правильно ответить на такой, например, запрос: "дать список обладателей ученой степени, живущих в Новой Англии". Если же эта база данных подключена к СУС, она может это сделать. Используется мультиконтекстуальная база знаний и машина вывода, основанная на исчислении предикатов первого порядка. Для представления знаний используется язык CysL, представляющий собой разновидность языка логики предикатов первого порядка; его синтаксис и подробное описание в настоящее время предоставлены CYCORP в общественное пользование. База данных представляет собой совокупность так называемых "микротеорий", сформулированных на этом языке. Каждая из "микротеорий" описывает определенную предметную область, фрагмент реальности, или точку зрения на него. Она включает в себя совокупность существующих в этой области понятий (так называемую "онтологию"), описание их смысла, соотношения между ними, употребляемые термины и их смысл, включая многозначность и синонимию, характерные примеры и типичные обобщения. Все это позволяет системе устранять "девиацию смысла" и функционировать в соответствии с правилом, которое считается "правилом хорошего тона" в программном обеспечении, хотя не всем удается ему следовать. Оно формулируется: "делай то, что я имел в виду, а не то, что я сказал".

Способность системы СУС объединять и взаимоувязывать разнородную и несогласованную информацию делает возможным ее полезное применение даже на этапах, предшествующих введению в действие полномасштабной системы автоматизации календарного планирования или хотя бы ее первой очереди. Она может использоваться для преобразования данных, подготовленных одной группой специалистов при помощи специфических для этой группы средств в форматы и представления, пригодные для обработки специалистами другой группы с ее специфическими средствами. Например, данные могут извлекаться из чертежей TurboCAD и преобразовываться в бланки и документы какого-либо бухгалтерского пакета.

Еще один существенный аспект задачи календарного планирования заключается в древовидности процесса поиска оптимального решения. Оптимизация в данном случае отнюдь не сводится к поиску максимума какой-то (даже многомерной) функции или к решению задачи линейного программирования. Как отмечено в статье [1], посвященной методическим аспектам разработки систем такого рода, решение вопросов, входящих в разработку календарного плана "является многовариантной задачей, сопровождающейся большим объемом расчетно-графических работ". Это означает, что система в процессе поиска оптимального решения должна проанализировать последствия каждого из возможных решений, которые могут быть приняты на каждом этапе планирования. При внимательном рассмотрении оказывается, что это в точности тот же процесс, который выполняется системой СУС в ходе логического вывода при интерпретации каждого запроса. Действительно, на каждом этапе разработки плана система должна: составить список возможных на этом этапе решений исходя из последствий решений, принятых ранее и связанных с ними ограничений; выяснить, какие данные понадобятся для анализа последствий каждого из реше-

ний в этом списке, какие алгоритмы и процедуры потребуются для оптимизации параметров решений и какие ожидаются при этом вычислительные затраты; упорядочить решения в списке по степени актуальности; для каждого решения вычислить диапазон его ожидаемых последствий; исключить решения, последствия которых приходят в противоречие с требованиями к плану или выходят за рамки допустимого; для оставшихся решений подготовить структуры данных для выполнения всех перечисленных операций на последующих этапах. Таким образом, машина вывода СУС может использоваться не только для извлечения, подготовки и согласования данных, необходимых для принятия решений в процессе календарного планирования, но и для выполнения самого процесса выработки оптимального календарного плана.

Работа, которую предстоит выполнить для реализации на практике описанного здесь подхода к автоматизации календарного планирования, обусловлена тем, что хотя CYCORP сделала значительную часть своего проекта открытой, все же остаются закрытыми некоторые существенные элементы остаются закрытыми, и компания предоставляет их только партнерам, готовым пойти, по ее выражению, на финансовые затраты "сравнимые с теми, которые были сделаны ей самой". Так закрытыми остаются реализация машины вывода, а также микротеоории, образующие базу знаний СУС. В то же время открытой является так называемая Онтология верхнего уровня, представляющая собой совокупность термов, из которых строятся микротеоории, с описаниями и взаимосвязями. Поэтому для реализации предлагаемого здесь подхода нужно выполнить следующее:

- написать машину вывода СУС;
- выбрать из открытой Онтологии верхнего уровня элементы, актуальные в контексте предполагаемых задач и написать микротеоории для них;
- сформулировать на CysL алгоритмы формирования и оптимизации календарного плана;
- построить микротеоории для предметных областей, актуальных при формировании календарного плана и представляемых в них данных.

На основании сказанного можно сделать вывод, что применение технологий, разработанных компанией CYCORP в задачах календарного планирования горных работ является весьма актуальной и перспективной задачей.

Литература

1. Бабич А.Ю., Баранов В.С., Калинин В.М. Методические аспекты разработки и создания автоматизированной системы календарного планирования развития горных работ // Маркшейдерское обеспечение рационального использования и охраны недр: Сб.научн.тр. – Новочеркасск: НГТУ, 1997. – С. 5-9.
2. <http://www.cyc.com/overview>.
3. <http://www.cyc.com/applications>.
4. Doug Lenat. From 2001 to 2001: Common Sense and the Mind of HAL.

СОДЕРЖАНИЕ

Боровской В.П. Особенности моделирования осесимметричной турбулентной струи...	4
Боровской В.П. Моделирование газожидкостной турбулентной струи	7
Боровской В.П. Моделирование оси полуограниченной струи, формирующейся вблизи проницаемого экрана	11
Боровской В.П. Моделирование траектории газожидкостной турбулентной струи.....	13
Боровской В.П. К вопросу моделирования формы границ турбулентной струи	15
Промтов М.А., Монастырский М.В. Итерационный метод определения кинематических параметров потока жидкости в роторно-импульсном аппарате с учетом изменения перепада давления.....	17
Дашич П., Привалова О.В., Прокопенко В.А., Скубов Д.Ю. Способ оптимального по виброустойчивости выбора параметров корректирующих РС-звеньев гидростатических подшипников скольжения	19
Кудаев В.Ч. Моделирование, оптимизация и САПР закрытых оросительных сетей	21
Долматов Н.П., Михеев А.В. Математическая модель гидравлических потерь напора в дренапромывочном устройстве	26
Ушаков В.Г., Сыченко В.С. Математическая модель для регенеративного вращающегося теплообменного аппарата	29
Галканов А.Г. Об альтернативной методологии в математическом моделировании ...	32
Черненко М.Ю. Многомерное математическое моделирование как основа интерпретации геологических данных	33
Денисенко В.В., Сидоренко П.Ф., Мельковский Д.Я. Математическое моделирование геоакустического резонанса	37
Мотрюк Е.Н., Зубкова С.Е. Математическое моделирование вертикальной составляющей гравитационного потенциала, создаваемого нижним полупространством.....	41
Зубкова С.Е., Мотрюк Е.Н. Расчет влияния боковых зон при трехмерном моделировании вертикальной составляющей гравитационного поля над неоднородной средой ..	43
Мужикова А.В. Решение прямой структурной задачи магниторазведки для двухмерной модели среды	47
Горлов Ю.В. Математическая модель развала взорванной горной массы на карьерах ...	50
Ткачук Э.И. Вероятностные модели поведения проницаемости и напряжений скальных массивов.....	52
Яковлев С.Ю., Каспарьян Э.В., Вьялкова Н.Ю., Исакевич Н.В. Моделирование ослабленной зоны вокруг горизонтальных цилиндрических выработок.....	55
Зайцева И.В. Математические методы для экономического обоснования развития горных работ с учетом риска	56
Коваленко И.Л., Иванов И.Ю. Возможность применения технологий фирмы «CYCORP INC.» в задачах календарного планирования развития горных работ.....	57

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства
Материалы международной научно-практической конференции
Часть 8

Технический редактор: Чебанов И.Р.

ЛР № 020417 12.02.1997 г. Подписано в печать 08.05.2001 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.
Печ. л. 4. Тираж 100 экз. Заказ 01/12.

Учебно-производственный центр «Набла»
Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)
346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132