

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)**

**ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ
И ДИАГНОСТИКИ**

*Материалы
XI Международной научно-практической
конференции*

*30 сентября 2011 года,
г. Новочеркасск*

Новочеркасск
ЛИК
2012

УДК 681.518.54
ББК 30.82
Т 33

Организаторы конференции:

Министерство образования и науки РФ;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Ростовский государственный медицинский университет
Технический университет Ильменау (ФРГ).

Оргкомитет конференции:

Н.И. Горбатенко – председатель, профессор (РФ);
Ю.А. Бахвалов, профессор (РФ);
Г. Вурмус, профессор (ФРГ);
Г. Йегер, профессор (ФРГ);
Е. Калленбах, профессор (ФРГ);
М.В. Ланкин – зам. председателя, доцент (РФ);
М.А. Костюкова – техн. секретарь (РФ);
Н.Ф. Никитенко, профессор (РФ);
А.В. Павленко, профессор (РФ);
В.Н. Чернов, профессор (РФ)

Т 33 **Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики:** Материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 30 сентября. 2011 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЛИК, 2012. – 65 с.

ISBN 978-5-9947-0245-1

Сборник содержит материалы конференций: «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики», «Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и экономических процессах», на которых рассмотрены вопросы теории, методов и средств измерений и контроля параметров различных явлений и технических устройств, а также вопросы применения компьютерных технологий в промышленности.

УДК 681.518.54
ББК 30.82

ISBN 978-5-9947-0245-1

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2012
© Авторы, 2012

УДК 664.7:681.268

ВЫБОР ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НА ОСНОВЕ ЯВЛЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ

В.С. Афонин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Описывается метод измерения расхода сыпучего материала на основе явления поляризации. Приводится метод расчета для определения частотных параметров информационного сигнала с датчика расхода.

При уборке урожая зерновых культур для фермерского хозяйства важной информацией являются показатели урожайности сельхозугодий (урожайность с единицы площади). Современные спутниковые навигационные системы позволяют организовать информационную измерительную систему, позволяющую определять географические координаты уборочной техники. Навигационная система собирает данные о количестве собранного урожая и географическом местоположении комбайна, и передает их на сервер для дальнейшей обработки. Результатом работы такой системы будет цифровая карта урожайности сельхозугодий. Эта информация позволит землепользователю принимать меры по улучшению урожайности и производить анализ агрохимических показателей почвы – проследить зависимость урожайности сельхозугодий от агрохимических показателей почвы [1]. Для создания карты урожайности необходимо дополнить навигационную систему прибором для измерения расхода сыпучего материала. Этот прибор позволяет определить количество зерна, собранного с «текущего» участка посевной площади в режиме реального времени. Технические характеристики прибора измерения расхода тесно связаны с методом измерения. Использование бесконтактных расходомеров сыпучих материалов имеет некоторые преимущества перед контактными: не нарушается структура потока; нет необходимости замены датчиков при их изнашивании [2].

Предложен бесконтактный метод измерения расхода на основе явления поляризации диэлектрических веществ в электрическом поле заряженного конденсатора. Метод заключается в том, что частицы твердого вещества, проходя через электрическое поле заряженного конденсатора, вызывают изменение его электрической емкости. При постоянной разности потенциалов электродов конденсатора каждое изменение емкости вызывает процессы заряда/разряда [3]. Величина и время протекания этих токов зависит от геометрических размеров частицы твердого

вещества, его диэлектрической проницаемости и скорости движения через датчик. Если сыпучий материал имеет постоянный гранулометрический состав, тогда можно считать, что ток конденсатора, вызванный движением каждой частицы, будет протекать по одному закону и характеризоваться периодом и амплитудой. Причем скорость движения частицы будет определять скорость изменения тока, а в конечном итоге частоту сигнала. График токового сигнала при движении частиц вещества низкой концентрации представлен на рисунке 1,а.

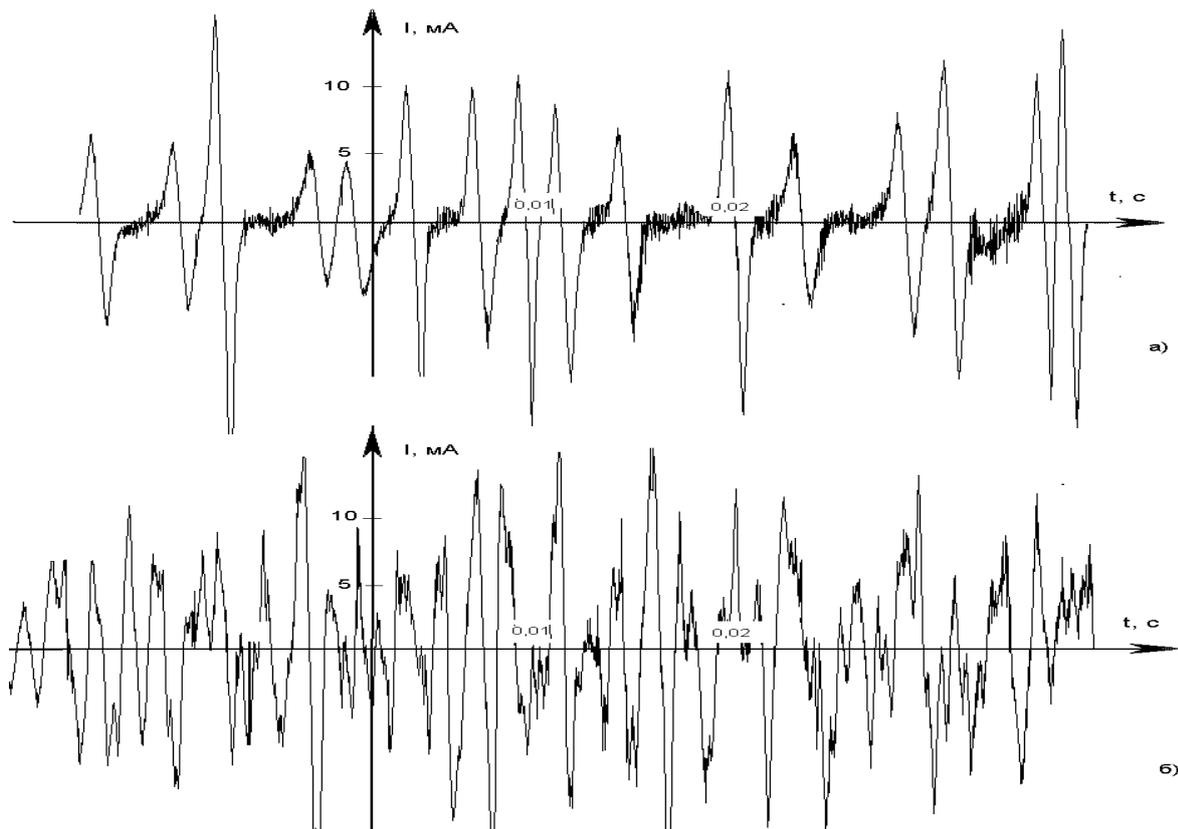


Рис. 1. Электрический ток измерительного конденсатора при движении через него сыпучего материала разной концентрации

Время между началом и концом токового импульса связано с скоростью движения частицы и соответствует моментам «входа» в измерительный конденсатор и «выхода» из него. При условии, что в любой момент времени в рабочей зоне измерительного конденсатора находятся большое количество частиц, его ток, образованный множеством токовых импульсов, будет иметь сложную форму (рисунок 1, б).

Такой сигнал содержит информацию о количестве перемещаемых частиц через датчик. Для дальнейшего анализа информационный сигнал

следует подвергнуть спектральному анализу. Результатом дискретного преобразования Фурье будет набор гармоник с частотами ω_k :

$$X(\omega_k) = \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n) e^{-i2\pi kn/N}$$

Частотные составляющие сигнала позволят вычислить количество частиц, прошедших через датчик за одну секунду. Суммируя количество вещества за каждую секунду можно определить расход за любую единицу времени. Для реализации Фурье преобразования требуется представить исходный сигнал в виде дискретных значений. Частота дискретизации выбирается исходя из соотношения $\Delta t = \frac{\pi}{\omega_{\max}} = \frac{1}{2f_{\max}}$.

Наивысшая частота может быть достигнута только при полном заполнении датчика и максимальной скорости движения вещества. При известных параметрах измерительного конденсатора и размере частицы можно определить наибольшее количество частиц в датчике. Для этого предположим, что все частицы имеют форму шара с радиусом $r_{\text{ч}}$, а измерительный конденсатор имеет форму цилиндра с радиусом R и высотой h . Предположим, что все частицы располагаются слоями, где каждый слой содержит n частиц, тогда согласно статье [4] максимальная плотность частиц достигается при отношении площади сечения датчика к сумме площадей, занимаемых частицами, равном $\frac{\pi}{2\sqrt{3}} \approx 0,73$. Тогда количество частиц в одном слое:

$$n = \frac{S_{\text{д}}}{S_{\text{ч}} 0,73} = \frac{R_{\text{д}}^2}{0,73 r_{\text{ч}}^2}$$

где $S_{\text{д}}$ – площадь сечения датчика, $S_{\text{ч}}$ – площадь проекции частицы на сечение датчика. Полученное выражение нужно умножить на количество слоев частиц, помещаемых в измерительном конденсаторе, и рассчитать максимальную частоту. Для расчета частоты определяется максимально возможная скорость движения вещества и соотносится с размером датчика h :

$$f_{\max} = n \mathcal{G} \frac{h}{2hr_{\text{ч}}} = \frac{n \mathcal{G}}{2r_{\text{ч}}} \quad (1)$$

Минимальная частота будет определяться протяженностью пути частицы в датчике h и скоростью ее движения

$$f_{\min} = \mathcal{G}/h \quad (2)$$

При известных соотношениях габаритов датчика и размеров частиц сыпучего вещества, используя формулы 1 и 2 можно определить частотный диапазон информационного сигнала. Предварительно отфильтровав неинформативные частоты можно добиться повышения точности представленного метода.

Литература

1. Литвинцев П.А., Афонин В.С. Система картографирования урожайности с помощью навигатора GPS // Ползуновский альманах №1 / АлтГТУ им. И.И. Ползунова. г. Барнаул ... 2011. – С. 100 -101.
2. Arakaki, C. Non intrusive mass flow measurements / C. Arakaki [et al.] // POSTEC Newsletter – 2006. – № 23. – pp. 15-16.
3. Афонин В.С. Метод измерения расхода сыпучего материала и его экспериментальная проверка / В.С. Афонин, О.И. Хомутов // Ползуновский вестник №3/1 – 2011 – С. 94 -97.
4. Sphere packing [Электронный ресурс]: http://en.wikipedia.org/wiki/Sphere_packing

656062, г. Барнаул, ул. Шукишина, 12. тел. +7 (385-2) 54-86-25
e-mail: afonin@mail.altstu.ru

УДК 681.123

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОСТА, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО УЧИТЫВАТЬ АКТИВНЫЕ ПОТЕРИ

А.В. Дуда, В.С. Афонин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Рассмотрено устройство программно аппаратного комплекса способного измерять влажность сыпучих материалов непосредственно в технологическом процессе не нарушая его. Предложена схема автоматического уравнивания моста с разделением активной и реактивной составляющих.

Сыпучие материалы, используемые в процессе производства должны подвергаться контролю качества перед обработкой. Качество конечного продукта, в большинстве случаев напрямую зависит от влажности используемых сыпучих материалов. Большинство современных влагомеров позволяют производить лишь выборочный контроль влажности вещества. В условиях современного производства более удобно производить контроль влажности непосредственно в технологическом процессе не нарушая его. При контроле влажности сыпучих материалов в потоке появляются дополнительные погрешности связанные с особенностями технологического процесса и свойствами контролируемого ве-

щества. Главным фактором, вносящим дополнительную погрешность являются активные потери. Большое количество работ посвящено устранению данной погрешности [1-2], однако совсем избавиться от ее влияния практически не возможно.

Целью работы является разработка программно-аппаратного комплекса измерения влажности сыпучих материалов, позволяющего учитывать активные потери.

В данной статье предложено устройство программно-аппаратного комплекса позволяющего организовать непрерывное измерение влажности сыпучих материалов в потоке с разделением информативного сигнала на активную и реактивную составляющие проводимости. Такой подход позволит измерить величину активных потерь и улучшить метрологические характеристики влагомера.

В основу прибора заложена схема моста, с индуктивно связанными плечами позволяющая производить раздельное измерение составляющих проводимостей (Рис. 1).

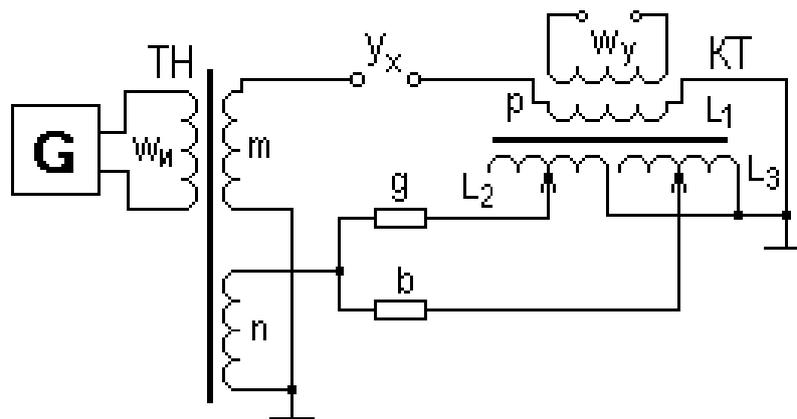


Рис. 1. Схема с разделением активной и реактивной составляющих

Вторичные обмотки измерительного трансформатора ТН m и n представляют собой измерительное и компенсационное плечи соответственно. Неизвестная проводимость Y_x подключается к измерительному плечу. В качестве образцовых, используются элементы с активной g и реактивной b проводимостями, подключаемые к компенсационному плечу. Компаратор тока КТ выполнен таким образом, что из магнитного потока L_1 вычитается сумма магнитных потоков обмоток L_2 и L_3 . Для уравнивания моста необходимо, с помощью ползунков обмоток L_2 и L_3 , выставить такие токи (активный и реактивный), чтобы вызванный ими магнитный поток компенсировал магнитный поток катушки L_1 . Для

фиксации равновесия компаратор тока КТ снабжен дополнительной обмоткой W_y . При помощи данной схемы достаточно трудно реализовать контроль влажности вещества в потоке. В связи с этим предлагается следующая схема:

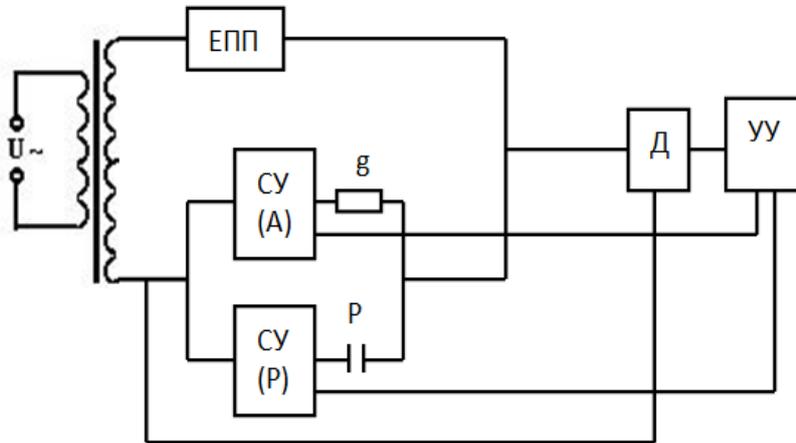


Рис. 2. Блок-схема автоматического измерительного моста

ЕПП – емкостный первичный преобразователь; *СУ(A), СУ(P)* – средства управления активным и реактивным токами эталонных элементов; *УУ* – устройство управления

Неизвестной проводимостью в данном случае является емкостный первичный преобразователь ЕПП. Компенсировать сигнал с измерительного плеча позволяют средства управления СУ, последовательно соединённые с эталонными элементами. СУ (А) позволяет уравновесить активную составляющую ЕПП, а СУ (Р) - реактивную. В качестве средства управления могут быть использованы цифровые элементы схемотехники позволяющие управлять напряжениями в цепях компенсационного плеча. Это могут быть как цифро-аналоговые преобразователи, так и цифровые потенциометры. Важным параметром при выборе СУ является разрядность. Стоит выбирать элементы с большим количеством разрядов, поскольку от количества «состояний» цифрового элемента напрямую будет зависеть точность. Важным параметром средства управления является быстродействие, так как от времени их переключения будет зависеть скорость измерения. Современная электронная техника обладает значительным быстродействием, что позволяет оставить этот параметр без особого внимания.

Разработка детектора позволяющего определять значение активной и реактивной составляющих тока после взаимодействия плеч, требует особого внимания, поскольку на основании этих данных устрой-

ство управления будет принимать решение об изменении той или иной составляющих компенсационного плеча.

Представим токи измерительного и компенсационного плеч в комплексно форме:

$$Z_u = A_u + jB_u,$$

$$Z_k = -(A_k + jB_k) = -A_k - jB_k$$

Результатом взаимодействия плеч будет величина комплексного числа Z_p

$$Z_p = A_p + jB_p$$

На комплексной плоскости Z_p выглядит следующим образом:

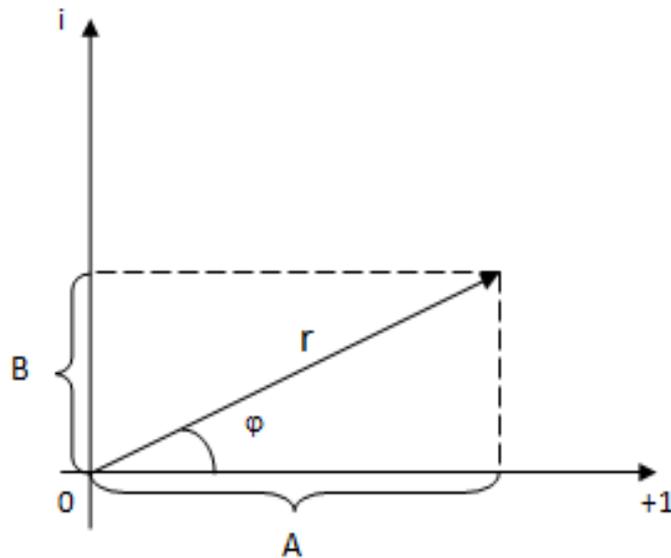


Рис. 3. Изображение Z_p на комплексной плоскости

Длина вектора r характеризует величину тока, угол φ определяет изменение фазы тока. Проекции вектора A и B представляют собой вещественную и мнимую части Z_p .

$$A = r \cos \varphi, B = r \sin \varphi$$

Мост считается уравновешенным в случае $Z_p \rightarrow 0$. Уравновешивание моста необходимо производить путем изменения действительной и мнимой части компенсационного плеча. Детектор позволяет определить модуль комплексного числа и сдвиг фазы. Полученные данные обрабатываются, и вычисляется действительная и мнимая части Z_p .

В качестве детектора Д можно использовать двухканальный быстродействующий аналого-цифровой преобразователь (более 5 МГц). Требования к быстродействию АЦП связаны с измерением фазы сигнала с частотой 100 кГц.

На основании данных полученных от детектора устройство управления УУ принимает решение, какую составляющую необходимо изменить. Уравновешивание производится последовательно, сначала действительной, а затем мнимой части комплексного числа, либо наоборот. Такой подход позволит упростить схему автоматического уравновешивания моста, поскольку параллельное уравновешивание требует дополнительных линий управления образцовыми элементами моста. В качестве УУ используется микроконтроллер ATmega32 фирмы Atmel. Это сравнительно недорогой микроконтроллер с высокими характеристиками производительности. Дополнительным преимуществом микроконтроллеров этой фирмы является удобное программное обеспечение, позволяющее разрабатывать программы на языках C и assembler.

Для автоматической работы мостовой схемы используется алгоритм программы представленный на рис. 4.

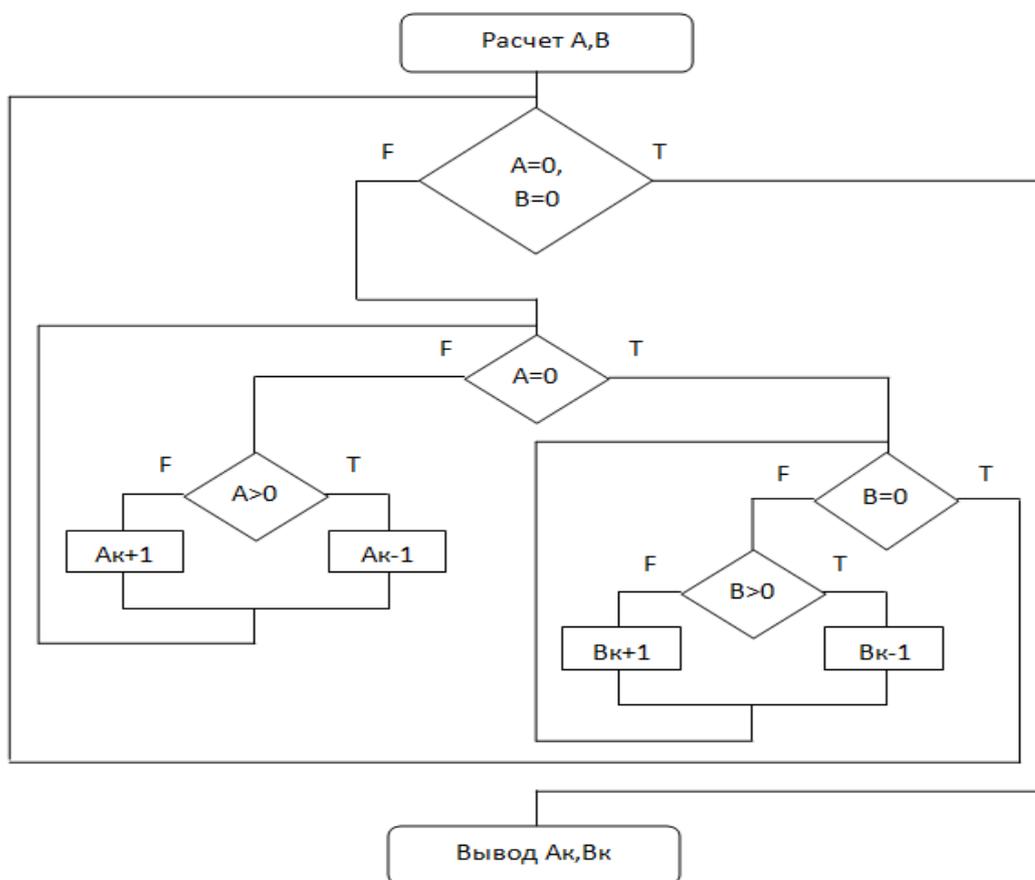


Рис. 4. Блок-схема программы автоматического измерительного моста

На ножку микроконтроллера приходят данные о вещественной и мнимой частях Z_p . Происходит проверка равенства составляющих нулю. В случае нулевых значений A и B мост считается уравновешенным. Если условие не выполнено происходит проверка равенства действительной, составляющей нулю. При несоблюдении условия запускается проверка знака составляющей. При положительном знаке из составляющей комплексного числа A компенсационного плеча вычитается 1, а при отрицательном прибавляется 1. Далее программа возвращается к проверке равенства A нулю. Если же составляющая A равна нулю, происходит уравновешивание второй составляющей аналогичным образом. Когда составляющая B будет уравновешена, программа возвращается к началу и снова проверяет равенство обеих составляющих нулю. Таким образом, по завершению цикла программы мост будет уравновешен, а результатом работы программы станет величина составляющих комплексного числа компенсационного плеча A_k и B_k

Применение данного подхода позволит значительно ускорить процесс уравновешивания измерительной мостовой схемы. Измерение составляющих можно производить без вмешательства человека в процесс уравновешивания.

Литература

1. Дубров Н., Невзалин Б., Каплий В. Влагомеры сыпучих материалов. В помощь радиолюбителю. Вып. 50. – М.: Изд-во ДОСААФ, 1975. – С. 50.
2. Трансформаторные измерительные мосты. / Под ред. К.Б. Карандеева. - М.: Энергия. – 1970. - 280 с.

656057 г.Барнаул, ул. 50 лет СССР, 22-196, т. +7 (3852) 42-16-38,
e-mail: altegro190@mail.ru

УДК 621.43.013.4, 53.082.534

ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТОПЛИВНЫХ СТРУЙ

А.В. Еськов, А.В. Маецкий

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Приводится краткая классификация методов оценки импульсного дисперсного потока частиц распыливаемого топлива. Систематизируются задачи и методы обработки изображений топливных струй с примерами обработки.

Важным элементом совокупности процессов, протекающих в дизеле, является процесс распыливания топлива распылителем форсунки. Качество распыливания определяют мелкоствью, однородностью распы-

ливания, равномерностью распределения капель топлива в объеме струи. Также важным элементом является объем струи, который зависит от угла раскрытия, длины струи и ширины переднего фронта струи, или, как говорят, геометрических характеристик струи [1].

Существующие методы оценки качества распыливания можно разделить на расчетные и расчетно-экспериментальные. Расчетные методы предполагают изучение на расчетных моделях выходных критериев качества распыливания (обозначенных выше) от входных характеристик, таких как: давление впрыска топлива, вязкость, поверхностное натяжение и плотность топлива, плотность газовой среды, в которую распыливается топливо, диаметр соплового отверстия, соотношение длины соплового канала к его диаметру и др. Расчетно-экспериментальные методы предполагают проведение экспериментов с последующей обработкой результатов измерений и проведением расчетов. Исследовать качество распыливания топлива дизельной форсункой на практике возможно по исследованию структуры топливной струи, а также по измерению геометрии проточной части корпуса распылителя, т.к. она оказывает значительное влияние на качество распыливания.

Существующие расчетно-экспериментальные методы диагностики структуры топливной струи можно разделить на две группы: прямые и косвенные. К первой группе методов относятся скоростное микрофильмирование (микрофотографирование); стробоскопирование; получение отпечатков капель на воспринимающей поверхности; метод, основанный на отвердевании распыленных капель жидкости в хладогенной газовой среде и другие. Во вторую группу включены методы: фотометрирование, голографический метод, оптические методы и другие. Наиболее перспективными методами являются оптические, использующие явления воздействия дисперсного потока на световое излучение, т.к. в этом случае принципиально отсутствует всякое механическое влияние на изучаемый процесс [2, с. 17-18].

Существующие методы контроля геометрии проточной части корпуса распылителя также подразделяются на косвенные и прямые. К косвенным методам контроля можно отнести способы испытаний форсунок и распылителей, описанные в ГОСТ 10579-88. К прямым методам относят разрушающие и неразрушающие методы прямого контроля геометрии проточной части корпуса распылителя. Разрушающий контроль предполагает разрезание распылителя, после чего проводятся необходимые измерения в его внутренней полости. Неразрушающий контроль геометрии проточной части корпуса распылителя основан на получении

резиновых слепков, позволяющих провести исследование внутренней полости корпуса распылителя. Для исследования слепков с помощью ЭВМ применяют технологии трехмерного сканирования (контактные и бесконтактные) и анализ фотоснимков слепка [3].

Таким образом, ставится задача определения геометрических параметров объекта по его фотоснимку (кадру) или серии фотоснимков (кадров). Таким объектом может быть как струя топлива (другой жидкости), или отдельные капли, так и слепок проточной части корпуса распылителя. Фотосъемку можно разделить на метрическую съемку и измерительную съемку (в том числе с использованием специальных мерных тест-объектов). Среди существующих направлений обработки графической информации на ЭВМ (машинная графика, обработка изображений и распознавание образов), в случае топливных струй нас будет интересовать обработка изображений. Рассмотрим основные задачи, которые могут ставиться в таких исследованиях и существующие методы их решения.

Прежде всего, изображение объекта необходимо сгладить (восстановить, улучшить, отреставрировать), т.е. подавить смаз и шумы (белый, небелый, импульсный, точечный), восстановить дефокусированное изображение. Для этого используется линейная, инверсная, медианная фильтрация, метод окна Кайзера, итерационные и другие методы, а также их комбинация [5–7]. Линейная фильтрация наиболее проста, но по качеству уступает другим методам. Инверсная фильтрация дает плохие результаты при наличии шума, поскольку этот метод не учитывает шумовых эффектов. Обычно не удается осуществить идеальную реставрацию наблюдаемого изображения, после которой выходное изображение совпадает с реальным. Цель реставрации – минимизировать некоторую меру ошибки исходного изображения.

Следующая задача – изменение контраста. Под контрастом обычно понимают разность максимального и минимального значений яркости. Слабый контраст – наиболее распространенный дефект фотографических, сканерных и других изображений, обусловленный ограниченностью диапазона воспроизводимых яркостей. Для этого применяют линейные и нелинейные методы контрастирования, метод монотонно возрастающей характеристики передачи уровней, методы аппроксимации перепадов яркости, метод яркостных срезов и другие [6, 7]. Линейные методы являются наиболее простыми, но наименее эффективными при слабых контрастах. Пример изменения контраста методом яркостного среза представлен на рисунке 1 [6, с. 6].



Рис. 1. Изменение контраста

Следующая задача – определение границ и выделение объекта по его изображению, а также заполнения контура. В этой задаче могут использоваться методы нерезкого маскирования, дискретная фильтрация с использованием высокочастотного импульсного отклика [8–9], метод статистического дифференцирования [10, с. 100], методы Робертса, Лапласа, Кирша и другие [7]. Для этой задачи в качестве предварительных фильтров при обнаружении границ могут применяться медианные фильтры [5]. На рисунке 2б изображено построение контура струи (алгоритм на Visual Basic).

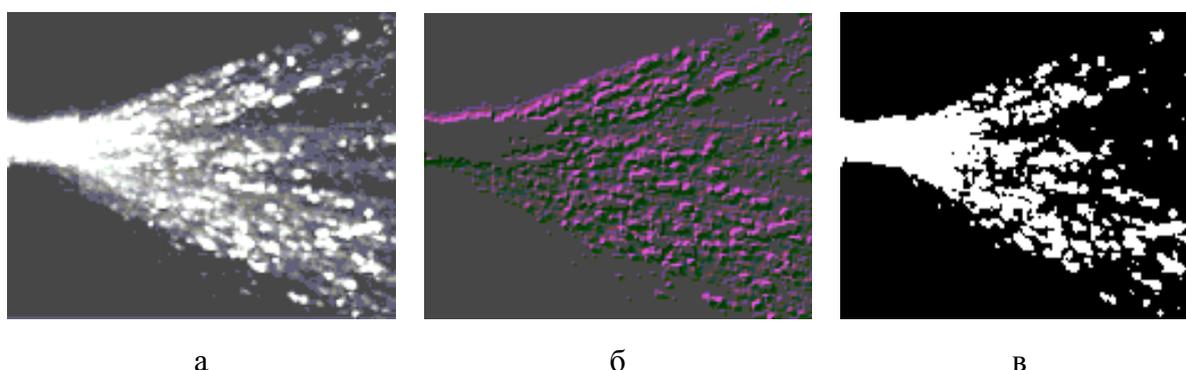


Рис. 2. Обработка струи

а – исходное изображение [4], б – контур струи, в – бинаризация струи

Ещё одной задачей, которая может ставиться при обработке изображений, является сегментация. Сегментация позволяет выделить однородные участки изображения, т.е. разбить изображение на области одинакового вида. Для решения этой задачи применяют метод разделения по порогу, метод обнаружения границ, сегментация на основе выделения областей путем наращивания и другие [11]. Наиболее простым является первый, который предусматривает сопоставление значения яркости каждого пикселя с пороговым, в результате чего соответствующий пиксел зачисляется в одну из двух групп. Простейший пример, реализо-

ванный в Delphi, представлен на рис. 2в (бинаризация по принципу «струя – фон»).

В заключение отметим, что любой метод обработки изображений обладает своими преимуществами и недостатками. Почти все методы основаны на использовании априорной информации об искажении, внесенном в изображение, которое может претерпевать непредсказуемые изменения во времени. Так, при записи динамики развития струи, от кадра к кадру изменяется средний уровень яркости изображения, что заставляет пересчитывать значение порога. Тем не менее, оптические методы регистрации струй дают вполне удовлетворительные результаты измерения геометрических характеристик струй по сравнению с другими известными методами; продолжают развиваться и находят все большее применение в науке.

Литература

1. Шароглазов, Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов: учебник / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – С. 143.
2. Орлов, В.Л. Основы физики дисперсных материалов: учебное пособие / В.Л. Орлов, Ю.Б. Кирста, А.В. Еськов, А.В. Орлов. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. – 98 с.
3. Маецкий, А.В. Обзор приборов и методов исследования качества распыливания топлива дизельной форсункой / А.В. Маецкий, А.А. Гребеньков // Молодой ученый. – 2011. – № 10. Т. 1. – С. 48-54.
4. Карачинов, В.А. Телевизионные методы диагностики форсунок / В.А. Карачинов, С.В. Ильин, С.Б. Торицин, Д.В. Карачинов // Вестн. новгородского гос. ун-та. – 2004. – № 26. – С. 155-160.
5. Хуанг, Т.С. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Т.С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г.Дж. Нуссбаумер и др. – М.: Радио и связь, 1984. – 221 с.
6. Прэтт, Э. Цифровая обработка изображений / Э. Прэтт. – М.: Мир, 1980. – 380 с.
7. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2001. – 784 с.
8. Prewitt, J.M.S. Object Enhancement and Extraction in: Picture Processing and Psychopictorics / J.M.S. Prewitt, B.S. Lipkin, A. Rosenfeld // Academic Press. – 1970. – № 3. – P. 75-150.
9. Arcese, A. Image Detection Through Bipolar Correlation / A. Arcese, P.H. Mengert, E.W. Trombini // IEEE Trans. Inf. Theory. – 1970. – № 5. – P. 534-541.
10. Розенфелд А. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин. – М.: Мир, 1972. – 285 с.
11. Павлидис, Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений / Т. Павлидис. – М.: Мир, 1975. – 396 с.

УДК 621.3:658.562;621.314.21

СНЯТИЕ ОСЦИЛЛОГРАММ ТОКОВ КОНТАКТНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ВНЕ ЗАВОДСКИХ УСЛОВИЙ

Т.Г. Иванова

Чебоксарский политехнический институт ГОУ ВПО «МГОУ»

Разработан новый способ снятия осциллограмм токов контактной системы переключающих устройств типа РНГА-У-35/200. Данный способ осциллографирования является актуальным, так как с помощью него можно диагностировать указанные устройства, находящиеся в эксплуатации без вскрытия их баков и слива диэлектрической жидкости.

Хорошо известно, что высоковольтные силовые трансформаторы являются наиболее важными и дорогими элементами энергетических сетей. Большинство этих преобразователей напряжения в течение многих лет работают при различных климатических условиях и подвергаются различным воздействиям электромагнитной и механической природы. Одной из серьёзных проблем в энергетике является проблема износа (старения) силовых трансформаторов (СТ). По оценкам различных экспертов доля оборудования, подлежащего замене, в настоящее время приблизилась к 80%. На рис. 1. приведено количество установленных СТ 35-500 кВ, работающих на объектах энергетики Чувашской Республики. Из диаграммы видно, что парк СТ, работающих в Чувашской энергосистеме значительно «постарел» и более трёх четверти из них исчерпал свой ресурс, т.е требует замены на новые трансформаторы.

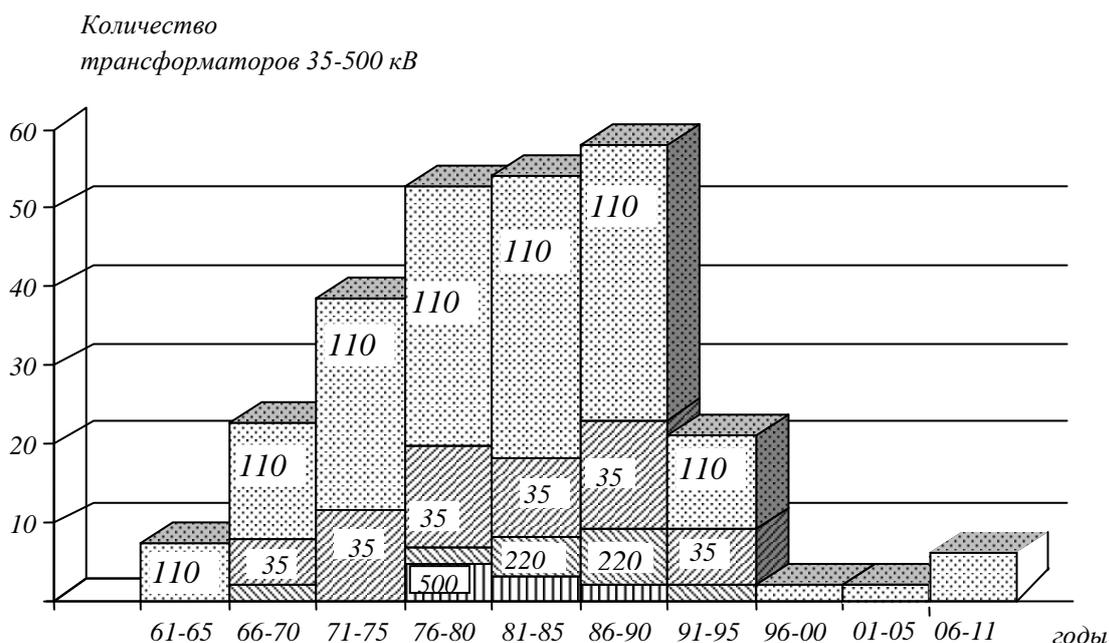


Рис. 1. Количество установленных трансформаторов в системе энергетики Чувашской Республики по годам

В условиях эксплуатации важно следить за состоянием устройства РПН. Диагностирование контактной системы РПН осуществляется путём осциллографирования токов по схеме приведенной на рис. 2.

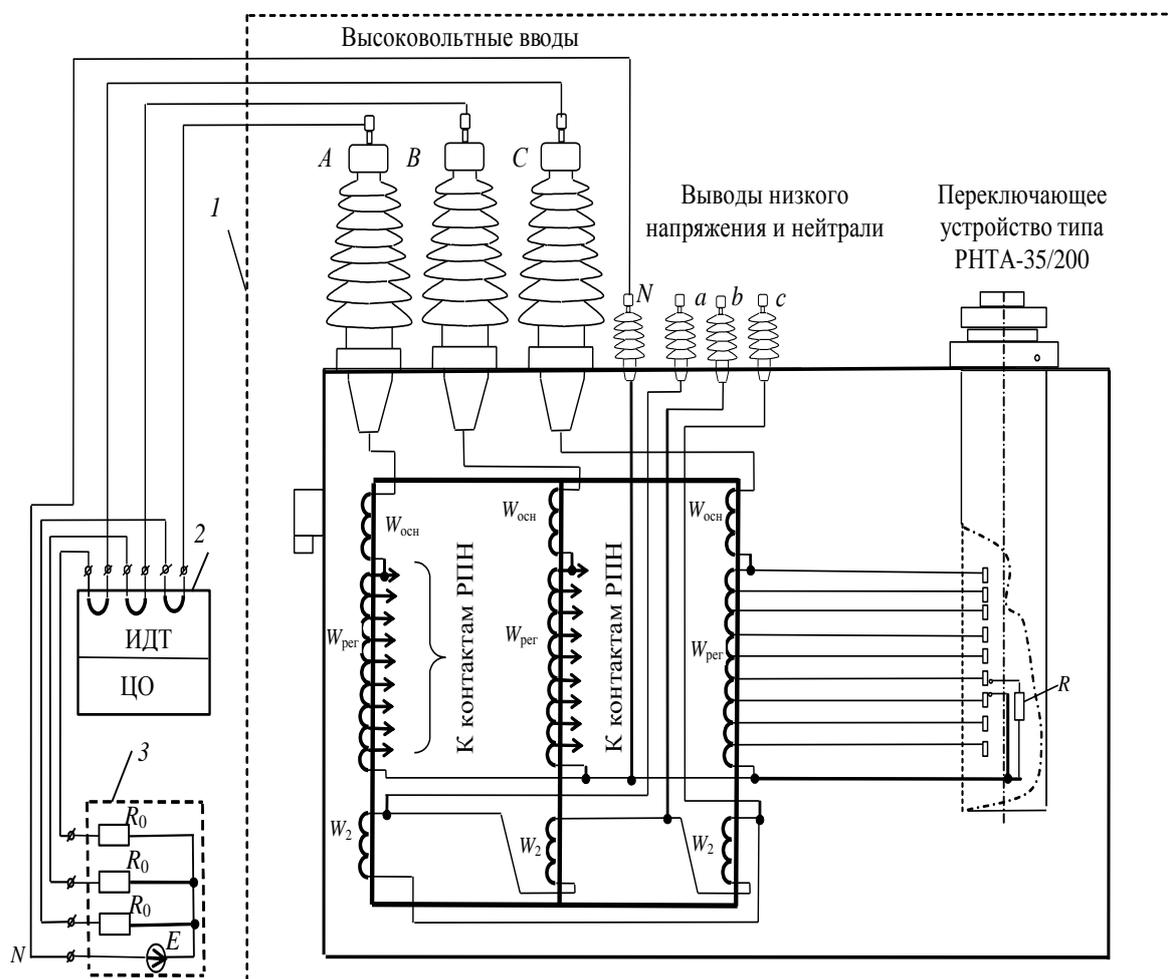


Рис. 2. Схема осциллографирования цепей контактов ПУ силового трансформатора с использованием многоканального цифрового осциллографа:
 1 – силовой трансформатор; 2 – цифровой осциллограф, где ИДТ – измерительные датчики тока; 3 – трёхканальный источник напряжения постоянного тока

В последние годы началась широкомасштабная реконструкция подстанций по замене СТ. Одним из предприятий, занимающийся их поставкой является ООО «Гольяттинский Трансформатор», который освоил выпуск нескольких модификаций переключающих устройств (ПУ) типа РНТА. Одной из этих модификаций является ПУ типа РНТА-35/200. В нём переключатели, контакты контактора и предызбиратель располагаются в ёмкости контактора, а в схеме контактной системы в каждой фазе работает только один дугогасительный контакт и его токоограничивающий резистор (R). Данное устройство не имеет соедине-

тельных валов и редукторов, так как контактор совмещён с устройством привода (рис. 2).

Особенностью этого устройства, в отличие от других, является то, что осциллографирование его контактной системы и снятие временных диаграмм на сегодняшний день возможны лишь в заводских условиях. По этой причине разработка способов и устройств осциллографирования его контактной системы и снятия временных диаграмм вне заводских условий является актуальной задачей не только для эксплуатационного персонала, но и для разработчиков переключающих устройств.

Нами разработан способ осциллографирования контактных систем подобных типов ПУ без их вскрытия и слива трансформаторного масла с помощью многоканального цифрового осциллографа (см. рис. 2) [1-3]. С помощью данного способа проверены работоспособность РПН на пяти новых трансформаторах, установленных на реконструируемых подстанциях, эксплуатирующихся на предприятиях филиала ОАО «МРСК-Волги» – «Чувашэнерго» (см. табл. 1)

Таблица 1

Осциллографированные переключающие устройства

№№	Название подстанции	Тип трансформатора	Заводской номер трансформатора/ переключающего устройства	Год установки
1	ПС 110/6 кВ «Южная»	ТРДН-40000/110/10/10	23591/56	2007
2	ПС 110/6 кВ «Стрелка»	ТРДН-25000/110/6/6	23883/104	2008
3			23882/103	2008
4	ПС 110/10 кВ «Новый город»	ТРДН-40000/110/10/10	23737/95	2008
5			23738/96	2008

На рис. 3 приведены реальные осциллограммы зависимости фазных токов i_A , i_B , i_C от времени t при осциллографировании контактной системы (без слива масла и без вскрытия бака) ПУ типа РНТА-У-35/200, установленного на трансформаторе типа ТРДН-40000/110.

Таким образом, можно осуществлять диагностирование контактной системы РПН типа РНТА-35/200 с помощью цифрового осциллографа без вскрытия бака РПН и слива трансформаторного масла в любое время года. Достоинствами предложенного способа являются: сокращение материальных затрат и времени диагностирования, исключение вероятности загрязнения диэлектрической жидкости и окружающей среды.

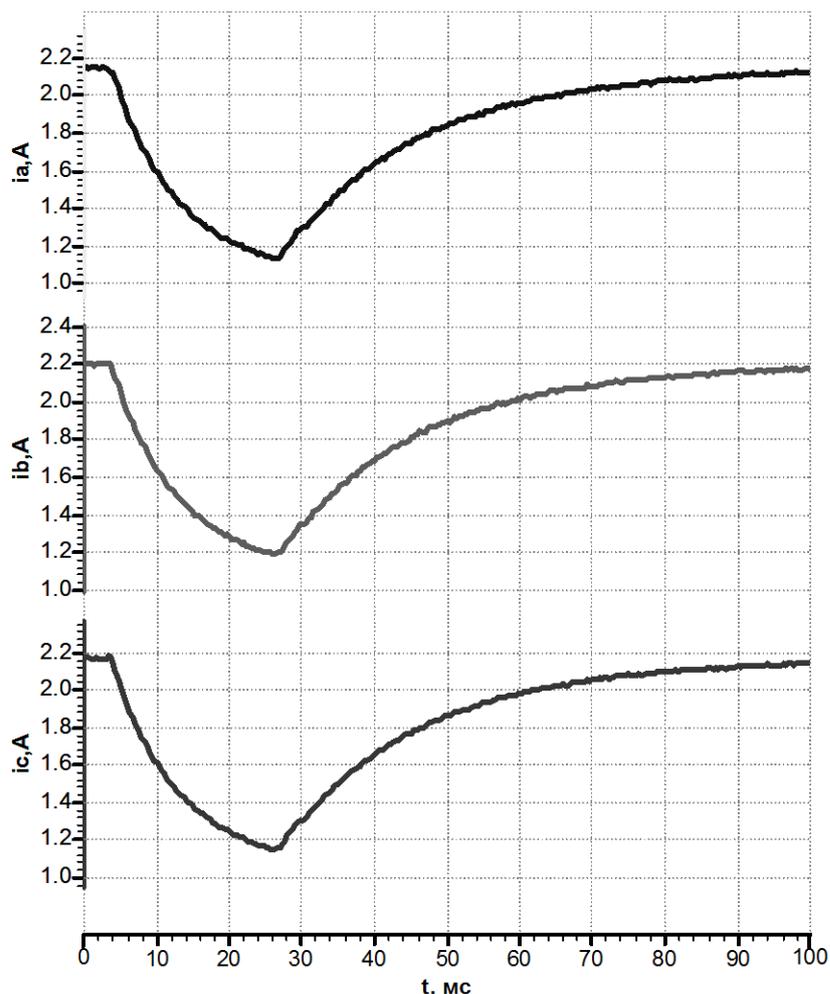


Рис. 3. Зависимости фазных токов i_A , i_B , i_C от времени t при осциллографировании контактной системы (без слива масла и без вскрытия бака) ПУ типа РНТА-У-35/200, силового трансформатора ТРДН-40000/110 (зав. № 23591), установленного на подстанции 110/6/6 кВ «Южная»

Литература

1. Пат. № 2342673 РФ, МПК G01R 31/333. Способ и устройство для снятия временной диаграммы избирателя и контактора быстродействующего РПН / Михеев Г.М., Шевцов В.М., Михеева Т.Г. заявитель и патентообладатель авторы, заявл. 02.10.06; опубл. 20.04.08. Бюл. №2. – 5 с.
2. Пат. № 2314545 РФ, МПК G01R 31/02, G01R 31/333. Способ диагностики цепей токоограничивающих сопротивлений, установленных на симметричных плечах контактора быстродействующих РПН силовых трансформаторов / Михеев Г.М., Михеева Т.Г. заявитель и патентообладатель авторы, заявл. 28.08.2006. опубл. 10.01.2008. Бюл. №1. – 6 с.
3. Михеев Г.М., Шевцов В.М., Иванова Т.Г. Интродиагностика переключающего устройства типа РНТА-35/200 трехфазного силового трансформатора // Промышленная энергетика. – 2009. – № 1. – С. 12-14.

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Б.Ю. Кувшинский, А.В. Салимова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Предлагается при диагностике металлорежущих станков использовать статистические оценки, опирающиеся на спектральные методы оценивания поведения этого оборудования. Данные методы позволяют получить вероятностную оценку воздействий на параметрическую надежность диагностируемого оборудования на различных временных интервалах.

По мере развития автоматизации производства за счет все большего применения гибридных станков и обрабатывающих центров возникает проблема дальнейшего совершенствования этого оборудования с целью повышения уровня качества их работы. Для этого совершенствования необходимо использовать данные о параметрической надежности этих станков в процессе их эксплуатации, что даст возможность для совершенствования станков.

Отказы функционирования, приводящие к остановке станка или недопустимым условиям его работы, могут быть выявлены в процессе эксплуатации при специально организованных наблюдениях и исследованиях. Для этого важно иметь методы и средства оценки технического состояния станка: определение степени его удаленности от предельного состояния, установление причин нарушения работоспособности.

Изменение станком точности обработки при эксплуатации происходит под действием различных процессов, носящих стохастический характер и обуславливающих причины потери точности. Для описания таких процессов уже неприменимы методы статистики случайных величин. Такую задачу можно решить с помощью методов, учитывающих динамику функционирования сложных систем и стохастический характер процессов, в них протекающих.

Предлагаемые методы включают.

1. Расчет аналитических и построение графоаналитических показателей величины и формы спонтанных и индуцированных микро- и макромасштабных флуктуаций. Здесь к спонтанным флуктуациям относятся флуктуации, вызванные процессами, присущими самому станку, а к индуцированным флуктуациям – флуктуации, вызванные окружением станка, начиная от свойств заготовки и заканчивая организацией производства.

2. Анализ изменения основного уровня состояния металлорежущего оборудования во время его эксплуатации.

3. Анализ макромасштабных флуктуаций состояния оборудования относительно основного уровня.

4. Анализ микромасштабных флуктуаций состояния металлорежущего оборудования относительно основного уровня.

Процессы, оказывающие влияние на точность функционирования оборудования по скорости их протекания делятся на три основные группы: быстро протекающие процессы, процессы средней скорости и медленно протекающие процессы. Можно рассматривать два периода работы станка: межналадочный период, характеризующийся быстро протекающими и процессами средней скорости, и межремонтный период, где основную роль играют медленно протекающие процессы.

На основании такого разделения, испытания металлорежущего оборудования на параметрическую надежность проводятся по этапам. На первом этапе оценивается состояние оборудования в первоначальный момент времени с расчетом предлагаемых показателей. На втором этапе устанавливается периодичность испытаний оборудования на параметрическую надежность на длительном временном интервале. Затем производится оценка изменения параметрической надежности оборудования в процессе его эксплуатации. Изучение функционирования оборудования начинается с анализа имеющейся информации о нем и формирования выборки. Существуют различные методы образования выборок в соответствии с задачами, которые необходимо решать.

Для прогнозирования технологической надежности оборудования и определения степени его удаленности от предельного состояния, необходимо знать закономерность изменения основного уровня состояния станка. С этой целью рассматриваются две динамики:

а) динамика изменения основного уровня состояния станка;

б) динамика изменения интенсивности флуктуаций состояния станка от основного уровня состояний;

Динамика изменения основного уровня состояний оборудования отражает основную тенденцию в поведении диагностируемого станка и описывается полиномиальными моделями, подбор которых производится по методу наименьших квадратов.

Динамика изменения интенсивности флуктуаций от основного уровня состояний описывается спектральными оценками [1]:

- спектральной плотности $C_{ii}(f)$ – оценивающей величину и изменение ее во времени рассеяния реализации параметра точности технологического оборудования. Наличие всплесков этой оценки говорит о при-

сутствии факторов, определяющих параметрическую надежность исследуемого оборудования;

- квадрата спектра множественной когерентности $K_{ij}^2(f)$ – определяет наличие, величину и изменение величины во времени вероятностного влияния взаимосвязанных процессов, параметрическую надежность оборудования;

- и другими спектральными оценками.

Для количественной и качественной оценки состояния оборудования используется ряд аналитических и графоаналитических показателей. В качестве графоаналитических показателей, дающих наглядную картину функционирования оборудования и отражающих качественные характеристики рассматриваемого объекта, используются диаграммы базовых оценок, перечисленных выше. Графоаналитическим показателем изменения основного уровня состояния станка является график функции подобранной полиномиальной модели.

Испытания технологического оборудования на параметрическую надежность в процессе его эксплуатации по предлагаемым методам позволяют оценить не только состояние оборудования в настоящий момент, но и проследить, как изменяется параметрическая надежность оборудования.

Литература

1. Дженкинс Г., Ватс Д. Спектральный анализ и его приложения. Выпуск 2. – М.: «Мир», 1972. – 288 с.

Кувшинский Б.Ю., 620137, г. Екатеринбург, ул. Менделеева, д. 18, кв. 53, т. 89826498115, 8 (343) 2709821, e-mail: bukuv@yandex.ru

Салимова А.В., 620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, д.50, кв. 50, т. 8 (343) 374-10-27, e-mail: salimova-a@mail.ru

УДК 629.7.017.2

СПОСОБ ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МАНЕВРИРУЮЩИМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ В АТМОСФЕРЕ

Н.Я. Половинчук

Ростовский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации

В.Н. Трофименко

Ростовский технологический институт сервиса и туризма

Предложен способ решения задачи терминального оптимального управления маневрирующим в атмосфере летательным аппаратом в условиях неопределен-

ности его управляющей функции, включающий синтез терминального оптимального управления на основе обобщенной модели движения и коррекцию реального движения летательного аппарата для приближения к модельному оптимальному.

Решение задачи терминального оптимального управления маневрирующим в атмосфере летательным аппаратом (ЛА) является наиболее эффективным при реализации принципа текущего итерационного программирования [2], который предполагает формирование в процессе движения ЛА оптимального управления на основе информации о модели объекта, о его текущем состоянии, о заданных терминальных условиях и минимизируемом функционале. Однако такое управляемое движение ЛА характеризуется широкой областью состояний и управлений и модель объекта не может быть сформирована точно. В основном это связано с трудностями формализации влияния управления на его динамику, в условиях изменения аэродинамических характеристик ЛА. В этом случае неадекватность реальному движению принятой для синтеза управления упрощенной модели приводит к движению ЛА по неоптимальной траектории.

В связи с этим представляет интерес разработка способов и алгоритмов терминального управления при решении задачи оптимизации на основе близких к реальному движению ЛА обобщенных моделей.

1. Постановка задачи. Рассмотрим движение аэродинамически управляемого ЛА в атмосфере, описываемое в скоростной системе координат дифференциальными уравнениями [1]

$$\begin{aligned}\dot{V} &= -c_x S_m \frac{\rho(h) V^2}{2m} - g(h) \sin \theta, \\ \dot{\theta} &= c_y(\alpha) \cos \gamma_c S_m \frac{\rho(h) V^2}{2m} + \left(\frac{V}{R_o + h} - \frac{g(h)}{V} \right) \cos \theta, \\ \dot{\psi} &= c_y(\alpha) \sin \gamma_c S_m \frac{\rho(h) V}{2m \cos \theta} - \frac{V}{R_o + h} \cos \theta \cos \psi \tan \chi_b, \\ \dot{\chi}_p &= \frac{V}{R_o + h} \cos \theta \cos \psi, \quad \dot{\chi}_b = \frac{V}{R_o + h} \cos \theta \sin \psi, \quad \dot{h} = V \sin \theta,\end{aligned}\tag{1}$$

где $V, \theta, \psi, \chi_b, \chi_p, h$ – траекторные переменные; S_m – характерная площадь ЛА; $\rho(h)$ – плотность атмосферы; m – масса ЛА; $g(h)$ – ускорение силы земного притяжения; R_o – радиус Земли; $c_x, c_y(\alpha)$ – аэродинамические коэффициенты; α, γ_c – угол атаки и угол крена, под которыми понимаются управляющие воздействия (управление).

Заметим, что при значительных углах атаки существенную неопределенность имеет аэродинамический коэффициент $c_y(\alpha)$. В связи с этим представим его как неизвестную функцию и сформируем обобщенное управление (управляющую функцию) в виде

$$u(\alpha, \gamma_c) = \begin{vmatrix} 0 & u_1(\alpha, \gamma_c) & u_2(\alpha, \gamma_c) \end{vmatrix}^T, \quad (2)$$

где $u_1(\alpha, \gamma_c) = c_y(\alpha) \cos \gamma_c$; $u_2(\alpha, \gamma_c) = c_y(\alpha) \sin \gamma_c$; T – знак транспонирования. Функция $c_y(\alpha)$ и угол крена γ_c определяются зависимостями

$$c_y(\alpha) = \text{sign}(u_1) \sqrt{u_1^2 + u_2^2}, \quad \gamma_c = \arctan \frac{u_2}{u_1}.$$

Представим систему уравнений (1) в общем виде

$$\dot{x} = f(x, t) + \varphi(x, t) u(v), \quad (3)$$

где $x = \begin{vmatrix} V & \theta & \psi & \chi_b & \chi_p & h \end{vmatrix}^T$ – вектор состояния ЛА; u – обобщенное управление; $v = \begin{vmatrix} \alpha & \gamma_c \end{vmatrix}^T$ – вектор управления; f – известная нелинейная непрерывная, дифференцируемая по x векторная функция размера b ; φ – известная нелинейная непрерывная, дифференцируемая по x матричная функция размера $b \times 3$.

Сформулируем задачу синтеза терминального оптимального управления ЛА (динамическим объектом).

Полагая, что модель движения объекта известна с точностью до управляющей функции, представим ее в виде

$$\dot{x}_m = f(x_m, t) + \varphi(x_m, t) u_m(t), \quad (4)$$

где x_m – модельный вектор состояния, а $u_m(t)$ – модельное обобщенное управление.

Решаемой задаче соответствуют терминальное условие и минимизируемый функционал, соответственно, в форме

$$S(x_m, t_k) = 0, \quad (5)$$

$$J = \int_{t_0}^{t_k} F(x_m, u_m, t) dt, \quad (6)$$

где (5) – гиперповерхность в пространстве состояний; $S(x_m, t_k)$ – непрерывная, дифференцируемая по x_m векторная функция размера b ;

$F(x_m, u_m, t)$ – в общем случае нелинейная дважды дифференцируемая по x_m и u_m функция; t_0, t_k – моменты времени, соответственно, начала и окончания управления.

Условия (5) и (6) более удобно представить в форме обобщенного функционала

$$J_o = Q(x_m, t_k) + \int_{t_0}^{t_k} F(x_m, u_m, t) dt, \quad (7)$$

где $Q(x_m, t_k)$ – квадратичная форма невязки по терминальному условию.

Задачу оптимального управления динамическим объектом (3) целесообразно представить как двухэтапную, причем на первом этапе – поиск оптимального обобщенного управления $u_m^o(t)$, удовлетворяющего на решениях (4) условию минимума функционала (7), а на втором этапе – формирование управления $v(t)$ с целью приближения (подстройки) реального процесса (3) к модельному (4).

Задача первого этапа может быть решена одним из известных методов синтеза, например, [2,3,4,5], позволяющим найти оптимальное управление

$$u_m^o(t) : S(x_m, t_k) \leq E_S, J \rightarrow \inf, (3), x_m(t_0) = x_{m0}, t \in [t_0, t_k], u_m \in U,$$

где E_S – допустимая погрешность выполнения терминального условия; U – заданная ограниченная область в пространстве управляющей функции.

2. Способ коррекции обобщенного управления. Рассмотрим задачу второго этапа в общей постановке. Предположим, что параметры движения (состояние) динамического объекта (3) точно измеряемы или вычисляемы. Тогда на основании модели (4) может быть вычислено текущее значение обобщенного управления

$$u(t) = \varphi^{-1}(x, t) [\dot{x}(t) - f(x, t)], \quad (8)$$

и, соответственно, отклонение от него модельного оптимального, т.е.

$$\Delta u(t) = u_m^o(t) - u(t). \quad (9)$$

Определим связь между приращениями Δu и Δv с помощью аппроксимирующего оператора u_v , т.е. $\Delta u \approx u_v \Delta v$ или

$$\Delta \tilde{v} = u_v^{-1} \Delta u, \quad (10)$$

где $\Delta \tilde{v}$ – приближенное значение приращения управления.

В этом случае требуемое приращение управления для начального момента времени t_0 определится выражением (10), а сформированное на его основе в процессе движения объекта суммарное (интегральное) управление выражением

$$\tilde{v}(t_n) = \sum_{j=0}^{j=n} u_v^{-1} \Delta u(t_j), \quad (11)$$

где j – номер шага решения задачи подстройки управления.

В том случае, когда в момент времени t_0 система двигалась с управлением $v(t_0) = v_0$, общее управление примет вид

$$\tilde{v}_s(t_n) = v_0 + \sum_{j=0}^{j=n} u_v^{-1} \Delta u(t_j). \quad (12)$$

Реализация управления (12) приведет к ликвидации рассогласования между модельным оптимальным и измеряемым обобщенными управлениями и, как следствие, к ликвидации рассогласования между процессами (3) и (4), т.е. приведет к движению системы по оптимальной траектории.

3. Методика решения задачи второго этапа управления ЛА.

По результатам решения модельной задачи первого этапа находится оптимальное значение угла крена

$$\gamma_{cm}^o = \arctan \frac{u_{2m}^o}{u_{1m}^o}, \quad (13)$$

при реализации которого в процессе движения ЛА обобщенное управление u будет отличаться от оптимального модельного u_m^o на величину Δu , определяемую отклонением функции $c_y(\alpha)$ от оптимальной модельной c_{ym}^o , которая, в свою очередь, определена зависимостью

$$c_{ym}^o = \text{sign}(u_{1m}^o) \sqrt{(u_{1m}^o)^2 + (u_{2m}^o)^2}.$$

Предположим, что функция $c_y(\alpha)$ приближенно определена в окрестности малых значений угла атаки, т.е. $c_y(\alpha) \approx c_y^\alpha \alpha$, где c_y^α – известный коэффициент аэродинамической подъемной силы. Тогда компоненты обобщенного управления (2) могут быть представлены в виде

$$u_1(\alpha, \gamma_c) \approx c_y^\alpha \alpha \cos \gamma_c, \quad u_2(\alpha, \gamma_c) \approx c_y^\alpha \alpha \sin \gamma_c. \quad (14)$$

В этом случае связь между приращениями Δu_1 и $\Delta \alpha$ определится с помощью аппроксимирующего оператора $u_\alpha = c_y^\alpha \cos \gamma_{cm}^o$, т.е. $\Delta u_1 \approx u_\alpha \Delta \alpha$ или

$$\Delta \tilde{\alpha} = u_\alpha^{-1} \Delta u_1, \quad (15)$$

где $\Delta \tilde{\alpha}$ – приближенное значение приращения угла атаки.

Таким образом, при наличии рассогласования

$$\Delta u_1(t_0) = u_{1m}^o(t_0) - u_1(t_0)$$

требуемое приращение управления определится выражением (15), а сформированное на его основе суммарное (интегральное) управление выражением

$$\tilde{\alpha}_s(t_n) = \alpha_0 + \sum_{j=0}^{j=n} u_v^{-1} \Delta u(t_j), \quad (16)$$

где $\alpha_0 = \alpha(t_0)$ – начальное управление.

Проведем оценку эффективности предложенного способа управления ЛА в атмосфере на примере.

4. Пример. Моделировалось управляемое продольное движение спускаемого крылатого ЛА с высоким аэродинамическим качеством при начальных условиях

$$V(t_0) = 3200 \text{ м/с}; \quad h(t_0) = 28000 \text{ м}; \quad \theta(t_0) = 0,45 \text{ рад}; \quad \chi_p(t_0) = 0.$$

Реальная управляющая функция определяется зависимостью

$$c_y(\alpha) = c_0 \alpha + c_1 \text{sign}(\alpha) \alpha^2,$$

а значение аппроксимирующего оператора u_α выбрано равным c_0 .

Для оценки эффективности способа процедура синтеза оптимального обобщенного управления существенного интереса не представляла, поэтому оно выбрано в виде $u_m^o(t) = 0,5 e^{-0,02t}$.

Решение задачи управления ЛА с шагом интегрирования $0,05 \text{ с}$ проведено для различных интервалов Δt_p пересчета программы управления с регистрацией рассогласований между оптимальным модельным и корректируемыми движениями ЛА по сферической дальности Δl и высоте полета Δh на конец интервала пересчета. На первом интервале пе-

рассчета ($\alpha_0 = 0$) при значениях $\Delta t_p = 1c$ и $\Delta t_p = 5c$ получены следующие рассогласования дальности и высоты полета:

$$\Delta l = 3,42 \text{ м}, \Delta h = 2,48 \text{ м}; \Delta l = 9,29 \text{ м}, \Delta h = 6,62 \text{ м}.$$

На втором интервале пересчета начальное управление α_0 отличалось от полученного на первом интервале на величину 0.1. Это соответствует предельно возможной ошибке коррекции движения ЛА на первом интервале, обусловленной переходным процессом. На втором интервале пересчета для значения $\Delta t_p = 1c$ и $\Delta t_p = 5c$ получены следующие рассогласования:

$$\Delta l = 1,29 \text{ м}, \Delta h = 0,57 \text{ м}; \Delta l = 1,71 \text{ м}, \Delta h = 0,96 \text{ м}.$$

Переходные процессы в ходе коррекции движения ЛА имеют апериодический характер и их длительности не превышают значения 0,2 с. Динамика снятия невязок по высоте Δh и дальности Δl , вызванных отклонением начальных условий до момента начала управления, показана на рис. 1

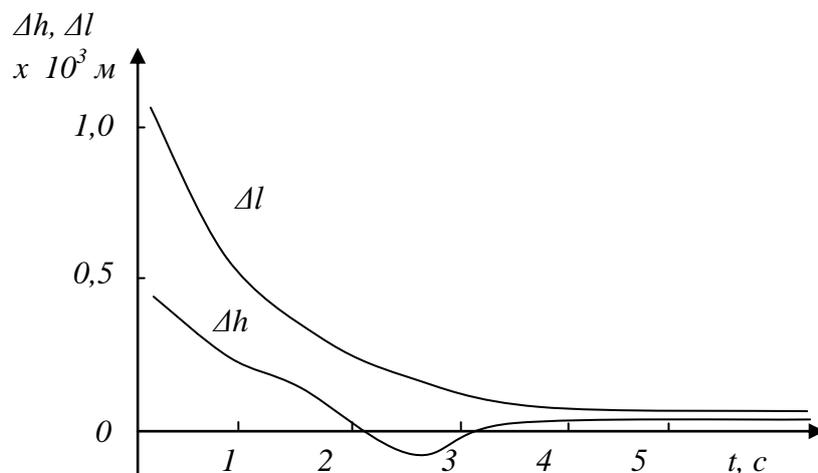


Рис. 1. Процесс снятия невязок по дальности и высоте для $\Delta t_p = 5c$

Полученные результаты показывают, что использование предложенного способа в рамках принципа текущего итерационного программирования (терминального управления) [2, 3] позволяет эффективно решать задачу оптимального управления ЛА в условиях существенной неопределенности его управляющей функции. При этом реализация способа подстройки обобщенного управления в виде бортового алгоритма позволяет увеличивать интервалы пересчета программы управления без существенного ухудшения точности решения задачи управления ЛА, что

в свою очередь снижает требования к вычислительным характеристикам бортовых ЭВМ при разработке терминальных систем управления ЛА.

Литература

1. Андреевский В. В. Динамика спуска космических аппаратов на Землю. – М., 1970. – 232 с.
2. Бородовский В.Н., Лавров В.Н. Терминальное управление на атмосферном участке выведения // Сборник РК-техника, 1973. – Сер.5, Вып.7(9).
3. Петров Б.Н., Лопатин В.И., Митрошин Э. И. и др. Стохастическое терминальное управление космическим транспортным кораблем. – Труды VII симпозиума ИФАК по автоматическому управлению в пространстве, 1976. – С. 69-76 .
4. Сейдж Э. П., Уайт Ч. С. Оптимальное управление системами. – М.: Радио и связь, 1982. – 392 с.

344069, г. Ростов-на-Дону, ул. Тимошенко 18, кв. 56, т. 88632781412.

УДК 681.518.54

УСТРОЙСТВО ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО ОСТАТОЧНОМУ РЕСУРСУ

Н.В. Руденко, В.В. Лозовский

Ростовский технологический институт сервиса и туризма (филиал) ЮРГУЭС,
Независимая энергосбытовая компания «Электросети» (г. Краснодар)

Предлагаемое устройство позволит перейти к техническому обслуживанию силовых трансформаторов по фактическому техническому состоянию не допускать аварийных ситуаций и предотвращать расходы, связанные с внезапными отказами силовых трансформаторов при их интенсивной эксплуатации за счет учета текущего ресурса и своевременного технического обслуживания.

В настоящее время новая методология создания перспективных радиотехнических комплексов (РТК) поднимает на новый уровень требования к автоматизации процессов технической диагностики и мониторинга основных элементов РТК. В том числе и элементов систем электроснабжения (СЭС), входящих в состав комплексов.

Авторами разработано и запатентовано устройство оценки технического состояния силового трансформатора [1]. Данное устройство позволяет осуществлять автоматизированный мониторинг технического состояния силовых трансформаторов. Принцип работы устройства, структурная схема которого представлена на рисунке 1, основывается на зависимости фактического сработанного ресурса [2] силового трансформатора от величины потребляемого тока и температуры окружающей среды [3,4], которая может быть записана в виде:

$$\begin{cases} R = R_H + \sum_{i=1}^n R_i \exp\left(B\left(\frac{1}{\mathcal{G}_{\text{ННТ}_{\text{НОМ}}}} - \frac{1}{\mathcal{G}_{\text{ННТ}_i}}\right)\right); \\ \mathcal{G}_{\text{ННТ}_i} = f(I_i, \mathcal{G}_{oc_i}); \end{cases} \quad (1)$$

где R_i – начальное значение фактического сработанного ресурса; R_i – частичный интервальный ресурс [2,3,4]; $\mathcal{G}_{\text{ННТ}_i}, I_i, \mathcal{G}_{oc_i}$ – фактические значения соответственно температуры наиболее нагретой точки (ННТ) обмотки, величины токопотребления и температуры окружающей среды на i -м интервале наработки; $i = 1..n$ – количество интервалов наработки, на которых значение тока, потребляемого трансформатором, температура окружающего воздуха, характеризуется фиксированными значениями I_i, \mathcal{G}_{oc_i} соответственно (интервал, где $I_i = const, \mathcal{G}_{oc_i} = const$).

Принцип работы данного устройства следующий. Датчик нагрузки (ДН) непрерывно осуществляет измерение нагрузки силового трансформатора (ОК). Преобразованный в аналого-цифровом преобразователе 1 (АЦП 1) сигнал с датчика нагрузки (ДН), соответствующий I_i , поступает на датчик времени (ДВ), тем самым, приводя его в действие. Начинается отсчёт времени. Помимо этого, сигнал с АЦП 1 поступает в ПЗУ 1. Происходит перезаписывание ПЗУ 1, со второго выхода которого, сигнал, соответствующий значению нагрузки предшествующего измерительного этапа, то есть I_{i-1} , поступает на второй вход вычислительного устройства 1 (ВУ 1). С первого выхода ПЗУ 1 сигнал, соответствующий I_i , поступает в устройство сравнения (УС 1), а с него на первый вход вычислительного устройства 1 (ВУ 1).

Датчик температуры окружающей среды (ДТОС) непрерывно осуществляет измерение температуры. Преобразованный в аналого-цифровом преобразователе 2 (АЦП 2) сигнал с ДТОС, соответствующий \mathcal{G}_{oc_i} , поступает в ПЗУ 2. Происходит перезаписывание ПЗУ 2. С выхода ПЗУ 2 сигнал, соответствующий \mathcal{G}_{oc_i} , поступает в устройство сравнения (УС 2), а с него на четвёртый вход вычислительного устройства 1 (ВУ 1).

Однако вычислительное устройство 1 (ВУ 1) не производит вычисления. Для того чтобы был произведён расчёт согласно математической модели (1), необходимо, чтобы на третий вход вычислительного устройства 1 (ВУ 1) поступил сигнал с выхода датчика времени (ДВ). Это возможно: если $I_i \neq I_{i-1}$, что определяется с помощью УС 1 или $\mathcal{G}_{oc_i} \neq \mathcal{G}_{oc_{i-1}}$, что определяется с помощью УС 2.

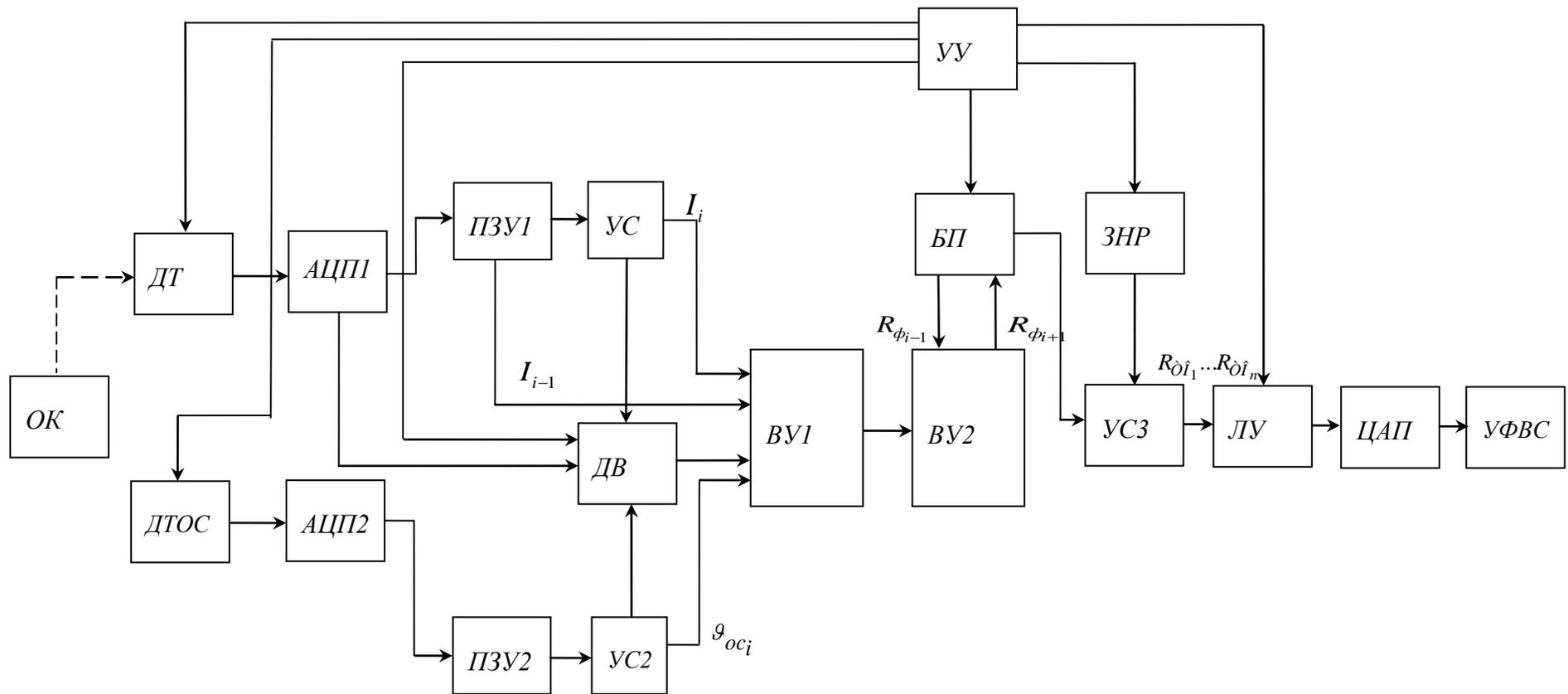


Рис. 1. Структурная схема устройства

В этих случаях сигнал с УС 1 или УС 2 поступает на соответствующий вход датчика времени (ДВ) и открывает его. Сигнал, соответствующий $t = R_i$, поступает на третий вход вычислительного устройства 1 (ВУ 1). Происходит расчёт фактического сработанного ресурса трансформатора согласно математической модели (1) и сигнал с выхода вычислительного устройства 1 (ВУ 1) поступает на первый вход вычислительного устройства 2 (ВУ 2).

Одновременно с этим в вычислительное устройство 2 (ВУ 2) с блока памяти БП поступает значение сработанного фактического ресурса трансформатора, рассчитанное на предшествующем измерительном этапе $R_{\phi_{i-1}}$. При этом память обнуляется, а суммированное значение фактического сработанного ресурса трансформатора $R_{\phi_{i+1}} = R_{\phi_i} + R_{\phi_{i-1}}$ записывается в блок памяти БП. С блока памяти БП значение $R_{\phi_{i+1}}$ поступает в устройство сравнения 3 УС 3, где сравнивается со значениями сработанных ресурсов, соответствующих наработке до проведения технических обслуживаний и ремонта при эксплуатации трансформатора в нормативных условиях $R_{TO_1}, R_{TO_2} \dots R_{TO_n}$. Если $R_{\phi_{i+1}} \geq k \cdot R_{TO_1}, R_{\phi_{i+1}} \geq k \cdot R_{TO_2} \dots R_{\phi_{i+1}} \geq k \cdot R_{TO_n}$, где $k < 1$ – коэффициент, учитывающий время на принятие решения и его реализацию), то сигнал с устройства сравнения 3 УС 3 через логическое устройство ЛУ и цифро-аналоговый преобразователь ЦАП поступает на устройство формирования выходного сигнала УФС, которое выдаёт сигнал о необходимости проведения соответствующего обслуживания трансформатора. Если $R_{\phi_{i+1}} < k \cdot R_{TO_1}, R_{\phi_{i+1}} < k \cdot R_{TO_2} \dots R_{\phi_{i+1}} < k \cdot R_{TO_n}$, то сигнал не поступает.

В том случае, если трансформатор работает без изменения нагрузки длительное время или температура окружающей среды не меняется, устройство управления (УУ), через установленные обслуживающим персоналом промежутки времени подаёт сигнал на второй вход датчика времени (ДВ), открывая его и обеспечивая тем самым вычисление фактического сработанного ресурса по алгоритму, рассмотренному выше. Тем самым обеспечивается непрерывный расчёт фактического сработанного ресурса трансформатора.

Таким образом, разработанное устройство позволяет осуществлять автоматизированную оценку технического состояния силового трансформатора путём непрерывного расчёта фактического сработанного ресурса. Это позволит не допускать аварийных ситуаций и предотвращать расходы, связанные с внезапными отказами силовых транс-

форматоров при их интенсивной эксплуатации за счет учета текущего ресурса и своевременного технического обслуживания.

В случае неинтенсивной эксплуатации, данное устройство позволит определять остаточный ресурс силовых трансформаторов, продлевать сроки их эксплуатации, и проводить регламентные работы тогда, когда это действительно необходимо. Это даст возможность сократить эксплуатационные расходы при эксплуатации силовых трансформаторов СЭС РТК и других промышленных предприятий.

Литература

1. Лозовский В.В. Устройство оценки технического состояния силового трансформатора / Лозовский В.В., Лозовский А.В., Руденко Н.В., Просянных Г.Б., Рашитов А.Р. // Патент РФ № 2404472; Заявка № 2009149809/07, 31.12.2009; Опубликовано: 20.11.2010 Бюл.№32; Приоритет 31.12.2009.
2. Назарычев А.Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. Централизованное и автономное электроснабжение объектов, цехов, промыслов, предприятий и промышленных комплексов / А.Н. Назарычев, Д.А. Андреев, А.И. Таджибаев; под редакцией Назарычева А.Н. М.: «Инфра-Инженерия», 2006. – 928 с.
3. Лозовский В.В. Математическая модель срабатывания технического ресурса силового трансформатора в результате воздействия теплового фактора с учётом переходного теплового процесса / В.В. Лозовский // Известия ВУЗов. Электромеханика – 2010. – № 3. – С. 29–32.
4. Лозовский В.В. Математическая модель технического ресурса силового трансформатора, учитывающая интенсивность и условия эксплуатации / В.В. Лозовский, А.В. Лозовский, В.Н. Соловьёв, Н.В. Руденко // Вестник РГУПС – 2010. – № 4. – С. 102–110.

УДК 621.43-44.001.5

НЕПРЕРЫВНАЯ ДИАГНОСТИКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА ФОРМЫ ПОТРЕБЛЯЕМОГО ТОКА

А.Г. Сукиязов

Ростовский технологический институт сервиса и туризма

Приводятся материалы исследования возможности непрерывного диагностирования асинхронного двигателя по форме потребляемого тока, регистрируемого бесконтактно в месте подключения двигателя к силовому щитку. Значимость такой диагностики возрастает, когда доступ к непосредственно двигателю и наблюдение за его работой затруднены (например, работа двигателя в скважине).

В системах, использующих асинхронный электропривод, очень важным является непрерывная диагностика работы двигателя: наличие вращения ротора в процессе длительной работы и сразу после

включения, техническое состояние механической системы и т.п. Ее значимость возрастает для случая, когда доступ к двигателю и непосредственное наблюдение за его работой затруднены (например, работа двигателя в скважине). Традиционное использование различных датчиков, потребует дополнительных линий связи со всеми сопутствующими проблемами.

Доклад посвящен разработанному автором [1 – 3] принципиально новому техническому решению проблем диагностики электрических машин переменного тока применительно к асинхронному двигателю. Данный метод позволяет с помощью бесконтактных датчиков тока (измерительных трансформаторов и преобразователей Холла), расположенных на фазном проводе двигателя около силового щитка, получить информацию о техническом состоянии двигателя. Т.к. датчики тока расположены у щитка, то внедрять метод можно на уже смонтированных системах электропривода.

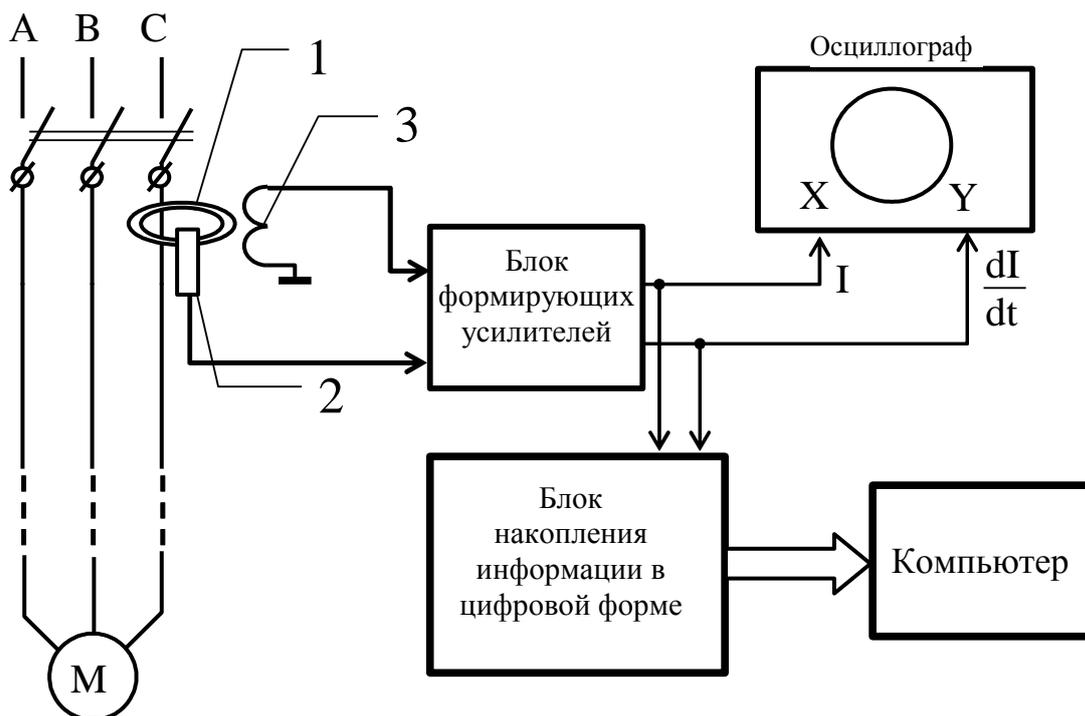


Рис. 1. Блок-схема реализации визуального метода диагностики асинхронного двигателя

На рис. 1 представлена блок-схема реализации визуального метода диагностики асинхронного двигателя. Датчик тока содержит кольцевой ферромагнитный сердечник 1 с прорезью для датчика Холла 2 и выходную обмотку 3. Для регистрации малых изменений формы тока с по-

мощью мнемонических диаграмм [2], необходимо одновременно получать информацию о величине тока (с датчика Холла) и скорости его изменения (с обмотки). Для непрерывного наблюдения формы тока, после нормирующих преобразований в блоке формирующих усилителей сигналы от датчиков подаются на входы X и Y осциллографа. Те же сигналы в цифровой форме накапливаются в памяти компьютера и обеспечивают выделение диагностической информации в соответствии с используемым алгоритмом.

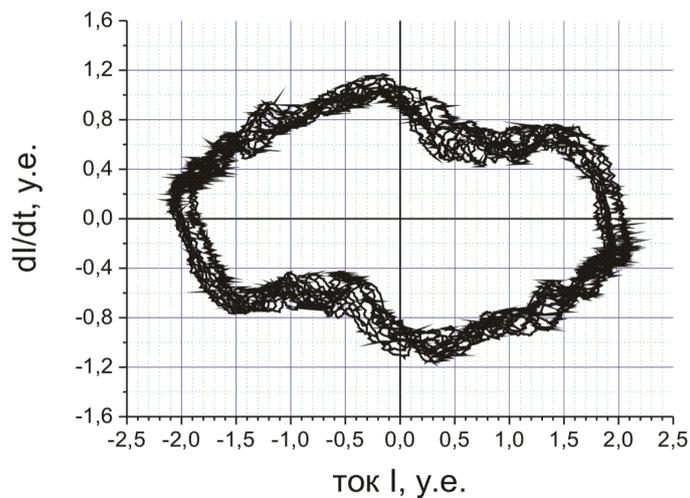


Рис. 2. Мнемоническая диаграмма фазного тока асинхронного двигателя при свободном вращении ротора и наличии всех фаз.

Исследования показали, что при наличии всех фаз вращающийся ротор создает на мнемонической диаграмме высокочастотную составляющую, которая «бежит» по мнемонической диаграмме (рис.2). Эта составляющая позволяет определить частоту вращения ротора и диагностировать связанные с ним состояния. Если по какой либо причине вращение ротора прекращается, то высокочастотная составляющая исчезает. На рис. 3 представлены мнемонические диаграммы соответствующие неподвижному ротору. В данном опыте неподвижность ротора возникала после включения питания по двум причинам: обрыв одной из фаз для свободного ротора и наличие всех фаз, но механически зажатом роторе. Как видно из рис. 3, мнемонические диаграммы для указанных ситуаций существенно различаются и перепутать их нельзя. Поэтому они позволяют с высокой степенью вероятности отделить механическую причину стопа ротора от электрической.

Эти причины требуют различного пути устранения. В первом случае требуется доступ к двигателю или приводимому им устройству. Во втором случае нужна прозвонка цепей.

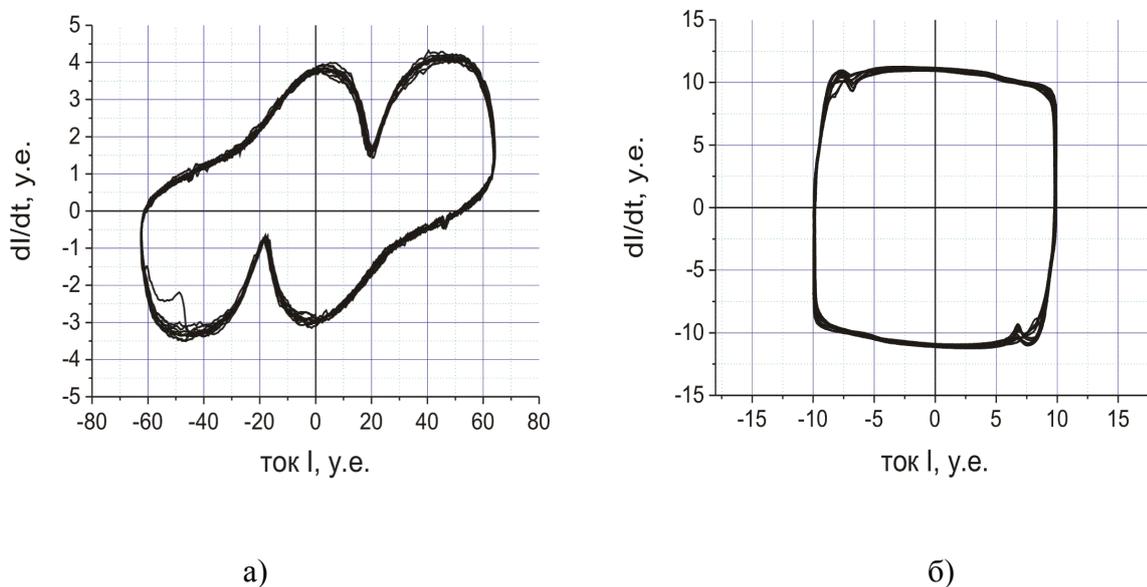


Рис. 3. Форма мнемонических диаграмм фазного тока асинхронного двигателя незапустившегося после включения:

- а) – обрыв одной из фаз А или В при отсутствии зажатия ротора,
 б) – наличие всех фаз, на механически зажатом роторе.

Таким образом, непрерывная диагностика асинхронного двигателя, основанная на бесконтактной регистрации тока в фазном проводе и анализе его формы, позволяет достаточно легко следить за его состоянием в процессе работы в штатном режиме.

Литература

1. Сукиязов А.Г. Использование кинетики токопотребления для диагностики состояния электрических аппаратов // Известия ВУЗов. Северокавказский регион. Сер. “Технические науки”. – №2. – 2001.
2. Сукиязов А. Г., Просяников Г. Б. и другие. Способ визуального контроля параметров энергопотребления и диагностики технического состояния электрооборудования переменного тока. Решение о выдаче патента на изобретение № 2008105273 от 29.06.2009 г
3. Сукиязов А.Г., Нестеров В.В., Просяников Г.Б. О возможности реализации непрерывной диагностики технического состояния электрических машин переменного тока // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – №1. – 2009.

УДК 681.2.087

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПО КОСВЕННЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛА КРАСОВСКОГО

В.Н. Таран, В.Н. Трофименко, Е.Н. Трофименко

Ростовский технологический институт сервиса и туризма

Представлен алгоритм оценки параметров движения летательного аппарата по косвенным наблюдениям на основе функционала Красовского методом прогнозирующей модели. Пример демонстрирует повышение эффективности оценивания при комплексировании траекторных и телеметрических данных о параметрах движения.

Экспериментальные данные о летных испытаниях летательных аппаратов (ЛА) часто отличаются статистической неустойчивостью, что объясняется малым числом испытаний, неоднородностью условий их проведения. В таких условиях статистические алгоритмы, например фильтры Калмана, Понтрягина, Стратоновича [1, 2], опирающиеся на достаточно полную систему сведений о динамике оцениваемого объекта, о структуре измерительного канала и статистических свойствах шумовых помех, в реальных условиях часто расходятся. Особенно ярко это проявляется при оценивании нелинейных объектов.

В таких условиях для обработки измерительной информации используют подход, основанный на решении обратных задач по восстановлению состояния динамической системы по косвенным наблюдениям с минимизацией функционала невязки между наблюдениями и их оценкой. В такой постановке задача является некорректной по Адамару даже в линейном случае [3]. В [3] показано, что регуляризация обратной задачи по Тихонову [4] может быть выполнена полуопределенным функционалом Красовского [5]. Рассмотрим особенности применения функционала Красовского для оценки параметров движения летательного аппарата.

Пусть движение ЛА описывается уравнением

$$\dot{\mathbf{x}} = f(\mathbf{x}) + \varphi(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{u}, \quad \mathbf{x} \in X \in \mathbf{R}^6 \times [t_0, t_1], \quad \mathbf{u} \in U \in \mathbf{R}^3 \times [t_0, t_1] \quad (1)$$

где $[x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6]^T$ – вектор положения ЛА, в котором x_1, x_3, x_5 – координаты, а x_2, x_4, x_6 – скорости в инерциальной, связанной с местной, системе координат; $f(\mathbf{x}) = [x_2, 0, x_4, 0, x_6, g]^T$ – образующая вектор-функция ЛА; матрица эффективности уравнения $\varphi(\mathbf{x})$

$$\varphi(\mathbf{x}) = 0.5 \cdot \rho \cdot v \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -x_2 & \frac{x_4 v}{v_p} & \frac{x_2 x_6}{v_p} \\ 0 & 0 & 0 \\ -x_4 & \frac{x_2 v}{v_p} & \frac{x_4 x_6}{v_p} \\ 0 & 0 & 0 \\ -x_6 & 0 & -v_p \end{bmatrix},$$

в которой $\rho = \rho_0 \cdot \exp(-x_5/k_p)$ – зависимость плотности от высоты [6]: k_p – логарифмический градиент плотности по высоте; v и v_p определяются как модули вектора скорости и проекции вектора скорости на горизонтальную плоскость.

Динамическая модель (1) учитывает основные силы, действующие на ЛА при полете в атмосфере Земли. Она позволяет моделировать управляемый полет за счет изменения по заданному закону нормированных аэродинамических сил u_1, u_2, u_3 , оставаясь при этом достаточно простой для моделирования.

Вектор наблюдений – $\mathbf{y} = [y_1, y_2, y_3, y_4]^T$ с компонентами y_1, y_2, y_3, y_4 (дальность, азимут, угол места и радиальная скорость, соответственно):

$$y_1 = \sqrt{x_1^2 + x_3^2 + x_5^2} + \xi_1, \quad y_2 = \arctg(x_1/x_3) + \xi_2,$$

$$y_3 = \arctg\left(x_5/\sqrt{x_1^2 + x_3^2}\right) + \xi_3, \quad y_4 = \frac{x_1 x_2 + x_3 x_4 + x_5 x_6}{\sqrt{x_1^2 + x_3^2 + x_5^2}} + \xi_4.$$

Параметры движения определяются из уравнения оценки

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = f(\hat{\mathbf{x}}, t) + \varphi(\hat{\mathbf{x}}, t) \cdot \mathbf{u}_o(t), \quad \hat{\mathbf{x}}(t_0) = \hat{\mathbf{x}}_0, \quad t \in [t_0, t_1],$$

в котором оценка вектора аэродинамической силы $\mathbf{u}_o = (u_{o1}, u_{o2}, u_{o3})^T$ определяется на основе минимизации функционала Красовского

$$J[\hat{\mathbf{x}}] = \int_{t_0}^{t_1} \Psi(\hat{\mathbf{x}}) dt + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \mathbf{u}^T(t) \mathbf{K}^{-1} \mathbf{u}(t) dt + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \mathbf{u}_o^T(t) \mathbf{K}^{-1} \mathbf{u}_o(t) dt,$$

$$\Psi(\hat{\mathbf{x}}) = (\mathbf{y} - y(\hat{\mathbf{x}}))^T \mathbf{Q} (\mathbf{y} - y(\hat{\mathbf{x}})).$$

Оценка \mathbf{u}_o определяется по методу прогнозирующей модели [7]:

$$\hat{\mathbf{u}}_o(t) = -\mathbf{K} \cdot \varphi^T(\hat{\mathbf{x}}) \cdot \int_t^{t_1} \mathbf{G}^T(s, t) \cdot \frac{\partial [\Psi(\hat{\mathbf{x}}_m(s))]}{\partial \hat{\mathbf{x}}_m(s)} \cdot ds$$

где $\hat{x}_m(s)$ – прогнозируемое свободное движение модели, определяемое уравнением

$$\dot{\hat{x}}_m = f(\hat{x}_m, s), \quad \hat{x}_m(s)|_{s=t} = \hat{x}(t); \quad (2)$$

$G(s, t)$ – фундаментальная матрица системы, определяемая решением матричного уравнения

$$\frac{\partial G(s, t)}{\partial s} = F_{\hat{x}} \cdot G(s, t), \quad G(s, t)|_{s=t} = I,$$

в котором $F_{\hat{x}} = \frac{\partial f}{\partial \hat{x}}$ – матрица Якоби уравнения (2).

На рис. 1 приведены результаты моделирования движения ЛА в вертикальной плоскости. Движение осуществлялся под воздействием линейного изменения управляющего воздействия u_3 , соответствующего нормированной подъемной силе, с 2.5с по 3с от значения $u_3 = 0$ до значения $u_3 = 0.001$.

Устойчивое оценивание траектории только по внешнетраекторным измерениям при различных уровнях шумов измерений возможно только без изменения управляющих воздействий – оценки расходились с момента начала изменения управляющего воздействия (2.5с). Привлечение данных о скорости движения ЛА повысило устойчивость решения задачи оценивания. Результаты оценивания приведены на рис. 2.

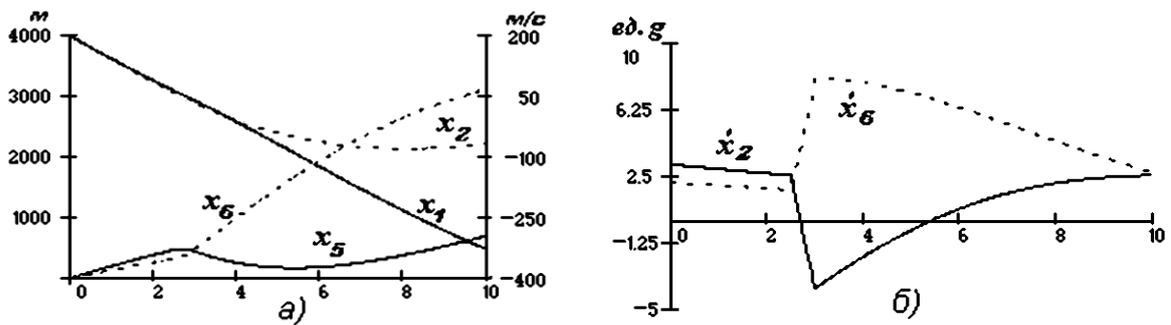
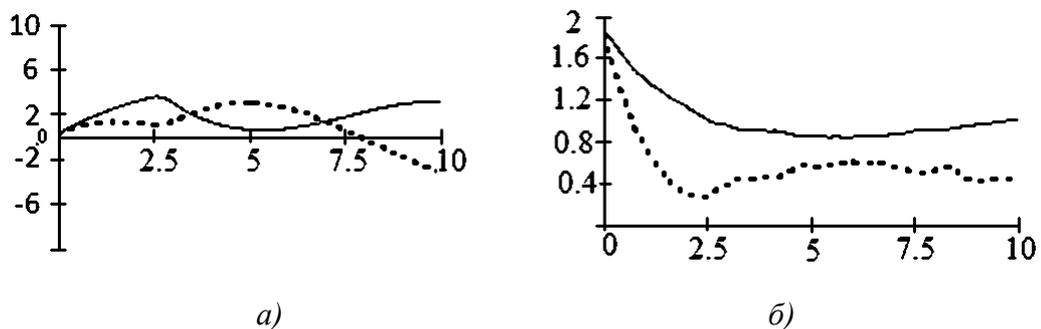


Рис. 1. Траектория движения ЛА

а) изменение координат, проекций скорости; б) изменение ускорения



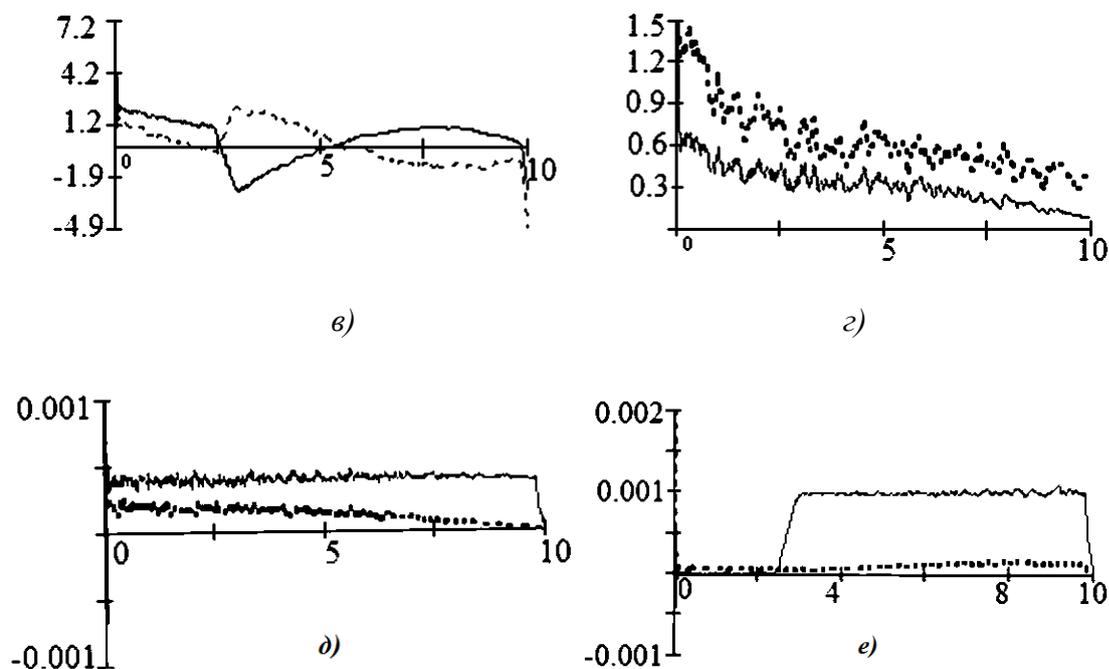


Рис. 2. Результаты оценивания траектории с привлечением информации о проекциях скорости:
 а) средние погрешности оценок координат (м); б) СКО погрешностей оценок координат, (м); в) средние погрешности оценок проекций скорости (м/с); г) СКО погрешностей оценок проекций скорости (м/с); д) среднее значение оценки (—) и СКО (- - -) нормированной силы u_1 ; е) среднее значение оценки (—) и СКО (- - -) нормированной силы u_3 .

На рис. 3 показаны средние погрешности оценивания нормированных сил u_1 и u_3 .

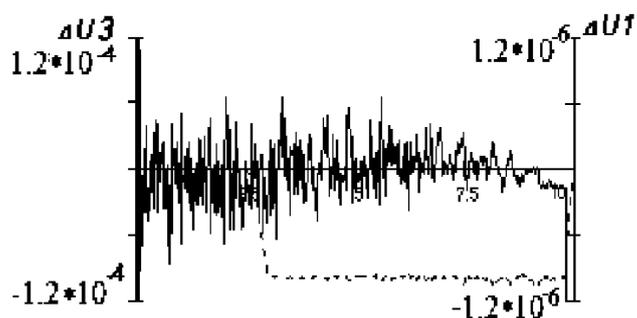


Рис. 3. Средние погрешности оценивания u_1 (—) и u_3 (...)

Расчеты показывают, что во время изменения управляющего воздействия u_3 динамическая погрешность оценивания параметров траектории увеличивается: среднее значение погрешности достигает величи-

ны 2.5 м. Начиная с третьей секунды, при неизменной величине воздействия u_3 , средние значения погрешностей уменьшаются. При этом СКО погрешностей оценок устанавливается на уровне менее $0.4 м/с$ при средней погрешности менее $0.8 м/с$. Средняя погрешность оценивания u_1 не превышает 4% (группируется вокруг нулевого значения) и оценивания u_3 – не превышает 0.5% (смещение).

Таким образом, результаты имитационного моделирования подтверждают то, что разработанные алгоритмы с совместной обработкой траекторных и телеметрических данных позволяют получить устойчивые оценки параметров движения ЛА.

Литература

1. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1993.
2. Ярлыков М.С. Применение марковской теории нелинейной фильтрации в радиотехнике. – М.: Сов. Радио, 1980.
3. Таран В.Н., Трофименко И.В., Трофименко В. Н. Функционал обобщенной работы в регуляризации задачи оценивания состояния динамической системы // Автоматика и вычислительная техника. – 1999. – № 4. – С. 35-45.
4. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986. – 287 с.
5. Красовский А.А. Неклассические целевые функционалы и проблемы теории оптимального управления // Техническая кибернетика. – 1992. – № 1. – С. 3-41.
6. Ярошевский В.А. Вход в атмосферу космических летательных аппаратов. – М.: Наука, 1988. – 336 с.
7. Таран В.Н. Максимально правдоподобная оценка состояния оптимально управляемой системы // А и Т. – 1991. – № 8. – С. 101-108.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В НАУКЕ, ПРОИЗВОДСТВЕ, СОЦИАЛЬНЫХ
И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ**

*Материалы
XII Международной научно-практической
конференции*

*9 декабря 2011 года,
г. Новочеркасск*

Новочеркасск
ЛИК
2012

УПРАВЛЕНИЕ СУШИЛЬНОЙ КАМЕРОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Е.Ю. Востриков

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

В производстве пенополистирольных моделей в робототехническом комплексе литейного производства, одной из операций технологического процесса является «сушка». На этом этапе происходит стабилизация размеров отформованных моделей. Операция реализована путем конвейерного прохождения моделей через сушильный шкаф с небольшой скоростью и температурой воздуха внутри 30-40 °С. После чего модели перемещаются далее по технологическому маршруту либо в склад готовой продукции.

С целью наиболее продуктивного производства изделий, сокращения энергозатрат, времени прохождения цикла и регулирования температуры и влажности рациональней использовать систему управления с нейрокомпенсатором. В связи с выпуском пенополистирольных моделей различных размеров движущихся в одной поточной линии, с помощью традиционных методов представляет собой сложно решаемую на практике задачу. Требуется применить теорию нечетких множеств. Современное развитие средств вычислительной техники сделало возможным эффективное использование для этих целей искусственных нейронных сетей, которые имитируют способность обучаться, присущую биологической системе, понимать неизвестный процесс или его поведение за счет специальной обработки информации и моделирования.

Исследуем модуль управления типа Такаги-Сугено (случай зависимых лингвистических переменных). Для упрощения описания модулей нечеткого управления обычно вводят условие независимости входных переменных, которое не всегда оказывается выполнимым. Например, рассмотрим температуру и влажность: они в определенной степени взаимозависимы, поэтому входные функции принадлежности должны отображаться поверхностями в трехмерном пространстве. В случае большого количества переменных эти функции должны строиться в многомерных пространствах. При попытке использовать интуицию и собственный опыт задача окажется практически неразрешимой. Предлагается использовать подход нечеткого вывода, основанный на нейронной сети, представленный на рисунке 1.

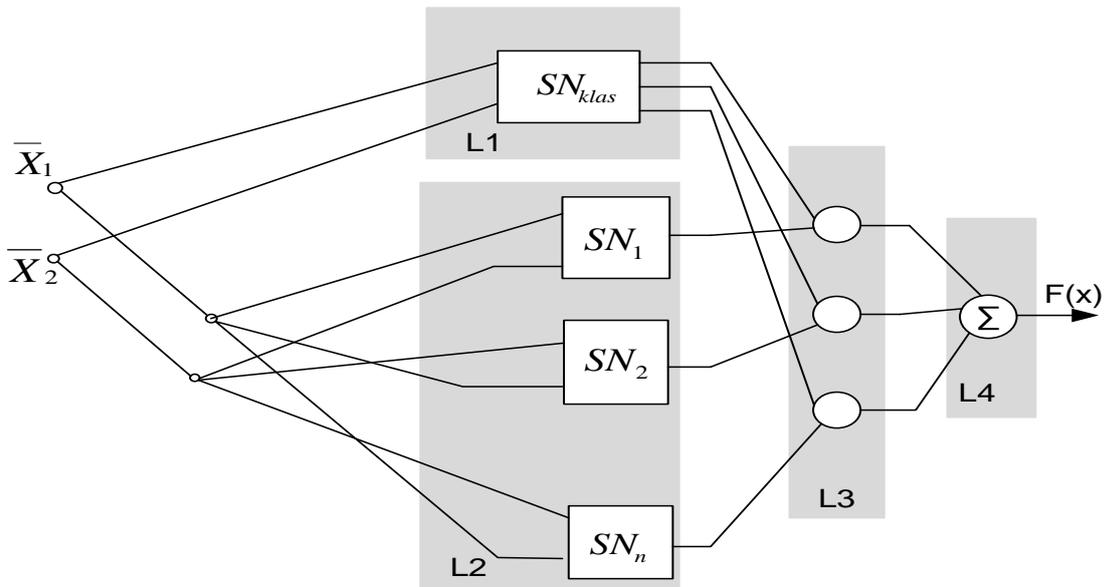


Рис. 1. Структура системы нечеткого вывода, основанной на нейронной сети.

SN_{klas} – разделение входных данных на классы; L1, L2, L3, L4 – слои нейронной сети; SN_1 - SN_n – блоки реализующие соответствующие правила, $F(x)$ – выходная функция, \bar{X}_1, \bar{X}_2 – входные параметры

Фактически речь идет о решении типичной задачи разделения данных на классы, т.е. кластеризации. Несомненное достоинство такого подхода – возможность обучения сети требуемому разделению по обучающей выборке с использованием стандартного алгоритма распространения ошибки.

На рисунке 2 представлены разделения входных данных на условия правил.

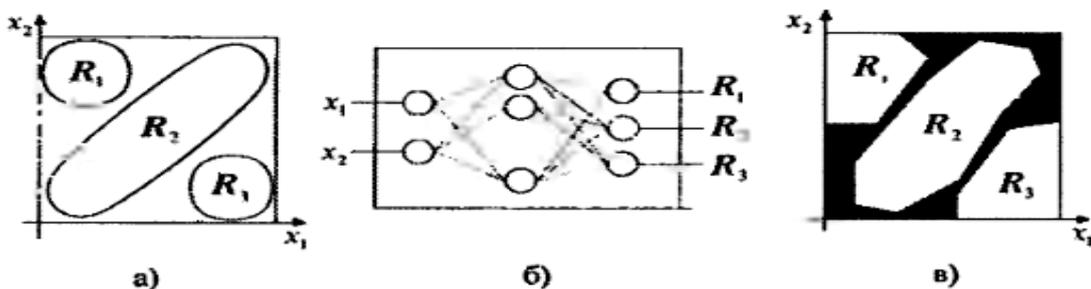


Рис. 2. Разделение входных данных на условия правил:

а) пространство входных данных; б) нейронная сеть, задающая функции принадлежности; в) пространство данных, разделение на нечеткие правила

Для обучения представленной структуры необходимо предварительная подготовка обучающих данных: они должны быть разделены на подмножества, образующие репрезентативные классы. На базе этих

классов будут формироваться правила. Непосредственное обучение осуществляется по алгоритму обратного распространения ошибки и проводится отдельно для сети, реализующей условия правил, и для сети, реализующей заключение. Стоит отметить что, благодаря соединению выходов сетей SN множительными элементами в слое L3 становится возможным автоматический выбор сети, которую следует подвергать обучению.

В заключение необходимо сказать, что при реализации данной структуры, к достоинствам относятся:

- автоматизация разделения нечетких правил и выбор функций принадлежности для регулирования влажности и температуры сушильной камеры;

- автоматизацию уточнения функции принадлежности при изменении окружающей среды, что обеспечивается возможностями обучения нейронных сетей.

Недостатком можно считать то, что условия кодируются в сети SN_{klas} , а заключения – в сетях SN_k , поэтому отсутствует возможность выделить как саму функцию принадлежности, так и базу правил, а также функции, описывающие заключения каждого конкретного правила. Таким образом, стоит отметить, что данная система наиболее подходит для управления сушильной камерой.

Литература

1. Рутковская Д., Пилинский М. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия–Телеком, 2006. – 452 с.
2. Макаров И.М., Лохин В.М., Романов М.П. Интеллектуальные системы управления. – М.: Наука, 1999. – 336 с.
3. Шуляк В.С. Литье по газифицируемым моделям. – СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.

УДК 666.71.041.9:536.42

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТВЕРДОФАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОБЖИГЕ ОБЪЕМНО-ОКРАШЕННОГО КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

И.Г. Довженко, А.М. Кондюрин, М.В. Тамазов, В.В. Верещака, Н.А. Тамазова
Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Приводятся результаты термодинамического моделирования твердофазовых реакций, происходящих при обжиге керамического кирпича. Разработанная программа ThermoGibbs предназначена для расчета основных термодинамических

функций – изменения энтальпии, энтропии, изменения энергии Гиббса, логарифм константы равновесия химической реакции – в зависимости от температуры.

В настоящее время наиболее выраженную перспективу развития термодинамического моделирования (ТДМ) представляют технологические процессы в металлургии, химии и производстве обжиговых строительных материалов [1-3]. Прогнозирование применения различных сырьевых материалов при высокотемпературном обжиге для оценки выхода целевого продукта и энергозатрат может осуществляться с применением ТДМ, как одного из точных и достоверных методов.

Цель работы – определение фазового состава и полный термодинамический расчет многокомпонентной системы с учетом фазовых переходов, происходящих при обжиге объемно-окрашенного керамического кирпича.

Существует ряд программ для термодинамического моделирования твердофазовых процессов, происходящих в многокомпонентных системах [1]. Однако применяемые в них методы моделирования, как правило, имеют принципиальные ограничения на природу и компонентность исследуемых систем – осуществление расчетов в них возможно только чистых соединений и простых веществ без учета кинетики протекания твердофазовых процессов, а также действия появляющейся при высоких температурах жидкой фазы [4].

ТДМ твердофазовых процессов заключается в термодинамическом анализе равновесного состояния системы в целом (полный термодинамический анализ). Применение ТДМ позволяет прогнозировать фазовый состав многокомпонентных силикатных систем, оценивать вероятность протекания твердофазовых реакций с учетом химических и фазовых превращений, определять основные термодинамические функции и изменение их значений при различных условиях. Знание фазового состава силикатного материала, в том числе керамического кирпича, делает возможным получение изделий, обладающих повышенными физико-техническими свойствами и цветовыми характеристиками, что является актуальной задачей в современной технологии стеновой керамики.

Для ТДМ применялась программа ThermoGibbs, написанная на языке программирования Basic. Программа включает базу исходных термодинамических данных наиболее часто встречающихся в силикатных системах веществ. Размерности исходных и определяемых соединений приводятся в соответствии с системой СИ. Термодинамиче-

ское моделирование твердофазовых процессов, происходящих при обжиге объемно-окрашенного керамического кирпича, производилось в четыре этапа:

1. Определение механизмов твердофазового взаимодействия исходных веществ и кристаллизации наиболее вероятных новых фаз;
2. Определение значений основных термодинамических функций (dH_p , dG_p , S_p , $\ln(k_p)$) с учетом полиморфных превращений и плавления исходных компонентов;
3. Решение задачи на ЭВМ по заданному расчетному алгоритму, получение ответа;
4. Анализ результатов моделирования с построением графиков зависимостей термодинамических функций от температуры $dH_p=f(T)$, $\Delta G_p=f(T)$, $S_p=f(T)$, $\ln(k_p)=f(T)$.

Минералогический состав анализируемой керамической массы представлен преобладающими минералами – каолинитом $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, кварцем $\beta - SiO_2$, монтмориллонитом $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O \cdot H_2O$, кальцитом $CaCO_3$. Рассматриваемая система является многокомпонентной, так как дополнительно содержит примеси оксида железа (III) и щелочных оксидов.

После приведения многокомпонентной системы к трехкомпонентной $CaO-Al_2O_3-SiO_2$, проанализируем основные пути протекания твердофазовых процессов. В рассматриваемой системе в соответствии с данными химического анализа возможно образование двух соединений – анортита $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и волластонита $\beta - CaO \cdot SiO_2$.

Рассмотрим основные возможные реакции взаимодействия исходных веществ:

1. $CaCO_3 + SiO_2 \rightarrow CaO \cdot SiO_2 + CO_2 \uparrow$;
2. $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O + CaCO_3 \rightarrow CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 +$
 $+ 2H_2O \uparrow + CO_2 \uparrow$;
3. $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot nH_2O \cdot H_2O + CaCO_3 \rightarrow CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 +$
 $+ 2SiO_2(ам.) + (n + 1)H_2O \uparrow + CO_2 \uparrow$.

В качестве примера в статье приведен расчет реакции 1. Уравнения для расчета изменения энергии Гиббса, полученные в программе ThermoGibbs, приведены на рисунке 1.

Уравнение для расчёта dG_p при температурах выше 100 С' :

$$dG_p = -134680.8 - 182.028 T \ln T + .2903085 T^2 + 2675750 / T - 6.28285E-05 T^3 - 4.654075E-08 T^4 + 1.18083E-10 T^5 + 1078.528 T$$

а

Уравнение для расчёта dG_p при температурах выше 575 С' :

$$dG_p = -90520.07 - .9080009 T \ln T - 8.119996E-04 T^2 + 1284350 / T - 0 T^3 - 0 T^4 - 0 T^5 - 4.309296 T$$

б

Уравнение для расчёта dG_p при температурах выше 927 С' :

$$dG_p = -76914.13 + 18.253 T \ln T - .0090125 T^2 - 1038800 / T + 4.628333E-07 T^3 - 0 T^4 - 0 T^5 - 139.3802 T$$

в

Рис. 1. Изменение уравнения (скриншот) для определения изменения энергии Гиббса в зависимости от температуры с учетом полиморфных превращений: а – до полиморфного превращения кварца, б – с учетом полиморфного превращения β -SiO₂(кв.) $\xrightarrow{575^\circ\text{C}}$ α -SiO₂(кв.), в – с учетом перехода α -модификации кварца в α -тридимит α -SiO₂(кв.) $\xrightarrow{927^\circ\text{C}}$ α' -SiO₂(трид.)

Результаты расчетов основных термодинамических параметров образования волластонита (реакция 1) приведены на рисунке 2.

ТАБЛИЦА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РЕАКЦИИ N 1

t	dH _p	dG _p	S _p	lnK
'C	кДж/моль	кДж/моль	Дж/моль*К	
212	91.59483	18.91826	171.8122	-5.379098
275	90.6433	8.24713	169.7141	-2.043065
337	89.69999	-2.301544	167.886	.5051348
400	88.78358	-12.74377	166.302	2.510619
462	87.89136	-23.09335	164.9104	4.127056
525	86.96612	-33.35925	163.5967	5.455093
587	85.87234	-43.54066	162.1717	6.562369
650	84.10748	-53.11911	159.4731	7.424522
712	83.07803	-63.0497	158.3182	8.2158
775	82.04005	-72.91028	157.2302	8.89817
837	80.9873	-82.70457	156.1945	9.491542
900	79.91471	-92.43546	155.2005	10.01126
962	78.81821	-102.1053	154.24	10.46933
1025	74.63817	-108.5449	148.2663	10.5666
1087	73.48746	-117.7829	147.3578	10.91381
1150	72.32323	-126.9652	146.4818	11.22419
1212	71.14413	-136.0937	145.6345	11.50275
1275	69.94869	-145.1701	144.8124	11.75366
1337	68.7354	-154.1958	144.0124	11.98036
1400	67.50262	-163.1721	143.2317	12.18579
1400	66.24872	-172.1001	142.4679	12.37239

Рис. 2. Результаты определения термодинамических параметров (скриншот) для реакции 1 в интервале температур 150-1400 °С.

Из результатов термодинамических расчетов видно, что реакция 1 протекает в широком интервале температур (275-1400 °С). Наиболее интенсивно реакция протекает при температурах выше 1000 °С, на что указывают высокие значения изменения энергии Гиббса и логарифм константы равновесия химической реакции. Положительные значения энтальпии свидетельствует о том, что реакция требует дополнительной тепловой энергии. Снижение энтропии предполагает, что исходные вещества необходимо измельчать и тщательно смешивать. Расчет реакций 2, 3 показал, что они термодинамически вероятны и наиболее интенсивно протекают при температурах выше 800 °С ($dG_{p2}^{1025} = -475,4839$ кДж/моль; $dG_{p3}^{1025} = -515,2156$ кДж/моль).

Для оценки адекватности теоретически определенного фазового состава керамического кирпича производились экспериментальные исследования. Изготавливались опытные образцы из шихты, содержащей 75 % тугоплавкой каолиновой глины и 25 % мела. Применялся пластический способ подготовки массы и пластическое формование образцов при формовочной влажности 20 %. Обжиг образцов производился при температуре 1050 °С. Фазовый состав определялся рентгенофазовым анализом (РФА) и электронной микроскопией. На полученных рентгенограммах были идентифицированы дифракционные максимумы (в нм) анортита (0,403; 0,320; 0,310; 0,286), волластонита (0,352; 0,298; 0,272; 0,235), кварца (0,425; 0,334; 0,213; 0,182). Данные электронной микроскопии подтверждают результаты РФА.

Таким образом, термодинамическое моделирование, выполняемое в программе ThermoGibbs, позволяет получать адекватные результаты по фазовому составу объемно-окрашенного керамического кирпича. Разработанная программа может быть эффективно использована для полного термодинамического расчета многокомпонентных систем, с учетом фазовых превращений и термического разложения исходных веществ.

Литература

1. Ватолин Н.А., Моисеев Г.К., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах. – М.: Металлургия, 1994. – 352 с.
2. Smith W.R., Missen R.W. Chemical Reaction Equilibrium Analysis: Theory and Algorithms. – New-York: John Wiley, 1982. – 364 p.
3. Белов Г.В. Термодинамическое моделирование: методы, алгоритмы, программы. – М.: Научный мир, 2002. – 184 с.
4. Пупышев А.А. Термодинамическое моделирование термохимических процессов в спектральных источниках. – Екатеринбург: УЛГТУ, 2007. – 85 с.

УДК 681.5.01(519.71)

УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ СКОЛЬЗЯЩЕГО РЕЖИМА ВО ВНУТРЕННЕМ КОНТУРЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ САУ С БИНАРНО-ОПЕРАТОРНЫМИ СВЯЗЯМИ

В.С. Елсуков, В.И. Лачин

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Исследуется область применения САУ с бинарно-операторными связями. Она ограничивается условиями возникновения и существования скользящего режима в их внутреннем контуре регулирования.

Пусть объект управления описывается уравнением

$$y^{(n)} = ku - \varphi(\mathbf{Y}, t), \quad Y(0) = Y_0, \quad (1)$$

где u – управляющее воздействие; \mathbf{Y} – вектор состояния; $\varphi(\mathbf{Y}, t)$ – неопределенная гладкая нелинейная функция, которая является ограниченной, $|\varphi(\mathbf{Y}, t)| \leq \varphi_0$, а также имеет ограниченную скорость изменения,

$$|d\varphi(\mathbf{Y}, t)/dt| \leq |\varphi(\mathbf{Y}, t)| / \sigma_0, \quad (2)$$

где σ_0 – постоянный коэффициент.

Структурная схема синтезированной для объекта (1) САУ с бинарно-операторными связями [1] приведена на рис. 1, на котором через $W_H(p)$ и $W_{Di}(p)$ обозначены передаточные функции соответственно инерционного и дифференцирующего фильтров.

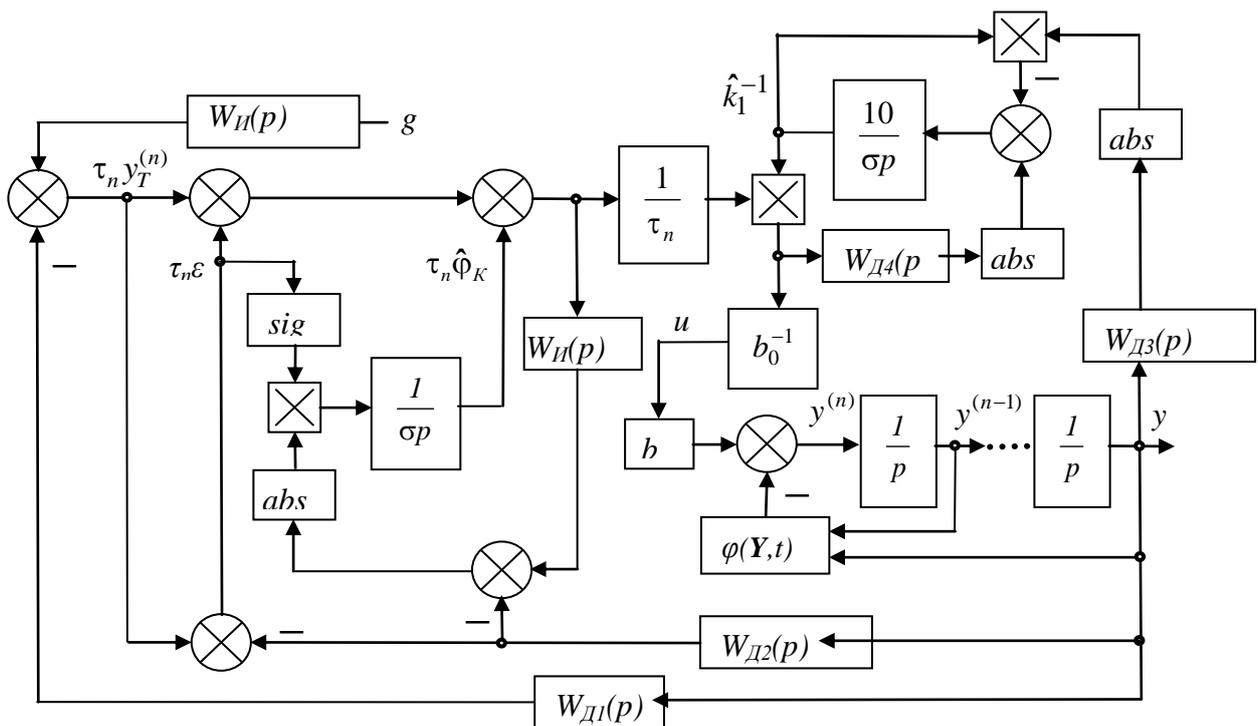


Рис. 1. Структурная схема системы стабилизации с функционально и параметрически неопределенным объектом

САУ содержит внутренний контур регулирования со знакопеременной обратной связью по модулю возмущения старшей производной выходной величины. Для возникновения и существования скользящего режима в рассматриваемом контуре регулирования необходимо выполнение двух условий.

Первое условие [2] требует, чтобы выполнялось следующее неравенство для произведения функции переключения и ее производной по времени:

$$\varepsilon \dot{\varepsilon} < 0, \quad (3)$$

где $\varepsilon = y_T^{(n)} - y^{(n)}$, причем $y_T^{(n)} = F_n(\dots)$ – требуемый закон изменения старшей производной выходной величины системы $y^{(n)}$. Для исследования условий выполнения неравенства (3) продифференцируем уравнение объекта (1)

$$y^{(n+1)} = k\dot{u} - \dot{\varphi}(\mathbf{Y}, t) \quad (4)$$

и найдем производную по времени закона управления объектом (1):

$$u = k^{-1} \left(y_T^{(n)} + \hat{\varphi} \right),$$

где $\hat{\varphi} = \varepsilon + \frac{1}{\sigma p} |\varphi_{II}| \mathbf{sign} \varepsilon$, причем φ_{II} – измеренное косвенным способом

возмущение $\varphi(\mathbf{Y}, t)$ старшей производной выходной величины объекта с помощью инерционного и дифференцирующего фильтров с малой по-

стоянной времени μ , $\varphi_{II} = \frac{1}{(1 + \mu p)^n} \left(y_T^{(n)} + \hat{\varphi} \right) - \frac{P^n}{(1 + \mu p)^n} y^{(n)}$; $\sigma = 2n\mu$.

Тогда получим:

$$\dot{u} = k^{-1} \left\{ y_T^{(n+1)} + \dot{\varepsilon} + \frac{1}{\sigma} |\varphi_{II}| \mathbf{sign} \varepsilon \right\}. \quad (5)$$

На основании выражений (4) и (5) можно записать соотношение для производной функции переключения, т.е.

$$\dot{\varepsilon} = y_T^{(n+1)} - y^{(n+1)} = \dot{\varphi}(\mathbf{Y}, t) - \dot{\varepsilon} - \frac{1}{\sigma} |\varphi_{II}| \mathbf{sign} \varepsilon.$$

Выражая отсюда производную $\dot{\varepsilon}$ и подставляя ее в неравенство (3) можно получить:

$$\varepsilon \left(\dot{\varphi}(\mathbf{Y}, t) - \frac{1}{\sigma} |\varphi_{II}| \mathbf{sign} \varepsilon \right) < 0. \quad (6)$$

Из полученного выражения видно, что второе слагаемое в его левой части всегда меньше нуля, если $\varphi(\mathbf{Y}, t) \neq 0$. Кроме того, если учесть ограничение производной функции $\varphi(\mathbf{Y}, t)$ (2), то неравенство (6) будет выполняться всегда при соблюдении условия:

$$\frac{1}{\sigma} |\varphi_H| > \frac{1}{\sigma_0} |\varphi(\mathbf{Y}, t)|.$$

Из этого соотношения следует, что для выполнения неравенств (6) и (3) достаточно, чтобы соблюдалось неравенство:

$$\sigma_0 > \sigma = 2n\mu. \quad (7)$$

Заметим, что неравенство (7) является тем ограничением на класс нелинейных объектов, для которых можно синтезировать САУ с бинарно-операторными связями.

Второе условие [2] требует “попадания” изображающей точки внутреннего контура регулирования системы на линию переключения $\varepsilon = y_T^{(n)} - y^{(n)} = 0$. Выполнение этого условия означает отсутствие правых корней в характеристическом уравнении этого контура регулирования

$$(1 + \mu p)^n \sigma p + 1 = 0.$$

Но при $\sigma = 2n\mu$ параметры контура регулирования соответствуют условиям настройки его по техническому оптимуму [3], когда корни характеристического уравнения являются “левыми”. Поэтому второе условие при $\sigma \geq 2n\mu$ будет выполняться всегда.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 10-08-00254-а.

Литература

1. Елсуков В.С. Синтез нелинейных нестационарных систем стабилизации со скользящими режимами в контурах локализации возмущений // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Техн. науки. – 2005. – № 33. – С. 308-312.
2. Емельянов С.В., Коровин С.К. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 352 с.
3. Фрер Ф., Орттенбургер Ф. Введение в электронную технику регулирования. – М.: Энергия, 1973. – 192 с.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т.: (8635)25-52-97.
e-mail: elsvs@mail.ru

УДК 681.5.01(519.71)

СИНТЕЗ ДИСКРЕТНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ САУ С БИНАРНО-ОПЕРАТОРНЫМИ СВЯЗЯМИ

В.С. Елсуков, В.Г. Трофименко

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Рассматривается алгоритм преобразования непрерывного закона управления в дискретный с целью его программной реализации на микроконтроллере.

При достаточно малом шаге квантования сигналов микропроцессорные системы работают в квазинепрерывном режиме и их можно считать эквивалентными импульсным системам с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ). В задачах анализа и синтеза импульсных САУ принято заменять реальный импульсный элемент последовательным соединением идеального импульсного и формирующего элементов. В частности, при АИМ в качестве формирующего элемента применяется фиксатор нулевого порядка с передаточной функцией

$$W_{\Phi\Delta}(p) = (1 - e^{-Tp}) / p,$$

где T – период работы импульсного элемента.

И если непрерывная часть импульсной системы имеет ограниченную полосу пропускания и такую, что выполняется неравенство

$$\omega_{ГП} \leq \omega_{И}/2,$$

где $\omega_{ГП}$ – граничная частота полосы пропускания; $\omega_{И}$ – частота квантования импульсным элементом входного сигнала по времени, то импульсный элемент можно заменить идеальным запаздывающим звеном с передаточной функцией [1] $e^{-0,5Tp}$.

В этом случае можно решать задачу синтеза САУ в непрерывном времени с последующим преобразованием непрерывного регулятора в дискретный.

Рассмотрим задачу синтеза непрерывной системы стабилизации для объекта с неопределенной нелинейной функцией $\varphi(y, \dot{y}, t)$:

$$\ddot{y} = u + \varphi(y, \dot{y}, t), \tag{1}$$

с последующим преобразованием непрерывного по времени алгоритма управления системы в эквивалентный дискретный.

Для этого к входу объекта (1) подключаем импульсный элемент с формирующим элементом в виде фиксатора нулевого порядка с упрощенной передаточной функцией $e^{-0,5Tp}$. В результате этого уравнение

объекта управления (1) преобразуется в уравнение приведенной непрерывной части дискретно-непрерывной системы:

$$\ddot{y} = e^{-0,5Tp} u + \varphi(y, \dot{y}, t). \quad (2)$$

Если теперь подставить в уравнение (2) требуемый закон изменения старшей производной выходной величины [2]:

$$\ddot{y}_T = F_2(y, \dot{y}, g) = \frac{1}{\tau_2} \{g - (1 + \tau_1 p) y\}$$

вместо ее текущего значения \ddot{y} и вместо функции $\varphi(y, \dot{y}, t)$ ее оценку

$$\hat{\varphi} = \varepsilon + \frac{1}{\sigma p} |\varphi_{и}| \mathbf{sign} \varepsilon, \quad (3)$$

где ε – сигнал рассогласования между требуемым и текущим значениями старшей производной выходной величины,

то, пренебрегая запаздыванием сигнала в прямой цепи преобразованного объекта и решая обратную задачу динамики, можно найти искомый закон управления

$$u^* = \{\ddot{y}_T - \hat{\varphi}(t)\}.$$

Дискретный алгоритм управления можно получить из непрерывного (4) с заменой непрерывного аргумента t на относительное время $i = t/T|_{t=iT}$ и непрерывных передаточных функций интегрального регулятора, инерционного и дифференцирующих фильтров на дискретные:

$$u[i] = F_2[i] - \hat{\varphi}[i], \quad (4)$$

где $F_2[i]$ – дискретный требуемый закон изменения старшей производной выходной величины,

$$F_2[i] = \frac{1}{\tau_2} \{W_\phi[z]g[i] - W_2[z]y[i]\}; \quad (5)$$

$W_\phi[z]$ – дискретная передаточная функция входного инерционного фильтра системы; $\hat{\varphi}[i]$ – дискретная оценка функции $\varphi(y, \dot{y}, t)$, которая может быть получена на основании выражения для непрерывной (3). Например, при аппроксимации операции непрерывного интегрирования методом трапеций [1]. В этом случае достаточно вместо оператора $p=d/dt$ сделать следующую подстановку:

$$p = 2T^{-1}(z-1)/(z+1). \quad (6)$$

В результате получим

$$\hat{\phi}[i] = \frac{1}{\tau_2} \left\{ \varepsilon[i] + \frac{T(z+1)}{2\sigma(z-1)} \{ \phi_{И}[i] \} \text{sign } \varepsilon[i] \right\}, \quad (7)$$

где $\varepsilon[i] = \tau_2 F_2[i] - W_1(z)y[i]$; $\phi_{И}[i] = \tau_2 W_{\Phi}(z) \{ F_2[i] + \hat{\phi}[i] \} - W_1(z)y[i]$; $W_1[z]$, $W_2[z]$ – дискретные передаточные функции дифференцирующих фильтров, являющиеся реализациями соответствующих непрерывных.

Структурная схема дискретно-непрерывной системы стабилизации составлена на основании уравнений (1), (4), (5) и (7) и приведена на рис. 1.

Дискретные передаточные функции инерционного $W_{\Phi}[z]$ и дифференцирующих $W_i[z]$ ($i=1,2$) фильтров можно получить на основании преобразованных передаточных функций непрерывных фильтров с помощью той же подстановки (6).

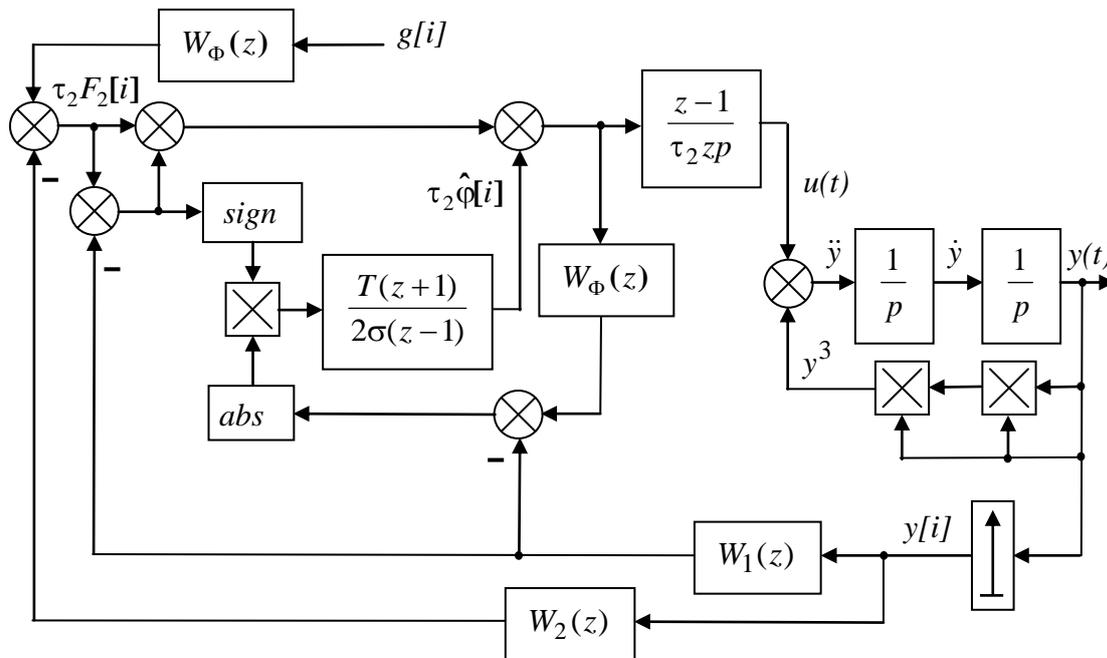


Рис. 1. Структурная схема системы с дискретным по времени алгоритмом управления

При необходимости определения передаточных функций дискретных дифференцирующих фильтров, эквивалентных непрерывным фильтрам высоких порядков, можно применять z -формы [1].

Известную передаточную функцию непрерывного дифференцирующего фильтра в виде дробно рациональной функции оператора $p=d/dt$:

$$W(p) = \frac{\tau_n p^n + \dots + \tau_1 p + 1}{\mu^{n+1} p^{n+1} + \dots + (n+1)\mu p + 1}$$

представляют в виде дробно-рациональной функции отрицательных степеней $p = \ln(z)/T$, т.е.

$$W(p) = \frac{\tau_n p^{-1} + \dots + \tau_1 p^{-n} + p^{-(n+1)}}{\mu^{n+1} + \dots + (n+1)\mu p^{-n} + p^{-(n+1)}}.$$

И если разложить $\ln(z)$ в ряд:

$$\ln(z) = 2\left(u + u^3/3 + u^5/5 + \dots\right),$$

где $u = (1 - z^{-1})/(1 + z^{-1})$, то получим

$$p^{-1} = \frac{T}{\ln(z)} = \frac{T/2}{u + u^3/3 + u^5/5 + \dots} = \frac{T}{2} \left(\frac{1}{u} - \frac{u}{3} - \frac{4u^3}{45} - \frac{44u^5}{945} - \dots \right). \quad (8)$$

Более высокие степени p^k получаются, если возвести в соответствующую степень левую и правую части формулы (8). В частности, при возведении во вторую степень, получим:

$$p^{-2} = \frac{T^2}{4} \left(\left(\frac{1}{u} \right)^2 - \left(\frac{2}{u} \right) \left(\frac{u}{3} + \frac{4u^3}{45} + \dots \right) + \dots \right).$$

Пренебрегая степенями переменного u выше, чем 2, находим

$$p^{-2} = \frac{T^2}{4} \left\{ \frac{1}{u^2} - \frac{2}{3} \right\} = \frac{T^2}{12} \cdot \frac{1 + 10z^{-1} + z^{-2}}{(1 - z^{-1})^2}.$$

Аналогично можно получить z -формы функции p^k более высокого порядка [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 10-08-00254-а.

Литература

1. Кузин Л.Т. Расчет и проектирование дискретных систем управления. – М.: ГНТИ Маш. лит., 1962. – 683 с.
2. Елсуков В.С. Синтез нелинейных нестационарных систем стабилизации со скользящими режимами в контурах локализации возмущений // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Техн. науки. – 2005. – № 33. – С. 308-312.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т.: (8635)25-52-97.
e-mail: elsvs@mail.ru

УДК 620.179

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОК ЭНЕРГОЕМКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Т.Н. Скоробогатова

Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал)

Саратовский государственный технический университет

Представлен программный продукт для проведения моделирования нагруженного состояния энергоемких деталей тяжелого машиностроения. В качестве уравнений, описывающих состояние нагружения использовались уравнения систем с распределенными параметрами.

Для расчетов и моделирования отдельных подсистем в течение многих лет используют высокопроизводительные программы и операционные системы, которые постоянно совершенствуются. Основным из главных направлений такого моделирования является анализ нагрузок во всевозможных деталях машиностроения. Проектирование детали или устройства машиностроения заключается в учете двух взаимоисключающих критериев: механическая прочность и надежность детали с одной стороны и экономичность используемых материалов с другой. Компьютерное моделирование позволяет задать оптимальную сложную форму детали и посмотреть распределение нагрузок в детали.

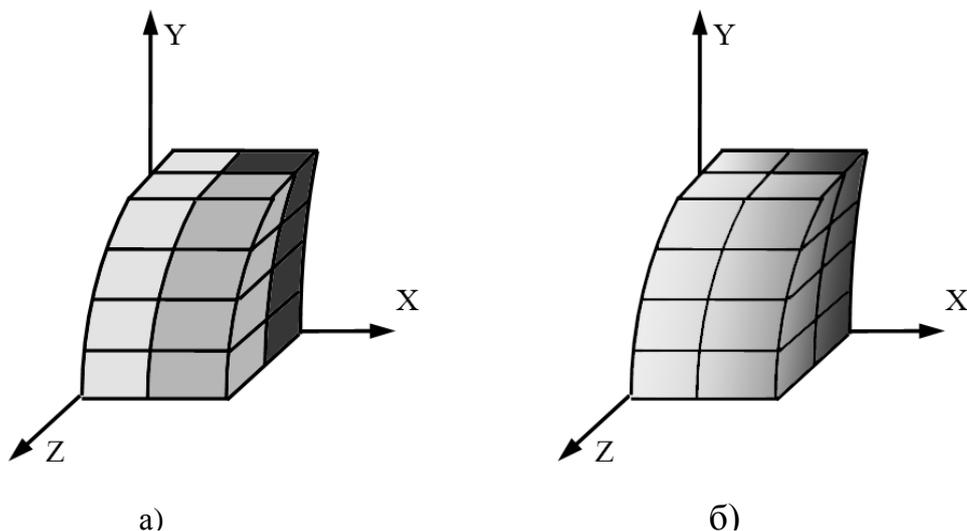
Данный подход позволяет получить результаты быстрее и надежнее, если же данные результаты были получены путем построения материального объекта и проведения долгосрочных экспериментов.

Для приведения результатов моделирования к научному виду, используют графовую модель отчетов. Для каждой модели ее состояния составляют график изменения состояния, который был спроектирован и исследован в модели, затем составляется совокупность всех графиков и исследуются изменения в виде приложенных таблиц [1].

При составлении алгоритма работы программного продукта был поставлен вопрос о методике воспроизведения нагрузок. Вследствие этого были рассмотрены несколько методов отображения фигуры.

Так как количество объектов машиностроения велико, то встала задача о создании единого алгоритма для воспроизведения всех объектов, путем изменения только небольшой его части. Для этого была введена шестимерная система координат и два пространства: машинное и объектное. Первые три координаты имели фиксированный шаг и зависели в арифметической прогрессии, вторая тройка координат имела расчетное значение и была представлена в виде записей [2].

Для того чтобы, распределение нагрузок не представляло собой дискретную область, было введено градиентное распределение цветов между соседними значимыми точками области. Разница между дискретным и градиентным воспроизведением показано на рисунке 1.



**Рис. 1. Сопоставление распределение цветов
в соответствии с различной нагрузкой**

а – дискретное распределение нагрузки; б – градиентное распределение нагрузки

Разработанный программный продукт представляет собой исполняемый файл с расширением exe и приложенные к нему документы и файлы. Для хранения необходимо 55 Мб свободного места на жестком диске. Установка продукта осуществляется обычным копированием с любого носителя информации.

Минимальные требования к аппаратному обеспечению:

- микропроцессор с тактовой частотой не менее 166МГц (рекомендуется процессор с тактовой частотой 2ГГц);
- 55 Мб свободного места на жестком диске;
- 256 Мб оперативной памяти (рекомендуемый объем – 1Гб);
- видеокарта с объемом памяти не менее 64 Мб с совместимым монитором;
- наличие клавиатуры и мыши.

Минимальные требования к программному обеспечению:

- наличие операционной системы Windows 98/XP/Vista/7 (и выше);
- наличие графической библиотеки OpenGL 1.012 и выше.

Код, выполняющий основные функции программы, выполнен в виде отдельных модулей:

- Unit1 – модуль класса главного окна-формы Form1;
- Unit2 – модуль класса формы проверки файлов Form2.

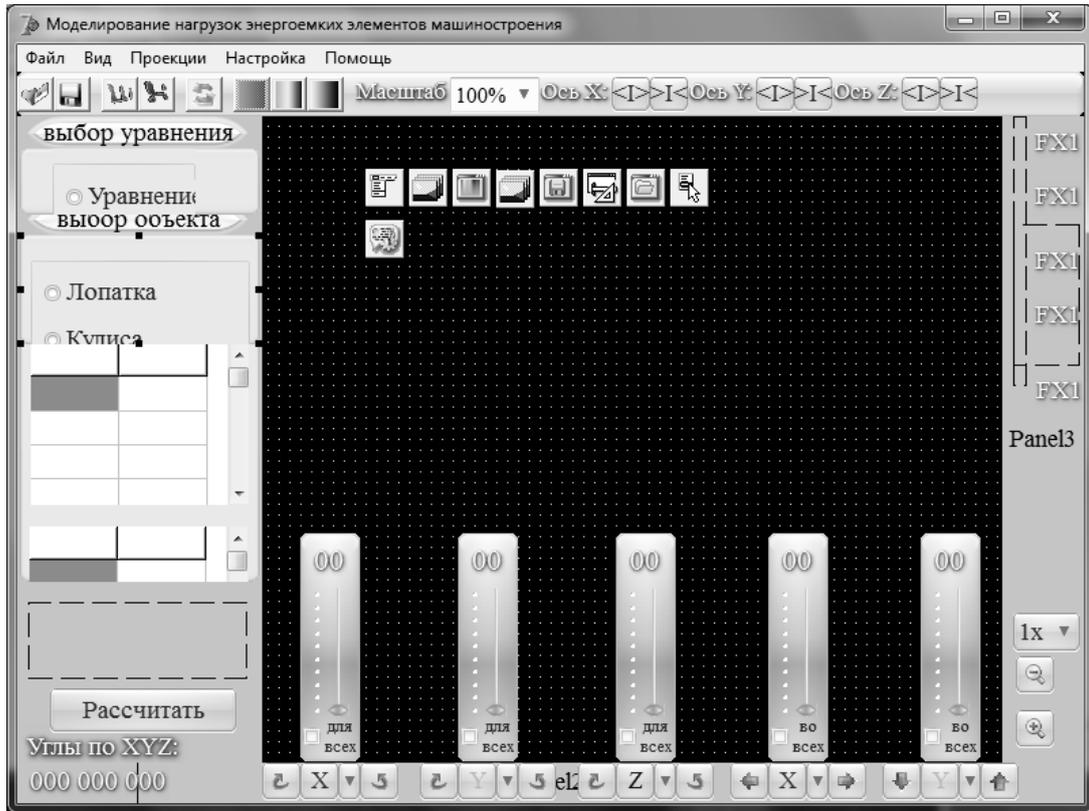


Рис. 2. Главная форма программы

Главная форма программы содержит следующие компоненты:

- Panel1, Panel2, Panel3 – панели, на которых располагаются управляющие компоненты, а именно: кнопки (Button, Speedbutton), списки (StringGrid, Radiogroup), элементы слежения (Label);
- MainMenu1 – главное меню программы, содержащее все управляющие компоненты, и файлы, настройки и другие;
- PopupMenu1 – контекстное меню программы;
- Image1, Image2, Image3 – компоненты для загрузки фонового изображения на панели Panel1, Panel2 и Panel3;
- Toolbar1 – компонент для дублирования элементов главного меню;
- ImageList1, ImageList2 – компоненты, содержащие иконки для элементов главного меню;
- OpenFileDialog1 – компонент для вызова диалога открытия файла в операционной системе;

- SaveDialog1 – компонент для вызова диалога сохранения файла в операционной системе;
- SaveDialog1 – компонент для вызова диалога определения цвета в операционной системе;
- HintManager1 – компонент настройки всплывающих подсказок;
- ActionManager1 – компонент для управления элементами главного меню.

Ниже приведена форма проверки файлов (рисунок 3).

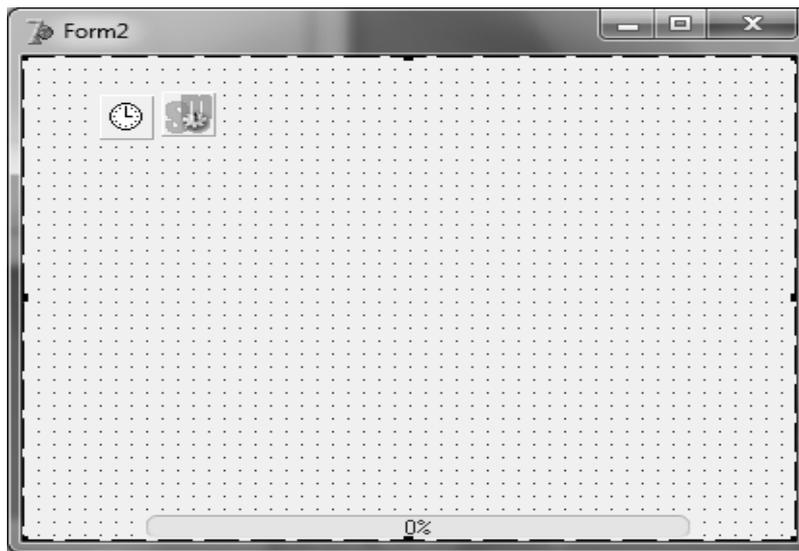


Рис. 3. Форма проверки файлов программы

Данная форма содержит следующие компоненты:

- SkinManager1 – компонент для загрузки «скинов» компонента AlphaSkins, которые меняют графическое оформление всей программы;
- ProgressBar1, Timer1 – компоненты, для визуализации работы программы;
- Image1 – компонент для загрузки фонового изображения.

Ниже приведена блок-схема основного алгоритма программы (рисунок 4) [3].

Рассмотрим процедуру выбора уравнения, выбора детали и построения готового изображения. Для начала приводятся необходимые действия для создания готового изображения. Для этого необходимо выбрать уравнение, по которому будет рассчитываться нагрузка, деталь, на которой будет отображаться данная нагрузка, и задать необходимые значения для воспроизведения. Панели показаны на рисунке 5. Порядок задания уравнения и детали не имеет значения.

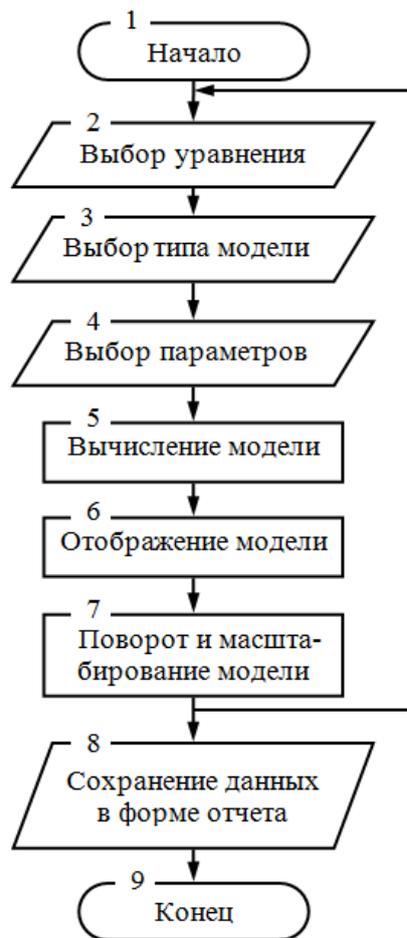


Рис. 4. Блок-схема основного алгоритма программы



Рис. 5. Панели выбора

а – панель выбора уравнения; б – панель выбора объекта; в – панель задания параметров уравнения и модели.

Составим программу расчета для механических нагрузок в точках поверхности лопасти гидротурбины в программе MathCAD 14. При этом зададим пределы интегрирования. Чтобы найти значения механической напряженности на поверхности лопасти, необходимо вместо координаты z в выражении подставить крайний предел интегрирования.

Получена таблица соотношений полученных величин при помощи разработанного программного продукта и программы MathCAD 14.

Причиной полученной погрешности $\varepsilon = 0,1821\%$ является особый способ пространственного вычисления интеграла в разработанном программном продукте и программе MathCAD 14. Вместо аналитического вычисления интеграла, использовались дискретные объемы размером $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ м, и полученное значение механической напряженности в конкретной точке, как интеграл по всему объему пространственной фигуры является приближенным.

Таблица 1

Соотношения полученных величин

Координаты по X, Y, Z, м.	Значение в программном продукте, Н/м ²	Значение в MathCAD 14, Н/м ²	Оценка погрешности, %
2,5; 0; 0,35	955,710	953,971	0,1822
2,643; 0; 0,3267	955,710	953,971	0,1822
2,767; 0,33; 0,29356	955,710	953,972	0,1822
2,9253; 0,167; 0,3433	955,710	953,972	0,1822
2,7817; 0,167; 0,3433	955,710	953,972	0,1822
2,2111; 1,1667; 0,04667	955,712	953,973	0,1824
3,3576; 1; 0,202	955,711	953,973	0,1821
2,8455; 1,5; 0,22867	955,712	953,973	0,1823
3,58521; 0,6667; 0,18489	955,709	953,972	0,1821
3,60597; 1,1667; 0,04667	955,710	953,973	0,1821
4,65; 0; 0	955,704	953,969	0,1818
4,63804; 0,333; 0,16422	955,705	953,970	0,1819
4,1979; 2; 0,16867	955,709	953,972	0,1820
4,40142; 1,5; 0,27467	955,708	953,972	0,1820
3,92078; 2,5; 0,1	955,709	953,972	0,1821

Литература

1. Ковшов Е. Е., Вайсберг А. В., Водяников Д. В. Программно-алгоритмическое обеспечение моделирования. – М.: Издательство «Станкин», 2000. – 370 с.: ил.
2. Баяковский Ю. М., Игнатенко А. В., Фролов А. И. Графическая библиотека OpenGL. Учебно-методическое пособие – М.: Издательский отдел факультета Вычислительной Математики и Кибернетики МГУ им. Ломоносова, 2003. – 132 с.
3. Культин Л. Самоучитель Delphi 7. Программирование на Object Pascal – СПб.: БХВ–Санкт-Петербург, 1999. – 480 с.: ил.

413800, г. Балаково, Саратовская область, ул. Чапаева д. 127 кв. 16, тел. 89033855749, e-mail: skorobogatov@n@mail.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

**ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ
И ДИАГНОСТИКИ**

Афонин В.С. Выбор частотного диапазона для измерения расхода сыпучих материалов с помощью метода на основе явления поляризации	3
Дуда А.В., Афонин В.С. Разработка программно-аппаратного комплекса автоматического измерительного моста, позволяющего учитывать активные потери	6
Еськов А.В., Маецкий А.В. Задачи и методы обработки изображений топливных струй	11
Иванова Т.Г. Снятие осциллограмм токов контактной системы переключающего устройства вне заводских условий	16
Кувшинский Б.Ю., Салимова А.В. Методы диагностики параметрической надежности металлорежущих станков	20
Половинчук Н.Я. Трофименко В.Н. Способ терминального управления маневрирующим летательным аппаратом в атмосфере	22
Руденко Н.В., Лозовский В.В. Устройство оценки технического состояния силовых трансформаторов по остаточному ресурсу	29
Сукиязов А.Г. Непрерывная диагностика асинхронного двигателя с помощью анализа формы потребляемого тока	33
Таран В.Н., Трофименко В.Н., Трофименко Е.Н. Определение параметров движения летательного аппарата по косвенным измерениям на основе функционала Красовского	37

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В НАУКЕ, ПРОИЗВОДСТВЕ, СОЦИАЛЬНЫХ
И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ**

Востриков Е.Ю. Управление сушильной камерой с использованием нейронной сети	43
Довженко И.Г., Кондюрин А.М., Тамазов М.В., Верещака В.В., Тамазова Н.А. Термодинамическое моделирование твердофазовых процессов при обжиге объемно-окрашенного керамического кирпича	45

Елсуков В.С., Лачин В.И. Условия существования скользящего режима во внутреннем контуре регулирования САУ с бинарно-операторными связями	50
Елсуков В.С., Трофименко В.Г. Синтез дискретных алгоритмов управления для САУ с бинарно-операторными связями	53
Скоробогатова Т.Н. Моделирование нагрузок энергоемких элементов машиностроения	57

Научное издание

**Теория, методы и средства измерений, контроля
и диагностики**

Материалы XII Международной научно-практической конференции

**Компьютерные технологии в науке, производстве,
социальных и экономических процессах**

Материалы XII Международной научно-практической конференции

Подписано в печать 30.12.2011 г.

Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 4,12. Тираж 100 экз. Заказ 48-4128

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)
Центр оперативной полиграфии ЮРГТУ (НПИ)

Адрес университета и центра оперативной полиграфии:
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел. 255-303

ООО «ЛИК»

346400, г. Новочеркасск, ул. Красноармейская, 18