

УПРАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКОЙ В ОБЛАСТИ
МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ ЛИНЕАРИЗАЦИИ
ОТОБРАЖЕНИЯ ПУАНКАРЕ

Андриянов А.И., канд. техн. наук, доц.,
Бутарев И.Ю., аспирант

Брянский государственный технический университет

Основной задачей на этапе проектирования импульсных преобразователей постоянного напряжения на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ) является обеспечение управления нелинейной динамикой, которое сводится к стабилизации неустойчивых проектных режимов.

Не менее важной задачей является управление нелинейной динамикой в областях мультистабильности. В этом случае одновременно устойчивы как проектный динамический режим, так и нежелательные режимы (в том числе хаотические), при этом основной задачей является обеспечение работы системы в проектном режиме даже в случае воздействия внешних помех. Для этого необходимо при попадании системы в режим, отличный от проектного, сформировать такое управляющее воздействие в виде возмущения параметра p_y , возвращающее систему в проектный режим (1-цикл). В данном случае, как и в предыдущем, основной проблемой является расчет матрицы обратных связей \mathbf{K} , на основе которой вычисляется требуемое возмущение параметра.

Предположим, что в системе одновременно устойчивы 1-цикл (точка \mathbf{X}^*) и 3-цикл (точки $\mathbf{X}_i^{(3)}$, где $i=1, 2, 3$) (рис. 1). При этом, в начале p -й итерации отображения система находится в точке \mathbf{X}_{p-1} , т.е. в некоторой удаленности от требуемой точки \mathbf{X}^* . Необходимо сформировать такое возмущение вектора параметров \mathbf{U}_{p-1} при котором за один или несколько тактовых интервалов система переместиться в

точку \mathbf{X}_p^* , находящуюся в малой окрестности требуемой неподвижной точки \mathbf{X}^* .

Для расчета корректирующих воздействий в данном случае также используется линеаризация отображения Пуанкаре, при этом линеаризация производится в окрестности точки в пространстве

состояний $\mathbf{X}_{p-1}^{\text{л}} = \left(1 - \frac{c_{\text{л}}}{100} \right) \mathbf{X}_{p-1}$, где $c_{\text{л}}$ – отклонение от точки \mathbf{X}_{p-1} в процентах, и окрестности точки в пространстве параметров \mathbf{P}^* .

Линеаризованное отображение имеет вид

$$\mathbf{Y}_p = \mathbf{M}\mathbf{Y}_{p-1} + \mathbf{C}\mathbf{U}_{p-1},$$

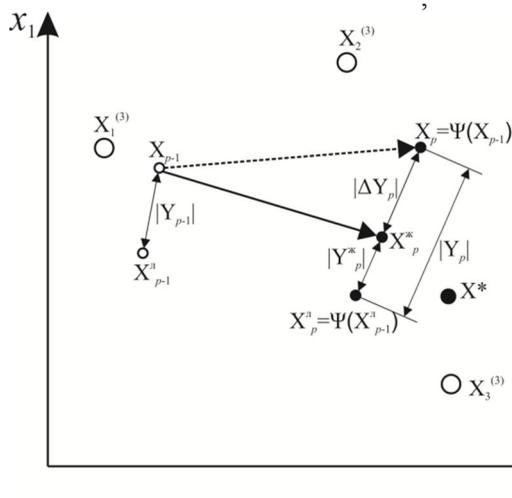


Рисунок 1 – К пояснению перехода от 3-цикла к проективному 1-циклу области мультистабильности

где $\mathbf{U}_{p-1} = \mathbf{P}_{p-1} - \mathbf{P}^*$ – требуемое возмущение параметра. Стоит заметить, что размер вектора \mathbf{U} равен размеру вектора переменных состояния \mathbf{X} .

Матрица \mathbf{M} и матрица \mathbf{C} в (3.6) определяются по выражениям

$$\mathbf{M} = \frac{\partial \Psi(\mathbf{X}_{p-1}^{\text{л}}, \mathbf{P}^*)}{\partial \mathbf{X}_{p-1}}; \quad \mathbf{C} = \frac{\partial \Psi(\mathbf{X}_{p-1}^{\text{л}}, \mathbf{P}^*)}{\partial \mathbf{P}}.$$

Для рассматриваемой ситуации $\mathbf{Y}_{p-1} = \mathbf{X}_{p-1} - \mathbf{X}_{p-1}^n$, а $\mathbf{Y}_p = \Psi(\mathbf{X}_{p-1}, \mathbf{P}^*) - \Psi(\mathbf{X}_{p-1}^n, \mathbf{P}^*)$ (см. рис. 1).

При управлении динамикой в области мультистабильности необходимо сформировать такое управляющее воздействие, при котором система переместится в точку \mathbf{X}_p^* вместо точки \mathbf{X}_p , при этом $\mathbf{Y}_p^* = \mathbf{X}_p^* - \mathbf{X}_p^n$, где \mathbf{X}_p^n – точка в которую отображается \mathbf{X}_{p-1}^n . На рис. 1

отмечены модули векторов $\mathbf{Y}_p, \mathbf{Y}_{p-1}, \mathbf{Y}_p^*$. Как видно из рисунка, точка \mathbf{X}_p^* лежит ближе к точке устойчивого 1-цикла \mathbf{X}^* , чем точка \mathbf{X}_p нескорректированной системы.

На данном этапе определим критерии выбора точки \mathbf{X}_p^* на каждом p -м интервале отображения. Указанная точка рассчитывается по выражению

$$\mathbf{X}_p^* = \mathbf{X}_p + (\mathbf{X}^* - \mathbf{X}_p) \frac{c_k}{100},$$

где c_k – величина коррекции принадлежащая интервалу от 0% до 100%. При практической реализации метода нужно выбирать значение этого коэффициента вблизи нуля, поскольку при больших значениях велика будет величина коррекции, что может привести к ошибкам при использовании линеаризованного отображения Пуанкаре, которое справедливо лишь в малой окрестности точки \mathbf{X}_{p-1}^n .

Находим \mathbf{Y}_p^*

$$\mathbf{Y}_p^* = \mathbf{X}_p^* - \Psi(\mathbf{X}_{p-1}^n, \mathbf{P}^*)$$

Степень коррекции приращения на p -й итерации отображения находится как

$$\Delta \mathbf{Y}_p = \mathbf{Y}_p - \mathbf{Y}_p^*$$

Считаем, что

$$\mathbf{M} - \mathbf{CK} = \mathbf{M} - \Delta \mathbf{M}.$$

Кроме того,

$$\Delta \mathbf{M} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta y_{p1}}{y_{p-1,1}} & 0 \\ 0 & \frac{\Delta y_{p2}}{y_{p-1,2}} \end{bmatrix},$$

где Δy_{pi} – i -я компонента вектора $\Delta \mathbf{Y}_p$; $y_{p-1,i}$ – i -я компонента вектора \mathbf{Y}_{p-1} .

Вектор коэффициентов обратных связей \mathbf{K} можно рассчитать по выражению

$$\mathbf{K} = \mathbf{C}^{-1} \Delta \mathbf{M}.$$

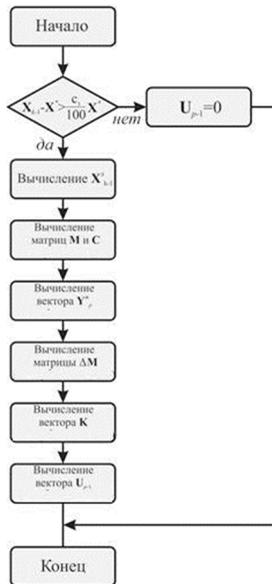


Рисунок 2 – Алгоритм управления нелинейной динамикой в области мультистабильности на основе модифицированного алгоритма линеаризации отображения Пуанкаре на итерации отображения (ограничение по параметру)

Список литературы:

1. Poddar G. Control of chaos in DC-DC converter // Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications. 1998. Vol. 45. № 6. P.672-676.

2. Poddar G., Chakrabarty K., Banerjee S. Control of chaos in the boost converters // Electronics Letters. 1995. Vol. 31. № 11. P. 841-842.
3. Dragan F. Controlling a chaotic behavior of a Current Mode Controlled Boost Converter Using Ott-Grebogy-Yorke Method // IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing. 2006. Vol. 1. P. 156-172.
4. Batlle C., Fossas E., Olivar G. Stabilization of periodic orbits of the buck converter by time-delayed feedback // International Journal of Circuit Theory and Applications. 1999. Vol. 27, № 3. P. 617-631.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-08-31126).

ИНФРАСТРУКТУРА ОБЛАЧНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Батишев Д.С., аспирант

*Белгородский государственный национальный
исследовательский университет*

Михелев В.М., канд. техн. наук, доц.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время информационные технологии все интенсивнее развиваются и все глубже проникают в повседневную жизнь обычных людей. Это касается практически всех аспектов современного быта – за телефон и квартиру можно заплатить в интернете, купить нужные товары так же можно, не отходя от компьютера, появилось понятие «Интернет вещей». Все это стало возможным за счет появления цифровых аналогов привычных в реальности вещей.

Не исключение и медицина. Практически подавляющее большинство сканирующих аппаратов на сегодняшний момент являются цифровыми и предоставляют результаты сканирования в виде файла в определённом формате. Так как это такие же цифровые данные, как и музыкальная композиция или цифровой снимок, выходные файлы могут быть подвергнуты компьютерному анализу и обработке. Для обработки какой-либо информации, ее нужно накопить, придумать возможные схемы или методики ее хранения – это и является целью данной работы. Проблема накопления особенно актуальна из-за большого количества и объема необходимых для хранения данных. Например, рентген-снимок может занимать до 15 Мб для одного пациента, а модель СКТ до 1 Гб. С учетом количества проходящих пациентов, эту проблему можно косвенно классифицировать как Bigdata.

Традиционно, все медицинские снимки какое-то время хранятся в управляющем компьютере рентгеновского аппарата, томографа. Безусловно данный способ прост и доступен всем – жесткие диски растут в объеме и в обычном персональном компьютере можно собрать внушительный массив. Однако этот способ плох тем, что данные находятся в одном месте, а значит, увеличивается риск их потери.

Частично решить проблему аккумуляции данных в одном месте с использованием нескольких компьютеров могут кластерные файловые системы. Вид файловых систем, хранение на которых производится

прозрачно на нескольких узлах с дублированием данных и многопоточной выгрузкой. Это удобно.

Еще удобнее – облачное окружение. Гибкость виртуализированного окружения, масштабируемость и надежность кластерных файловых систем в купе с простотой добавления новых вычислительных узлов – те основополагающие факторы, сыгравшие ключевую роль в выборе технологии для решения поставленной задачи. Так же, с учетом виртуализации, удобно реализовывать единую точку входа для пользователей, когда пул виртуальных машин с бэкенд-приложением физически расположен за парой реверс-прокси узлов – безопасно и просто администрировать. Таким образом, концептуальная модель облачного сервиса представлена на рисунке 1.

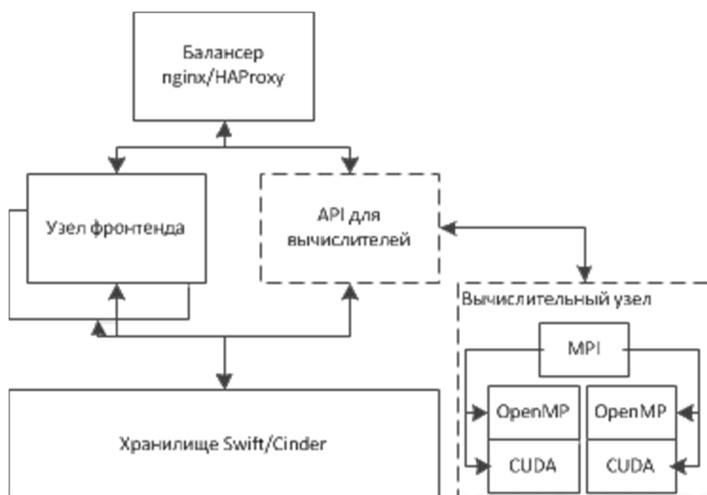


Рисунок 1 – Концептуальная модель облачного сервиса

Программных продуктов для реализации частного облачного окружения много. OpenStack один из самых поддерживаемых, используемых, гибких и развиваемых. Это повлияло на выбор OpenStack в качестве платформы. OpenStack имеет модульную архитектуру, а в силу ограниченности в аппаратных ресурсах на момент реализации прототипа информационной системы, это оказалось весьма удобно. Результатом стало рабочее частное облачное окружение, развернутое на двух физических компьютерах. Один из них играл роль управляющего узла с установленными сервисами хранения образов

виртуальных машин, образов установочных дисков, контроллера сетевых интерфейсов, а так же системной СУБД MySQL и брокера сообщений RabbitMQ, которые используются для взаимодействия всех компонентов между собой. Второй же физический узел был выделен полностью под гипервизор. Данное решение в последствии позволяет буквально в несколько команд добавить узлы-гипервизоры, не трогая при этом управляющий узел. А ведь гипервизор – основа виртуализации в облаках. Реализованная архитектура представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – OpenStack-реализации архитектуры

Итак. Представленная архитектура еще не является законченным облачным сервисом для обработки медицинских данных. Для завершенности не хватает описанного бэкенд-приложения, которое реализует пользовательский интерфейс и диалоги регистрации, загрузки и выгрузки снимков. В рамках данной статьи представляемое приложение так же носит характер прототипа для исследования возможности использования облаков для хранения снимков и предоставления доступа к ним.

Так как OpenStack по большей части написан на языке python, веб-фреймворк для реализации веб-приложения тоже был выбран на этом языке. Предполагается, что в дальнейшем это позволит глубже и проще интегрировать веб-сервис непосредственно с облачным окружением. Django по праву можно считать одним из самых распространённых инструментариев для разработки динамических веб-страниц. Вся разработка строится на основе трех сущностей – модель, представление, шаблон.

Разработанное веб-приложение было запущено на двух веб-серверах с одним фронтенд-балансером, каждый веб-сервер мог получать данные из пула узлов хранения. Подробнее, общая схема представлена на рис. 3.

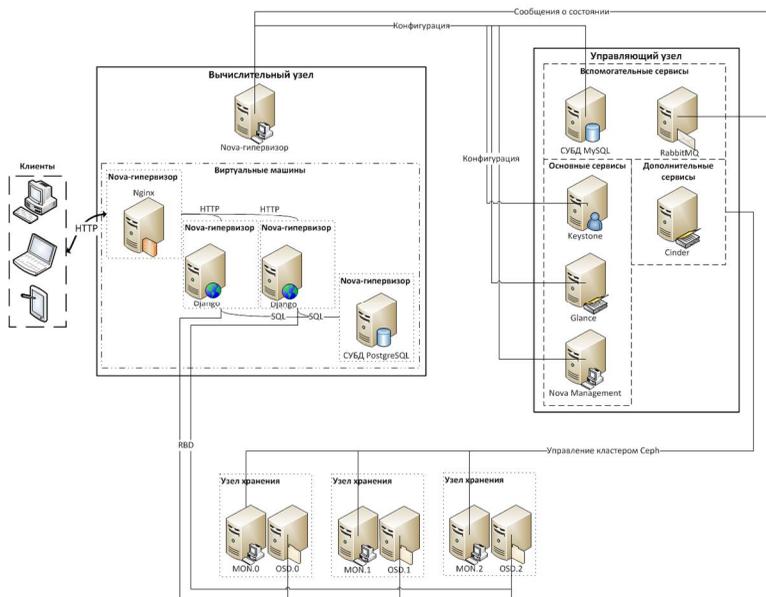


Рисунок 3 – Общая архитектура облачного сервиса

В рамках данной статьи проведено исследование возможности использования частного облачно окружения для решения задачи хранения снимков и предоставления доступа к ним. Результатом является рабочий прототип облачного окружения, системы хранения данных и веб-приложения. Как развитие, можно рассматривать разворачивания наработок на нескольких физических узлах, переход к

более совершенному встроенному объектному хранилищу Swift, реализация и интеграция метода обработки медицинских снимков для достижения конечной цели – анализа медицинских данных.

Список литературы:

1. About Us - Folding@home. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://folding.stanford.edu/home/about-us/> (дата обращения: 17.02.2014)
2. Germain C., Breton V., Clarysse P., Gaudeau Y., Glatard T., Jeannot E., Legre Y., Loomis C., Magin I., Montagnat J., Moureaux J-M., Osorio A., Pennec X., Texier R. Medical Image Analysis on Grids. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/17/42/84/PDF/AGIRJCMCALL.PDF> (дата обращения: 17.02.2014)
3. Foster Ian, Carl Kesselman. The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure Second Edition. MorganKaufmannPublishers. 2004. С. 31-32.
4. Баранник С.В., Головинский А.Л., Демин А.В., Маленко А.Л., Петровский Ю.А. О возможностях параллельной обработки данных в ГРИД-системе хранения медицинских изображений для повышения эффективности диагностики // Электронный сборник трудов второй международной конференции «Кластерные вычисления». Украина, Львов, 3-5 Июня 2013г. 22-25 с.
5. Батищев Д.С., Петров Д.В., Михелев В.М. Использование облачных ресурсов для высокопроизводительных процессорных вычислений // Теория и практика системного анализа: сборник трудов Всерос. молодеж. конф., Белгород, 1-3 октября 2012 г., Белгород: ИД «Белгород», 2012. С. 16-17.

СИСТЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЖЕСТОВ В ТЕКСТОВЫЙ ВИД НА ОСНОВЕ НОСИМОГО УСТРОЙСТВА

**Бережной В.А., студент,
Юдин Д.А., мл. науч. сотр.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время для взаимодействия с компьютером используются, в основном, два вида интерфейса: командный и графический. Оба являются искусственными языками, и как следствие для работы с компьютером пользователь должен овладеть новым для него языком. Порой, использование таких языков в виртуальных средах затруднительно.

Перед разработчиками человеко-машинных интерфейсов ставится сложная задача использования естественных для человека способов общения с компьютерами с помощью жестов, голоса, мимики и других модальностей. Жесты являются особенно перспективными для построения интерфейсов управления программным и аппаратным обеспечением компьютеров, роботов, позволяют расширить возможности интерфейса для людей с дефектами слуха и речи.

В литературе рассматриваются различные методы решения задач распознавания отдельных классов жестов. В частности, достаточно много работ [1,2] посвящены определению статической позы руки, при использовании RGB камеры в качестве сенсора. Но предлагаемые решения либо работают с простейшими одиночными жестами, либо обладают большой вычислительной сложностью, которая не позволяет использовать их в системах реального времени.

Современные методы распознавания жестов строятся на основе как обработки изображений [3] или инфракрасной карты глубин [4], так и на использовании носимых устройств [5,6]. Первый подход уже широко применяется в сфере развлечений и игр, в то время как интерфейс для глухонемых такие системы только начинают тестироваться [7]. Особенно важную роль здесь играют носимые устройства, которые не требуют стационарной установки дорогостоящего оборудования.

Распознавание жеста состоит в установлении сходства модели выполняемого жеста, называемой распознаваемой моделью, с известными заранее сформированными моделями жестов, называемыми эталонными. Основной недостаток существующих моделей, построенных на основе нейронных сетей [8], байесовских сетей [9],

скрытых Марковских моделей – это высокая трудоемкость и вычислительная сложность, требуемая как для формирования моделей, так и для распознавания, что делает практически невозможным их использование в реальном времени для решения задач распознавания динамических жестов. Необходимо разработать модель для распознавания динамических жестов свободную от указанного недостатка.

В настоящей статье рассматривается разработка системы преобразования жестов в текстовый вид (т.е. распознавания жестов) на основе носимого устройства. Распознавание жестов сводится к отслеживанию траекторий движения кисти по осям координат $x(t)$ и $y(t)$, построению на их основе модели жеста $G[x(t), y(t)]$, которая сопоставляется с эталонными моделями $E_i[x(t), y(t)]$ и с помощью некоторой меры сходства $C[G, E_i]$ принимается решение о соответствии её i -му символу. Тем самым происходит преобразование жеста в текстовый вид.

Метод формирования моделей динамических жестов, выполняемых кистью человека, включает два этапа:

1) захват и отслеживание областей интересов $O_b[x(t), y(t)]$, содержащих траектории $x(t)$ и $y(t)$ перемещения кисти во времени t по осям координат;

2) формирование по этим траекториям эталонных $E_i[x(t), y(t)]$ и распознаваемых $G[x(t), y(t)]$ моделей жестов.

При построении распознаваемой модели жест выполняется однократно, а при построении модели эталонного жеста один и тот же жест выполняется многократно. Траектории перемещения каждого повторяемого жеста при этом могут не совпадать. Так, например, если каждая траектория $(x(t), y(t))$ перемещения кисти имеет вид буквы «Z», то при n -кратном повторении жеста будем иметь множество траекторий $(x_j(t), y_j(t)), j = 1, 2, \dots, n$, показанных на рис. 1.

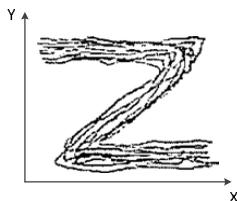


Рисунок 1 – Проекция траектории жеста, повторенного несколько раз

Каждый эталонный жест E (множество траекторий) имеет свои

характерные признаки. Для множества траекторий на рис. 1, имеющих вид буквы «Z», имеется участок траекторий, примерно параллельных оси x и получаемых при перемещении кисти слева направо, затем участок траекторий, получаемых при перемещении кисти сверху вниз примерно под 45° к оси x , и затем опять участок траекторий, параллельных оси x и получаемых при перемещении слева направо. В этом случае целесообразно использовать описание жеста в виде графа [10]. Обобщенно эталонный жест E , имеющий вид буквы «Z», можно представить в виде графа, показанного на рисунке 2.

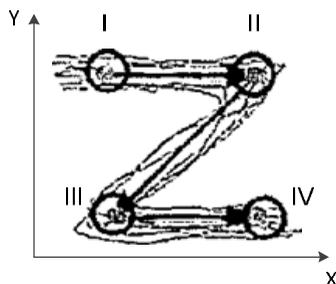


Рисунок 2 – Граф жеста буквы «Z»

Вершина 1 этого графа объединяет множество точек (координат) траектории, принадлежащих началу траекторий, вершины 2 и 3 соответствуют множествам точек перегиба траекторий, вершина 4 объединяет множество точек – концов траекторий, дуги графа указывают на направление движения центра тяжести объекта по траекториям. Этот граф может служить основой для построения эталонной модели жеста.

Первая задача этапа формирования эталонных моделей жестов E_i по траекториям $(x_j(t), y_j(t))$ заключается в алгоритмическом определении точек $(x_j(t_m), y_j(t_m))$ траекторий перемещения в момент времени t_m , которые должны быть отнесены к m -й вершине графа.

Воспользуемся для решения этой задачи следующим известным алгоритмом четкой кластеризации, чаще всего называемым алгоритмом кластеризации С-средних [11].

Множество точек траектории перемещения, относящихся к одной вершине, называются **кластером**. Число измеряемых точек обозначим N . Каждый s -й кластер включает в себя некоторое подмножество векторов значений характерных признаков $p_k = [p_{k1}, p_{k2}, \dots, p_{km}]$, где $k = 1, \dots, N$ – общее число точек, m – количество признаков.

Для рассматриваемой задачи $m = 4$. Признаки каждой k -й точки находятся на основе траекторий $x(t)$ и $y(t)$ в соответствующий ей момент времени t_k .

$$p_{k1} = x(t_k), \quad p_{k2} = \left. \frac{dx(t)}{dt} \right|_{t=t_k}, \quad p_{k3} = y(t_k), \quad p_{k4} = \left. \frac{dy(t)}{dt} \right|_{t=t_k}.$$

В основе алгоритма кластеризации С-средних лежит метод целевой функции. Целевая функция (критерий) создается таким образом, чтобы:

1. минимизировать расстояние между точкой в кластере и центром кластера;
2. максимизировать расстояние между центрами кластеров.

Один из таких критериев известен как сумма квадратичных ошибок внутри класса, использующая евклидовую норму для характеристики расстояния между векторами.

Этот критерий обозначается $J(u, v)$, где u есть разбиение всех точек на кластеры (непересекающиеся подмножества точек, объединение которых совпадает с исходным множеством точек, разбиваемым на кластеры). Параметр v , есть вектор кластерных центров (множество кластерных центров), соответствующих разбиению u .

Формула критерия (целевой функции) будет следующей:

$$J(U, v) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^c u_{ik} d_{ik}^2$$

Здесь d_{ik} —мера евклидоваго в m -мерном пространстве признаков между k -ым m -мерным вектором p_k и i -ым кластерным центром v_i ; вычисляемая по формуле:

$$d_{ik} = |p_k - v_i| = \left[\sum_{k=1}^n (p_{kj} - v_{ij})^2 \right]^{1/2}$$

Координаты кластерных центров $v_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{im}\}$ вычисляются по формуле:

$$v_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N u_{ik} p_{kj}}{\sum_{k=1}^N u_{ik}},$$

где x_{ik} характеристическая функция, а A_i — i -й кластер, $i = 1, 2, \dots, C$:

$$u_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } p_k \in A_i, \\ 0, & \text{если } p_k \notin A_i. \end{cases}$$

Требуется найти оптимальное разбиение u^* на кластеры с центрами v^* , для которого значение функции цели минимально, т.е.

$$J(u^*, v^*) = \min_{u, v} J(u, v) \Big|_{u \in M_c}.$$

где M_c – множество всех различных разбиений на C кластеров.

Один из вариантов алгоритма кластеризации C -средних известен как итеративная оптимизация [1]. Она включает следующие шаги:

1. Зафиксировать число C кластеров ($1 < C < N$) и выбрать начальное разбиение множества точек траекторий на кластеры A_i . Затем выполнять следующие шаги для $r = 0, 1, 2, \dots$

2. Вычислить центры $v_i^{(r)}$ всех кластеров, определяемых разбиением $u^{(r)}$.

Вычислить новые характеристики функции для всех i и k :

$$u_{ik}^{(r+1)} = \begin{cases} 1, & \text{если } k = \arg \min_k d_{ik}^r \Big|_{i=1, \dots, N}, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

3. Построить новое разбиение $u^{(r+1)}$.

4. Если $u^{(r+1)} = u^{(r)}$ то остановить процесс и считать разбиение $u^{(r+1)}$ оптимальным. В противном случае принять $r = r + 1$ и перейти к шагу 2.

Используя этот метод, можно определить, какие точки траекторий перемещения $(x_j(t), y_j(t))$ должны быть отнесены к каждой вершине графов всех динамических жестов, и представить эталонные модели жестов графами, вершинам которых соответствуют кластеры со своими центрами, а дугам – направления траекторий движения (пары инцидентных центров). Пример графа жеста в виде буквы «Z» показан на рис. 3.

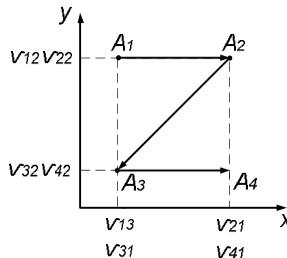


Рисунок 3 – Граф модели эталонного жеста E

Здесь вершинам соответствуют кластеры A_1 , A_2 , A_3 , A_4 . Координаты центров кластеров указаны на осях.

Графы жестов являются первым этапом построения моделей жестов, используемых для работы алгоритма распознавания динамических жестов на основе использования в качестве модели жестов нечеткого конечного автомата.

Список литературы:

1. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Телеком, 2002. 327 с.
2. Алфимцев А.Н. Логико-вероятностный подход к построению Экспертной системы на основе Нейронных и Байесовых сетей // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборостроении и машиностроении: Сб. трудов Всерос. конф. М., 2004. Т. 3. С. 35-37.
3. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика / Пер. с англ. Ю.А. Зуева и В.А. Точенова. М.: Мир, 1992. С. 3-54.
4. Sandberg A. Gesture Recognition using Neural Networks: Master thesis / Stockholm, 2005. С. 12-34.
5. Терехов С.А. Введение в Байесовы сети. Лекции по нейроинформатике. М.: МИФИ, 2003. Т.1. 149 с.
6. Jensen F.V. Bayesian Networks and Decision Graphs // Springer. 2001. С. 27-43.
7. Rett J., Dias J. Gesture Recognition Using a Marionette Model and Dynamic Bayesian Networks // Lecture notes in computer science. 2006. Vol. 4142. P. 69-80.
8. Su J., Zhang H. Full Bayesian Network Classifiers // Proc. of the 23rd internat. conf. on Machine learning.-Pittsburgh, 2005. P. 897-904.
9. Алфимцев А.Н. Выбор алгоритма обучения байесовой сети // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборостроении и машиностроении: Сб. трудов Всерос. конф. М., 2005. Т. 3. С. 234-236.
10. Синюк В.Г., Поляков В.М., Каменев М.В. Оптимизация одного класса нечеткой системы на основе алгоритмов дискретной и непрерывной муравьиной колонии // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 165-169.
11. Вятчинин Д.А. Нечеткие методы автоматической классификации: Монография. Мн.: УП "Технопринт", 2004. 219 с.

ДИСПЕТЧИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Бурдо Г.Б., д-р техн. наук, проф.,
Исаев А.А., инженер**

Тверской государственной технической университет

Под диспетчированием в машиностроении понимается отслеживание хода выполнения технологических процессов с целью приведения сроков их окончания в соответствии с требуемыми, или минимизировать их различие. Подавляющее большинство автоматизированных систем (АС) управления машиностроительными предприятиями мелкосерийного (МСП) и единичного производства (ЕДП) цехового уровня ориентированы лишь на фиксацию хода выполнения дискретных технологических процессов механической обработки (их календарных планов графиков, КПП) за период интервала оперативного планирования (ИОП). При этом их основная функция – выработка управляющего воздействия на производственную систему остается прерогативой диспетчера.

В МСП и ЕДП проблема оперативного управления усугубляется большой номенклатурой заказов, одновременно находящихся в изготовлении, а также в связи с большим числом объективных и субъективных факторов, влияющих на фактические сроки выполнения заказов (необходимость внесения изменений в конструкцию запущенных изделий и технологию их изготовления, поломки оборудования и режущего инструмента, задержки в выполнении части операций и технологий сторонними исполнителями, болезни рабочих, неточности нормирования технологий, брак при обработке, изменение в приоритетности заказов и т.д.). Поэтому, целью работы явилось создание АС, позволяющей вырабатывать рекомендации для цехового управленческого персонала в многономенклатурном производстве.

Модель диспетчирования технологических процессов

Считается что способы диспетчирования технологических процессов (ТПр) эффективны при знании точных временных затрат на технологические операции, и должны учитывать большое число параметров, что не характерно для многономенклатурного мелкосерийного и единичного производства.

Для этих производств в случае, когда: 1) определение и учет параметров диспетчирования затруднен; 2) число рабочих мест в смене не более 35-40; 3) возможна относительная оценка выполнения КПП

мастерами и диспетчерами; 4) мастера и диспетчеры имеют достаточную квалификацию, возможно применение диспетчирования на основе аппарата нечетких множеств [1], [2], [3], [4].

Диспетчирование ведется по каждому типу и(или) группе станков. Объект управления – календарное планы графики выполнения технологических операций механической обработки (КПП). Введем следующие входные лингвистические переменные:

$\{X_I^1\}$ - множество удельных отставаний (-) или опережений (+) КПП по объемам работ по i -му типу станков с начала диспетчирования – *рассогласование по типу станков*;

$\{X_{IJ}^1\}$ - множество удельных отставаний (-) или опережений (+) КПП по объемам работ по j -й группе i -го типа станков с начала диспетчирования – *рассогласование по группе станков*;

$\{X_I^2\}$ - множество средних удельных отставаний (-) или опережений (+) КПП по объемам работ по i -му типу станков за один ИОП – *скорость изменения рассогласования по типу станков*;

$\{X_{IJ}^2\}$ - множество средних удельных отставаний (-) или опережений (+) КПП по объемам работ по j -й группе i -го типа станков за 1-н ИОП – *скорость изменения рассогласования по группе станков*;

$\{X_I^3\}$ - множество изменений удельных отклонений от КПП («-» - увеличение отставания (уменьшение опережения), «+» - уменьшение отставания (увеличение опережения)) по i -му типу станков за текущий ИОП – *удельное изменение по типу станков*;

$\{X_{IJ}^3\}$ - множество изменений удельных отклонений от КПП («-» - увеличение отставания (уменьшение опережения), «+» - уменьшение отставания (увеличение опережения)) по j -й группе i -го типа станков за текущий ИОП – *удельное изменение по группе станков*.

Выходные лингвистические переменные (управляющее воздействие):

$\{Y_I\}$ - множество удельных разгрузок (-) или догрузок (+) по объемам работ по i -му типу станков за следующий ИОП – *скорость изменения объемов работ по типу станков*;

$\{Y_{IJ}\}$ - множество удельных разгрузок (-) или догрузок (+) по объемам работ по j -й группе i -го типа станков за следующий ИОП – *скорость изменения объемов работ по группе станков*.

Значения входных переменных:

$$\begin{aligned} \{X_I^1\} &= \{\Delta P_I / (N_I \times \Phi_I)\}, \{X_{IJ}^1\} = \{\Delta P_{IJ} / (N_{IJ} \times \Phi_{IJ})\}, \\ \{X_I^2\} &= \{X_I^1\} / q, \\ \{X_{IJ}^2\} &= \{X_{IJ}^1\} / q, \\ \{X_I^3\} &= \{(\Delta P_I^{Kq} - \Delta P_I^{Hq}) / (N_I \times \Phi_I)\}, \\ \{X_{IJ}^3\} &= \{(\Delta P_{IJ}^{Kq} - \Delta P_{IJ}^{Hq}) / (N_{IJ} \times \Phi_{IJ})\}, \end{aligned}$$

где $\Delta P_I, \Delta P_{IJ}$ - отставания (-) или опережения (+) КПП по объемам работ в часах по i -му типу и по j -й группе i -го типа станков с начала диспетчирования;

N_I, N_{ij} - среднее число работающих станков i -го типа и j -й группы i -го типа с начала диспетчирования, часов; q -номер текущего ИОП;

Φ_I, Φ_{IJ} - фонд времени работы станка i -го типа и j -й группы с начала диспетчирования, часов;

$\Delta P_I^{Kq}, \Delta P_I^{Hq}$ - отставания (-) или опережения (+) КПП по объемам работ в часах по группе i -го типа станков на конец и начало q -го ИОП;

$\Delta P_{IJ}^{Kq}, \Delta P_{IJ}^{Hq}$ - отставания (-) или опережения (+) КПП по объемам работ в часах по j -й группе i -го типа станков на конец и начало q -го ИОП.

Размерность $\{X_I^1\}, \{X_I^3\}$ и $\{X_{IJ}^1\}, \{X_{IJ}^3\}$ - [1/станок за время диспетчирования], $\{X_I^2\}, \{X_{IJ}^2\}, \{Y_I\}, \{Y_{IJ}\}$ - [1/станок за 1-н ИОП].

Смысл переменных $\{X_I^1\}$ и $\{X_{IJ}^1\}$ - отставание (опережение) в частях от фактического фонда каждого станка i -го типа и j -й группы i -го типа с начала диспетчирования;

$\{X_I^2\}, \{X_{IJ}^2\}$ - отставание (опережение) в частях от фактического фонда каждого станка i -го типа и j -й группы i -го типа с начала диспетчирования, приходящееся на 1-н ИОП;

$\{Y_I\}$ и $\{Y_{IJ}\}$ - множество удельных разгрузок или догрузок каждого станка i -го типа и j -й группы i -го типа в следующем ИОП в частях от фактического фонда за один ИОП.

Входные переменные $X_I^1, X_{IJ}^1, X_I^2, X_{IJ}^2, X_I^3, X_{IJ}^3$ имеют по три термина - NB, ZR, PB , выходные Y_I и Y_{IJ} - по пять: NB, NM, ZR, PM, PB .

Функции принадлежности входных и выходной переменных, полученные на основе экспертных оценок, с учетом особенностей реальной машиностроительной производственной системы приведены на рис.1-3.

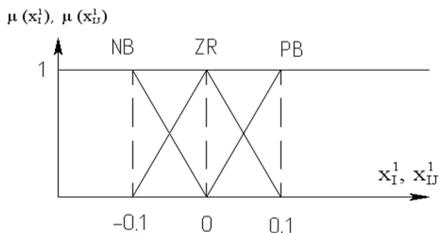


Рисунок 1 – Функции принадлежности μ входных переменных X_I^1 и X_{II}^1

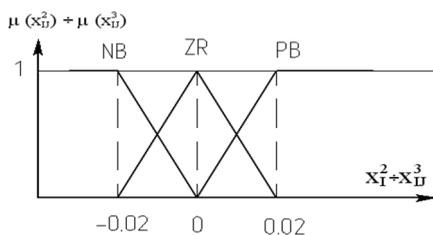


Рисунок 2 – Функции принадлежности μ входных переменных $X_I^2, X_{II}^2, X_I^3, X_{II}^3$

Для условий других предприятий значения функций принадлежности следует уточнять. Управление ведется по входам X_I^1, X_I^2, X_I^3 (выход Y_I) и (или) по входам $X_{II}^1, X_{II}^2, X_{II}^3$ (выход Y_{II}).

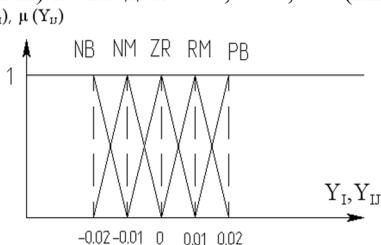


Рисунок 3 – Функции принадлежности μ выходных переменных Y_I и Y_{II}

Алгоритм управления представлен в виде следующих нечетких правил (индексы I, J опущены), обозначения соответствуют приведенным выше.

Выполнение возможных сценариев в производственной системе приводит к ситуациям – опережению либо отставанию сроков выполнения работ по типам и группам металлообрабатывающего оборудования, и к накоплению либо сокращению отставания (опережения), отличающихся лишь знаком. Эти ситуации, сложившиеся в результате выполнения сценариев в производственной системе, и являются подусловиями в базе правил производственной модели.

1. Если $X^1=ZR$ и $X^2=ZR$ и $X^3=ZR$, то $Y=ZR$ или
2. Если $X^1=ZR$ и $X^2=ZR$ и $X^3=NB$, то $Y=PM$ или
3. Если $X^1=ZR$ и $X^2=ZR$ и $X^3=PB$, то $Y=PM$ или
4. Если $X^1=ZR$ и $X^2=PB$ и $X^3=ZR$, то $Y=ZR$ или
5. Если $X^1=ZR$ и $X^2=PB$ и $X^3=PB$, то $Y=ZR$ или
6. Если $X^1=ZR$ и $X^2=PB$ и $X^3=NB$, то $Y=PM$ или
7. Если $X^1=ZR$ и $X^2=NB$ и $X^3=ZR$, то $Y=ZR$ или
8. Если $X^1=ZR$ и $X^2=NB$ и $X^3=PB$, то $Y=ZR$ или
9. Если $X^1=ZR$ и $X^2=NB$ и $X^3=NB$, то $Y=PM$ или
10. Если $X^1=PB$ и $X^2=ZR$ и $X^3=ZR$, то $Y=ZR$ или
11. Если $X^1=PB$ и $X^2=ZR$ и $X^3=NB$, то $Y=PM$ или
12. Если $X^1=PB$ и $X^2=ZR$ и $X^3=PB$, то $Y=ZR$ или
13. Если $X^1=PB$ и $X^2=PB$, то $Y=ZR$ или
14. Если $X^1=NB$ и $X^2=NB$, то $Y=PB$ или
15. Если $X^1=NB$ и $X^2=ZR$ и $X^3=ZR$, то $Y=PB$ или
16. Если $X^1=NB$ и $X^2=ZR$ и $X^3=NB$, то $Y=PB$ или
17. Если $X^1=NB$ и $X^2=ZR$ и $X^3=PB$, то $Y=PM$.

Агрегатирование подусловий остальных правил дает нулевую функцию принадлежности, правила 13 и 14 поглощают по два каждое. Если при управлении одновременно выполняется:

- 1) $\mu(X^1=PB) > 0$ и $\mu(X^2=NB)$ или
- 2) $\mu(X^1=NB) > 0$ и $\mu(X^2=PB) > 0$, то АС должна выдавать сообщение об ошибке во входных параметрах.

Для фазы – логической конъюнкции подусловий применяется правило минимума, для нахождения функций совместной принадлежности – правило нечеткой импликации Мамдани, для дефазификации управляющего воздействия – центроидный метод.

Причины отклонений от КПП выявляются пока неавтоматизированным способом, алгоритмы их распознавания находятся в стадии разработки. Как можно увидеть, входная информация системы может быть задана мастерами или диспетчерами соответствующей квалификации. Система прошла опытную апробацию.

На основе анализа предпринимаемых действий, подсказанных системой и результатов воздействия принципиально возможна корректировка значения управляющего воздействия (оно приблизительно обратно пропорционально срокам введения производственной системы в норму).

Для представленного ниже в статье примера он равнялся 2-м интервалам оперативного планирования, т.е. 2-м неделям, и определялся реальными возможностями по увеличению производственных мощностей по механической обработке.

Пример диспетчирования технологических процессов

Определение управляющего воздействия показано на примере изготовления 4-х заказов на 33 рабочих местах. По результатам диспетчирования за два интервала оперативного планирования были заданы следующие величины входных переменных (рис. 4):

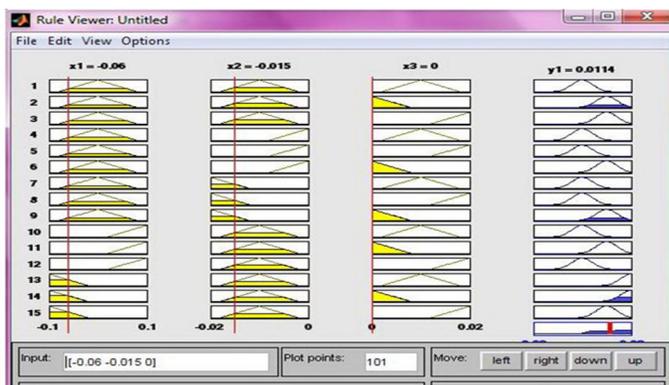


Рисунок 4 – Реализация в среде «Матлаб»

$\{X_I^1\}$: $X_1^1=0,06$; $X_2^1=0,02$; $X_3^1=0,02$ - (3 типа станков: токарные, фрезерные, координатно-расточные);

$\{X_{II}^1\}$: $X_{11}^1=0,04$; $X_{12}^1=0,07$; (2 группы);

$$\begin{aligned}
& X_{21}^1=0,017; X_{22}^1=0,022; \text{ (2 группы);} \\
& \{ X_I^2 \}: X_1^2 = -0,015; X_2^2 = 0,005; X_3^2 = -0,024; \\
& \{ X_{II}^2 \}: X_{11}^2 = -0,016; X_{12}^2 = -0,08; X_{21}^2 = 0,007; X_{22}^2 = 0,004; \\
& \{ X_I^3 \}: X_1^3 = -0,005; X_2^3 = -0,01; X_3^3 = -0,017; \\
& \{ X_{II}^3 \}: X_{11}^3 = -0,005; X_{12}^3 = -0,005; X_{21}^3 = -0,009; X_{22}^3 = -0,012.
\end{aligned}$$

В среде «Матлаб» [5] были получены следующие управляющие воздействия. $\{ Y_I \}$: $Y_1 = 0,0114$; $Y_2 = 0,00485$; $Y_3 = 0,00989$ – множество удельных догрузок по объемам работ по i -му типу станков за следующий ИОП.

$\{ Y_{II} \}$: $Y_{11} = 0,0121$; $Y_{12} = 0,0097$; $Y_{21} = 0,00411$; $Y_{22} = 0,00543$ – множество удельных догрузок по объемам работ poj -й группе i -го типа станков за следующий ИОП – скорость изменения объемов работ (рис. 4).

По результатам отработки управляющих воздействий, в следующем интервале оперативного планирования отставания по данным типам и группам станков уменьшились на величину от 64 до 48%.

Список литературы:

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к понятию приближенных решений. М.: Мир. 1976.
2. Асаи К. и др. Прикладные нечеткие системы / Пер. с япон.; под ред. Тэрано Т., Асаи К. Сугэно М. М.: Мир, 1993. 363 с.
3. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учебное пособие. М.: Финансы и статистика; Инфра-М, 2010. 432 с.
4. Zadeh L.A. Fuzzy probabilities // Information Processing and Management. 1984. V.3. P. 363-372.
5. Дьяков В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB: специальный справочник. СПб.: Питер, 2001. 80 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКОЙ¹

Галкин А.В., канд. техн. наук, доц.,

Жбанов С.А.,

Бирюкова С.М.,

Райкова О.А.

Липецкий государственный технический университет

Современный уровень развития IT-технологий позволяет проводить качественный мониторинг процессов в различных областях экономики. Мониторинг проводится с целью накопления информации для анализа и прогнозирования деятельности. Проблема сейчас состоит не в том, каким образом накопить необходимую информацию о процессе, а в том, каким образом эту информацию проанализировать, то есть идет активный поиск математических моделей и методов анализа, прогнозирования, обработки информации с целью контроля и управления процессами.

Подобная проблема возникает при попытке контроля потребления топлива сельскохозяйственной техникой. С определенной периодичностью в специализированную базу данных автоматически поступает следующая информация с gps/ГЛОНАСС трекеров: идентификатор машины, координаты, время, скорость, уровень топлива. Ставится задача по имеющимся данным определять моменты и объемы сливов и заправок топлива. Особенностями данных является их сильная зашумленность, причинами которой могут быть:

- плеск топлива в баке при начале движения, движении и торможении;
- движение транспорта под наклоном;
- сложная конфигурация баков, допускающая перераспределение топлива внутри бака.

Присутствие шумовой компоненты в анализируемых рядах усложняют задачу определения моментов и объемов сливов и заправок. Непосредственно перед их определением необходимо применять фильтрацию данных, чтобы избавиться от зашумленности. Задача

¹ Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках перечня научно-исследовательских работ базовой части государственного задания, проект № 970

фильтрации состоит в определении реальных трендов изменения уровня топлива и игнорировании случайных колебаний. Изменение трендов можно рассматривать как особые ситуации, происходящие под сильным влиянием внешних факторов. В качестве этих факторов могут выступать сливы или заправки топлива.

Для фильтрации в этой задаче применялись различные алгоритмы сглаживания: метод скользящего среднего, скользящей медианы, экспоненциальное сглаживание, ряды Фурье для аппроксимации [1]. Но наиболее эффективным показ себя фильтр Ходрика-Прескотта [2-4]. Данный фильтр преследует сразу две цели: с одной стороны, сглаженный ряд y_t (тренд или настраиваемая модель) должен быть достаточно близок к исходному ряду x_t , с другой стороны y_t должен изменяться как можно менее резко, то есть быть достаточно гладким.

Элементы сглаженного ряда выбираются таким образом, чтобы минимизировать выражение [2-3]:

$$\sum_{t=1}^T (x_t - y_t)^2 + \lambda \sum_{t=2}^{T-1} (y_{t+1} - 2y_t + y_{t-1})^2 \rightarrow \min$$

где λ – подбираемый экспериментально параметр штрафа, который управляет мерой гладкости ряда y_t . Справедливо заметить, что при $\lambda = 0$ $y_t \equiv x_t$, а при $\lambda = \infty$ $y_t = const$.

В ходе исследования одной из важных задач являлось экспериментальное нахождение зависимости параметра штрафа λ от типа данных. Отталкиваясь от предположения, что параметр λ

подбирается из условия $\sum_{t=1}^T (x_t - y_t)^2 \sim \sigma^2 N$ (σ^2 – дисперсия, N – число слагаемых ряда), был разработан следующий алгоритм его расчёта:

1) строится промежуточное сглаживание исходного ряда x_t с параметром штрафа $\lambda^* = 20\sigma^2$;

2) рассчитывается дисперсия шума по промежуточному сглаживанию D^* и определяется окончательный параметр штрафа

фильтра как $\lambda = \frac{\lambda^* \cdot D^*}{1000}$, при этом λ не должен превышать значения 3 000 000.

На рисунках 1-2 представлены основные типы данных, по которым осуществлялась настройка параметра λ . Более гладкий график на рисунке – это представление сглаженного ряда.

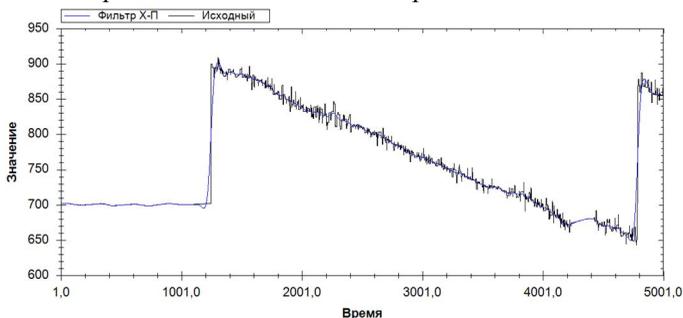


Рисунок 1 – Типичный временной ряд расхода топлива тяжёлой техники (чёрный) и сглаженный ряд (синий) с $\lambda = 100000$

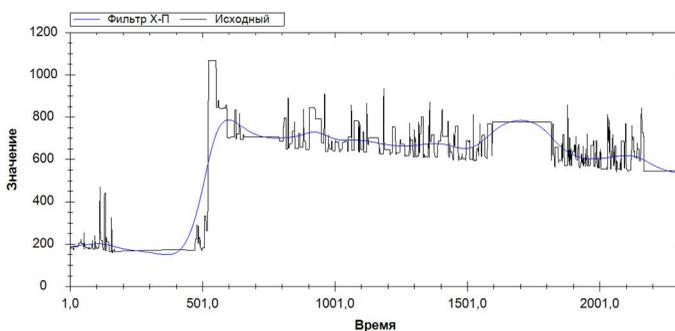


Рисунок 2 – Временной ряд с завышенными показаниями уровня топлива после заправки с $\lambda = 300000$

После фильтрации становится возможным построение наиболее адекватной модели потребления топлива. Разработано два алгоритма для определения объемов и моментов заправок и сливов топлива. Первый алгоритм основан на скорости изменения уровня топлива. Идея определения моментов сливов и заправок состоит в следующем. В эти моменты времени уровень топлива изменяется достаточно быстро, то есть угол наклона прямой, соединяющий соседние точки является острым. Угол наклона прямой характеризуется тангенсом, определяемым как отношение приращения функции (уровня топлива) к

приращению аргумента (времени). В качестве контролирующего параметра используется скорость. Во время движения заправки и сливы происходить не могут. При больших колебаниях уровня топлива по исходным данным этот алгоритм может давать множество ложных участков заправок и сливов. В случае использования сглаженных данных этого удастся избежать. Для сглаженных данных параметр угла наклона (тангенс угла наклона a) принимается равным 0.002. Значение определено опытным путем.

Второй алгоритм основан на оценке изменения уровня топлива. В случае если данные не приходят достаточно длительное время, скорость изменения топлива будет не велика, так как изменение уровня топлива делится на изменение времени. В таких ситуациях описанный выше алгоритм не сработает. Предлагается его модификация, которая не учитывает изменения времени, а считает только изменение уровня топлива в соседних точках. При использовании такого способа определения заправок и сливов на сглаженных данных нельзя контролировать процесс по нулевой скорости, так как на сглаженных данных начало и конец заправок и сливов выходят за их реальные пределы. В предлагаемом алгоритме уточнение истинных интервалов сливов и заправок по нулевой скорости движения транспорта происходит после непосредственно определения всех участков сливов и заправок.

Безусловно, важным параметром для определения объёма заправки (слива) является a – угол наклона сглаженного ряда Y_t . В ходе исследования удалось выяснить, что параметры α и λ прямо пропорциональны, а эмпирически выведенная зависимость для a имеет

$$a = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{D^*}{1000}}, \text{ при ограничениях } \text{tg} 45^\circ \leq a \leq \text{tg} 72^\circ.$$

Проверка адекватности разработанных алгоритмов проводилась путем сравнения полученных результатов объемов заправок с истинными значениями. Ряд таких результатов приведен в таблицах 1-2.

Из таблиц видно, что общий объем заправок, получаемый по разработанному алгоритму, не отклоняется от заявленного более чем на 4%. Отклонение по отдельным дням может составлять до 20%.

Полученные результаты свидетельствуют о корректности работы алгоритма.

Таблица 1 – Результаты применения фильтра Ходрика-Прескотта с разработанным алгоритмом определения параметров α и λ для трактора NewHolland 90-16cy

	Дата и объём заправки, л					Итого
	2.06	3.06	6.06	9.06	12.06	
Заявленный объём	315	321	561	326	215	1738
Рассчитанный по алгоритму	318,7	318,7	555,2	332,8	213,9	1739,3

Таблица 2– Результаты применения фильтра Ходрика-Прескотта с разработанным алгоритмом определения параметров α и λ для трактора Buhler 79-17cy

	Дата и объём заправки, л						Итого
	23.06	24.06	25.06	26.06	27.06	30.06	
Заявленный объём	192	213	221	253	397	250	1526
Рассчитанный по алгоритму	191,3	216,0	222,2	261,7	413,6	245,7	1550,5

Фильтрация исходных данных и применение описанных алгоритмов дают приемлемый результат (точность от 95% и выше) при определении сливов и заправок. Основная сложность заключается в настройке параметров фильтра и алгоритма поиска сливов/заправок. Точность может быть увеличена за счёт индивидуального подбора параметров по каждому классу обслуживаемой техники, а также после включения в расчёты данных акселерометрических измерений.

Список литературы:

1. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование: Учебник. М.: Финансы и статистика, 2001. 228с.
2. R. Hodrick and E. Prescott, Postwar U.S. business cycles: An empirical investigation, J. Money, Credit, and Banking, 29 (1997), pp. 1-16.
3. S.-J. Kim, K. Koh, S. Boyd and D. Gorinevsky, 11 Trend Filtering, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009, Vol. 51, No. 2, pp. 339-360
4. Интернет ресурс, URL[<http://itas2012.iitp.ru/pdf/1569602847.pdf>]

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ²

**Галкин А.В., канд. техн. наук, доц.,
Сараев П.В., д-р техн. наук, доц.**

Липецкий государственный технический университет

Дифференциальные уравнения являются одним из основных способов описания динамических систем. Они играют важную роль при моделировании функционирования различных технических объектов и технологических производных. Не существует универсальных точных методов решения дифференциальных уравнений. Лишь для узкого класса объектов, например, обыкновенных линейных дифференциальных уравнений, можно получить точные аналитические представления решений. В остальных же случаях приходится прибегать к приближенным методам. Существуют как аналитические, так и численные приближенные методы. Среди аналитических стоит выделить методы малого параметра, основанные на разложении решения в ряд по некоторому параметру, определяемому из физических соображений. Для дифференциальных уравнений в частных производных в качестве приближенного аналитического метода можно назвать метод граничных состояний.

Однако на практике наибольшее распространение получили численные методы решения дифференциальных уравнений в силу своей универсальности. Эти методы основаны на представлении непрерывной области аргументов, в которых ищется решение, с помощью дискретной области, задаваемой определенными значениями аргументов. Одними из самых распространенных численных методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений являются пошаговые методы семейства Рунге-Кутты. Наиболее используемыми численными методами решения дифференциальных уравнений в частных производных являются методы конечных разностей и методы конечных элементов.

Математическими моделями многих технических, технологических, экономических и социальных процессов являются

² Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках перечня научно-исследовательских работ базовой части государственного задания, проект № 970

системы дифференциальных уравнений. Поэтому специалистам в предметных областях, реализующих моделирование, часто приходится сталкиваться с задачами решения дифференциальных уравнений. Результаты моделирования могут иметь критические значения при дальнейшем практическом использовании, в частности, при выработке управляющих рекомендаций. При этом само построение математических моделей может нести в себе ряд неточностей, возникающих вследствие упрощения модели за счет отброса влияния некоторых факторов, неточного определения ряда параметров моделей. Все это приводит к ошибкам получаемых результатов моделирования в сравнении с реальными процессами. Еще одной причиной появления ошибок могут являться используемые приближенные методы решения. В общем случае получить точное аналитическое решение дифференциальных уравнений нельзя, поэтому на практике используются приближенные методы: численные или аналитические, приводящие к погрешности результатов. Таким образом, достоверная оценка точности решения является актуальной задачей. Выделяются два основных подхода оценки точности: использование методов интервального анализа и построение двусторонних оценок.

В случае если математические модели объектов или процессов представлены интервальными дифференциальными уравнениями, можно использовать специальные методы их решения [1,2]. Преимущество этих методов заключается в получении достоверных оценок результатов моделирования. Достоверные оценки позволяют специалисту определить не только, как наиболее ожидаемо будет процесс протекать, но и определить область его варьирования. Наиболее удобными для практического использования являются апостериорные методы оценивания решения. Эти методы позволяют получить базовое решение дифференциального уравнения (систем дифференциальных уравнений) с помощью численного метода Рунге-Кутты, например, четвертого порядка точности. Уточнение тоже производится решением дополнительных дифференциальных уравнений (систем дифференциальных уравнений) численным методом Рунге-Кутты такого же порядка точности.

Подробнее рассмотрим метод, основанный на мажорантах Лозинского [1]. Пусть задано дифференциальное уравнение

$$(1) \quad y' = f(x, y),$$

и начальные условия

$$(2) \quad y(x_0) = g.$$

Предположим, известно, что правая часть дифференциального уравнения (1) принадлежит некоторой интервальной функции $f \in \mathbf{f}$, а начальные условия (2) являются интервальными числами $g \in [\underline{g}, \bar{g}]$, заданными своими нижними и верхними границами.

1. Решается уравнение (1) методом Рунге-Кутты четвертого порядка при конкретных значениях параметров на равномерной сетке.

2. По полученным значениям решений в узлах сетки, строятся эрмитовы сплайны третьей степени s . Определяется функция

$$(3) \quad \varphi(x, s) = f(x, s) - \frac{ds}{dx}.$$

3. Строятся и численно решаются два дифференциальных уравнения $\frac{du}{dx} = Wu + I, u(x_0) = 0, \frac{dv}{dx} = Wv, v(x_0) = z$,

где элементы матрицы W определяются следующим образом:

$$W_{ii} = \frac{\partial f_i}{\partial y_i}(x, s) \quad W_{ij} = \left| \frac{\partial f_i}{\partial y_j}(x, s) \right|, \quad i \neq j, \quad z = \frac{\bar{g} - \underline{g}}{2}.$$

Ввод именно таких вспомогательных систем дифференциальных уравнений объясняется следующим. Уравнение $\frac{ds}{dx} = f(x, s) - \varphi(x, s)$, получаемое в соответствии с (3), и исходная система дифференциальных уравнений приводят к следующим уравнениям для оценки погрешности численного решения:

$\frac{d(y-s)}{dx} = f(x, y) - f(x, s) + \varphi(x, s)$, и, с использованием теоремы о среднем [1], получается следующая система

$$\frac{d(y-s)}{dx} = \sum_{j=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial y_j}(x, r_i)(y_j - s_j) + \varphi_i.$$

. В общем виде ее можно переписать

$\frac{d\varepsilon}{dx} = V\varepsilon + \zeta$, для решения которой справедлива следующая оценка

$\varepsilon(t) \geq |y(t) - s(t)|$. Таким образом, аппроксимация численных решений вспомогательных систем дифференциальных уравнений может использоваться для оценки ширины интервала, содержащего истинное решение системы (1).

4. Строятся эрмитовы сплайны $s^{(1)}$ и $s^{(2)}$ для полученных на третьем шаге решений u и v вспомогательных дифференциальных уравнений. Решение системы (1) с интервальными параметрами записывается в виде $y = s + [-I; I]s^{(2)} + as^{(1)}$, где $a = [-a, a]$ – некоторая интервальная константа.

5. На последнем шаге определяется значение константы a . На этом этапе для оценки ширины интервала точного решения системы (1) учитывается интервальный характер функций $f(x, y)$, обусловленный интервальными значениями ряда параметров, входящих в них. Для

этого вводятся интервальные функции $\frac{\partial f}{\partial y}(x, \theta) \in f_y(x, [\underline{\theta}; \bar{\theta}]) = [\underline{f}_y; \bar{f}_y]$ путем интервального расширения. С использованием констант δ определяются величины $r = s + [-I; I]s^{(2)} + [-\delta; \delta]s^{(1)}$. Далее

определяются величины $\tilde{f}_{y,i,j}(t) = \max(|\underline{f}_{y,i,j}(x, r)|, |\bar{f}_{y,i,j}(x, r)|)$,

$$\Phi_i(t) = \max(|\underline{\phi}_i(x, s)|, |\bar{\phi}_i(x, s)|) - ds_i^{(2)}(x)/dt + \sum_{j=1}^m \tilde{f}_{y,i,j}(x)s_i^{(2)}(x)$$

$$\Psi_i(t) = ds_i^{(1)}(x)/dx - \sum_{j=1}^m \tilde{f}_{y,i,j}(x)s_i^{(1)}(x)$$

Значение величины a определяется по формуле $a = \max_{i=1, \dots, m} (\Phi_i(x)/\Psi_i(x), 0)$

Рассмотрим на примере реализацию данного метода для интервальных дифференциальных уравнений. Пусть задано уравнение

$$(4) \quad y' = [1.9; 2.1](2-x)y + [0.009; 0.011]e^{-x^2},$$

и начальное условие

$$(5) \quad y(1) = [9.5; 10.5].$$

Решение данного уравнения рассмотренным методом представлено на рисунке 1.

Пусть задано уравнение

$$(6) \quad y' = [1.9; 2.1](2-x)y + [0.009; 0.011]e^{-x^2},$$

и начальное условие

$$(7) \quad y(I) = [9.5; 10.5].$$

Решение данного уравнения рассмотренным методом представлено на рисунке 2.

В качестве интервального расширения функций использовалось естественное расширение [3], заключающееся в замене обычных операций на интервальные.

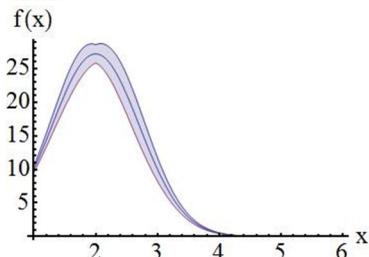


Рисунок 1 – Решение интервального дифференциального уравнения (4)

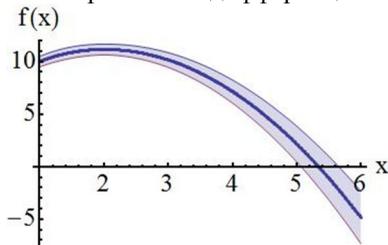


Рисунок 2 – Решение интервального дифференциального уравнения (6)

Отличие решений уравнений (4) и (6) заключается в следующем: в уравнение (4) функция y в правой части входит линейно, что на последнем шаге алгоритма не требует поиска константы δ . Поиск этой константы не имеет формализованного алгоритма и зависит от априорных знаний о решении дифференциального уравнения.

Список литературы:

1. Добравец Б.С. Интервальная математика. Красноярск: Краснояр. гос. ун-т, 2004. 216 с.
2. Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. Новосибирск: Наука, 1986. 222 с.
3. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ. Институт вычислительных технологий СО РАН, 2012. 603 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nsc.ru/interval> (дата обращения 12.12.2012).

ОЦЕНКА ВОЗРАСТА КОНСТРУКЦИОННЫХ СИСТЕМ

Гермашев И.В., д-р техн. наук, проф.
*Волгоградский государственный
социально-педагогический университет*
Силина А.Ю., канд. техн. наук

ООО «Системы управления производственными рисками»

Оценка состояния конструкционных систем (КС) в условиях антропогенной и природной нагрузки является неоднозначной и сложно формализуемой задачей. Здесь можно выделить несколько аспектов.

1. Неясно, что оценивать. Обычное решение – это выбор довольно узких критериев, которые позволяют оценить лишь отдельные свойства КС.

2. Методы и методики измерений, получения показателей связаны с особенностями решаемых задач, и зачастую являются несравнимыми.

3. Результаты измерений часто носят довольно разнородный характер и обобщение такого информационного массива является нетривиальной математической задачей.

Многие из перечисленных проблем удается решить с помощью аппарата нечеткой математики, успешно применяемого нами для решения схожих задач оценки и классификации в других научных областях [1,2].

Получение оценки возраста КС является одним из способов оценки состояния системы, выявления тенденций, идентификации структурных изменений.

Проведем формальную постановку задачи. Пусть для некоторой КС определено m показателей Q_1, \dots, Q_m , по которым необходимо вычислить оценку его возраста. Для завершения процедуры формализации нам необходимо определиться с тем, что мы будем понимать под возрастом КС с математической точки зрения, т.е. построить математическую модель, и в зависимости от этого определиться с параметрическим пространством и формальным представлением исходных данных.

Вычисление возраста связано с оценкой целого комплекса критериев, в котором динамически меняются значения, но такие оценки некорректно сравнивать между собой, поскольку они получены на основе разных видов данных.

Поэтому необходима предварительная обработка исходных данных, которая позволит свести на нет данную проблему. Для этого

предлагается перейти от абсолютных величин к относительным. Кроме того, параметризация информационной модели позволит управлять формализацией исходных данных и тем самым корректировать погрешность модели при ее апробации.

Основная идея состоит в том, чтобы нормировать параметрическое пространство так, чтобы все значения оказались в единичном кубе, т.е.

$$A: Q_1 \times \dots \times Q_m \rightarrow E^m,$$

где A – оператор нормирования, $j = 1, \dots, m$, $E = [0; 1]$.

При определении оператора A надо также иметь ввиду специфику решаемой задачи. Точка на отрезке E показывает как соотносится абсолютное значение с типичными возрастными значениями, причем, чем ближе значение к 1, тем старше система.

Здесь возникает еще одна проблема: далеко не для всех параметров их значения подчиняются монотонно возрастающей зависимости от возраста системы. На данном этапе исследования параметры со сложными зависимостями не рассматривались. Но когда такая зависимость является монотонной или унимодальной функцией, то путем несложных преобразований удалось нормировать данные так, чтобы эта функция стала монотонно возрастающей. Рассмотрим разрешение этих двух ситуаций.

1. Зависимость значений параметра Q от возраста системы является монотонно убывающей функцией.

В этом случае применяется несложное преобразование

$$f: Q \rightarrow Q', \tag{1}$$

где $f(x) = q^* - x$, $q^* = \sup Q$,

в результате которого зависимость значения Q' от возраста системы становится монотонно возрастающей.

2. Зависимость значений Q от возраста системы является унимодальной функцией.

Тогда для некоторых пар разных значений возраста системы получим одно и то же значение Q .

Для зависимости с экстремумом в виде максимума применим следующее преобразование:

$$f(x) = \begin{cases} x, & x \leq a^*, \\ 2q^* - x, & x > a^*, \end{cases}$$

где a^* – возраст, при котором достигается $q^* = \sup Q$. Но как раз решением задачи и является возраст системы, поэтому на данном этапе значение a^* неизвестно. Данную проблему можно преодолеть, если

использовать данные предшествующих измерений параметра Q: если значение возросло, то $x \leq a^*$, если значение уменьшилось, то $x > a^*$.

Аналогично поступаем и в случае, когда точкой экстремума является не максимум, а минимум.

Очевидно, что и в этом случае после преобразования (1) получим, что значения Q' монотонно возрастают в зависимости от возраста системы.

Проделав подобные действия для каждого параметра Q_j , $j = 1, 2, \dots, m$, тем самым получим параметрическое пространство, в котором каждый из параметров находится в монотонно возрастающей зависимости от возраста системы.

Далее из эмпирических данных и мнений экспертов определяются области значений Q'_j типичных для каждого из возрастов КС:

Q'_{yj} – молодой,

Q'_{mj} – зрелый,

Q'_{gj} – стареющий,

Q'_{oj} – старый,

$$Q'_j = \bigcup_{u \in \{y, m, g, o\}} Q'_{uj}$$

таким образом, что

Вычисляя по формуле

$$d_{uj} = \frac{|Q'_{uj}|}{\sum_{i \in \{y, m, g, o\}} |Q'_{ij}|}, \quad u \in \{y, m, g, o\},$$

получим разбиение отрезка $E = [0; 1]$:

$E = [0; d_{yj}] \cup (d_{yj}; d_{yj} + d_{mj}] \cup (d_{yj} + d_{mj}; d_{yj} + d_{mj} + d_{gj}] \cup (d_{yj} + d_{mj} + d_{gj}; 1]$, —
на области значений, соответствующих возрастам молодой, зрелый, стареющий и старый соответственно.

Тем самым завершено нормирование параметрического пространства и описание оператора A. Вычисление значений параметров для конкретных КС в этом нормированном пространстве будет приведено далее.

Решение данной задачи предлагается осуществлять на основе интервальной шкалы возраста КС, исчисляемого в нечетких числах (рис. 1), которые обозначаются через I_A – нечеткий индекс возраста КС, где $I_A: [0; 1] \rightarrow [0; 1]$. На шкале заданы значения I_A : a_y – нечеткое число,

соответствующее молодому возрасту, a_m – зрелому, a_g – стареющему, a_o – старому, a_c – конкретному оцениваемой КС. Такой подход позволяет, во-первых, идентифицировать возраст КС, а во-вторых, получить числовую оценку, которая позволит однозначно определить, какая КС является старше, а какая – младше.

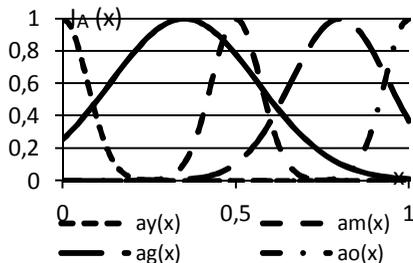


Рисунок 1 – Пример нечетких значений индекса I_A для некоторой абстрактной КС

Чтобы найти значения $a_u(x)$, где $u \in \{y, m, g, o, c\}$, необходимо определить области значений Q_j , типичных для каждого из возрастов КС: Q_{yj} , Q_{mj} , Q_{gj} , Q_{oj} , Q_{cj} – молодого, зрелого, стареющего, старого и оцениваемого соответственно и провести их нормирование так, как описано выше, $j = 1, \dots, m$. Далее критерии Q_{uj} переводятся в нечеткие числа q_{uj} на универсуме $[0; 1]$, аналогично тому, как это описано, например, в [1]:

$$q_{uj}(x) = e^{-\frac{(x-c_{uj})^2}{\sigma_{uj}^2}},$$

$$x \in [0; 1], u \in \{y, m, g, o, c\},$$

$$\sigma_{uj} = \frac{d_{uj}}{2\sqrt{\ln 2}}, u \in \{y, m, g, o\},$$

$$c_{yj} = \frac{d_{yj}}{2}, c_{mj} = \frac{2d_{yj} + d_{mj}}{2},$$

$$c_{gj} = \frac{2d_{yj} + 2d_{mj} + d_{gj}}{2},$$

$$c_{oj} = \frac{2d_{yj} + 2d_{mj} + 2d_{gj} + d_{oj}}{2},$$

$$\sigma_{cj} = \frac{d_{c2j} - d_{clj}}{2\sqrt{\ln 2}}, \quad c_{cj} = \frac{d_{c2j} + d_{clj}}{2},$$

$$d_{clj} = \frac{|Q'_{0cj}|}{|Q'_j|}, \quad d_{c2j} = \frac{|Q'_{0cj}| + |Q'_{cj}|}{|Q'_j|},$$

где Q'_{0cj} – область значений параметра меньших чем в Q'_{cj} , т. е. $\forall x' \in Q'_{0cj}, x'' \in Q'_{cj}: x' < x''$. Следует также отметить, что для нормирования Q_{0cj} и Q_{cj} использованы те же процедуры, что и для Q_j , изложенные выше, в результате чего получены Q'_{0cj} и Q'_{cj} .

Приведенные формулы нормируют функции принадлежности таким образом, чтобы $q_{uj}(x) \geq 0.5$ для всех значений x , соответствующих значениям Q_{uj} .

Вычисления по представленным выше формулам приводят к получению матрицы значений a_{uj} , $u \in \{y, m, g, o, c\}$, $j = 1, 2, \dots, m$, которые показывают возраст по j -тому параметру, т. е. возраст для системы u отражает нечеткий вектор $\bar{a}_u(a_{u1}, \dots, a_{um})$.

Для свертки вектора \bar{a}_u в нечеткое число a_u используем известный принцип взвешенного голосования

$$a_u = \sum_{j=1}^m \alpha_j q_{uj}$$

где $u \in \{y, m, g, o, c\}$, $\alpha_j \in R$ — уровень значимости j -того параметра

$$\sum_{j=1}^m \alpha_j = 1$$

оценки водоема,

Список литературы:

1. Гермашев И.В., Дербишер В.Е., Дербишер Е.В. Принятие решений о выборе ингредиентов полимерных композиций в условиях нечеткой информации // Пластические массы. 2007. №7. С. 24-27.
2. Гудков В.А., Гермашев И.В., Бочкарева М.М., Дербишер В.Е. Определение показателей качества пассажирских перевозок в условиях неопределенности // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Сб. докл. VIII Российской науч.-практич. конф., 29-30 ноября 2007 г. / Оренбург. гос. ун-т, 2007. С. 107-115.

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Карпов Б.Н., д-р техн. наук, проф.,
Симановский А.М., канд. техн. наук**
*Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет*
**Олехнович В.П., канд. техн. наук,
Гуров А.А.**

*Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение
«Центр комплексного благоустройства»*

В соответствии с российским законодательством оценка технического состояния автомобильной дороги является неотъемлемой частью работ по ее содержанию.

Согласно действующей классификации в рамках работ по содержанию должны выполняться работы по обследованию и оценке состояния автомобильных дорог; текущие и периодические осмотры; формирование и ведение банков данных о фактическом состоянии автомобильных дорог.

При создании системы мониторинга автомобильных дорог в Санкт-Петербурге выделены ключевые элементы системы:

- обследование и оценка состояния автомобильных дорог, текущие и периодические осмотры;
- формирование и ведение банков данных о фактическом состоянии автомобильных дорог;
- составление ведомостей дефектов дорог, требующих выполнения дорожных работ;
- учет плановых и аварийных вскрытий;
- работы по информационному обеспечению Заказчика.

Вследствие различных причин состояние автомобильных дорог непрерывно изменяется. Фиксация таких изменений и причин, их вызывающих, формирует значительный объем информации. К моменту начала работ по созданию системы мониторинга унифицированная система учета такой информации отсутствовала, что не позволяло оперировать реальными данными, привязанными в пространстве и времени.

Невозможность получать актуальную информации в любой момент времени и за любой временной промежуток ведет к тому, что:

- невозможно оптимизировать финансирование работ по содержанию;
- формирующиеся сметные расчеты по содержанию дорог не соответствуют фактическому состоянию дорог.

Указанные обстоятельства обусловили актуальность формирования и ведения банков данных о фактическом состоянии автомобильных дорог в данный момент, создания аналитических и программных инструментов обработки, хранения, учета собираемой информации по единым унифицированным требованиям, что и составляет основу разработанной системы мониторинга.

Актуальную текущую информацию в систему вносят зарегистрированные пользователи (технадзор и эксплуатирующие предприятия) в режиме «on-line» посредством интернета в соответствии с разрешёнными правами. Размещённая в системе информация, в том числе визуальная, становится доступной всем участникам процесса, а аналитическая часть такой информации размещается в открытом доступе в сети интернет.

Объективность информации и оперативность ее получения позволяют решать:

- внутренние задачи эксплуатационного предприятия, прежде всего планирование распределения ресурсов предприятия во времени, что позволяет повысить производительность и качество работ, снизить их себестоимость;
- задачи, стоящие перед Комитетом по благоустройству Санкт-Петербурга – уполномоченным Правительством Санкт-Петербурга исполнительным органом государственной власти Санкт-Петербурга, обеспечивающим осуществление дорожной деятельности в части касающейся содержания автомобильных дорог общего пользования регионального значения Санкт-Петербурга.

К этим последним задачам относятся, в том числе оценка годовой потребности в объёмах и денежных средствах на содержание автомобильных дорог, адресное планирование работ по содержанию автомобильных дорог, включая распределение денежных ресурсов с разработкой опорного плана дорожных работ, контроль качества дорожных работ, оценка деятельности эксплуатационных предприятий, а также подготовка предложений по ремонту и капитальному ремонту автомобильных дорог.

Таким образом, систематическое выполнение работ по оценке технического состояния дорог является основой управления и

регулирования процесса содержания автомобильных дорог и исходной базой для эффективного использования средств и материальных ресурсов, направляемых на реконструкцию и ремонты дорожной сети.

На эксплуатацию и ремонт существующей улично-дорожной сети (УДС) направляется почти четверть транспортных расходов бюджета Санкт-Петербурга. В связи с этим важной задачей является обеспечение эффективности эксплуатации и ремонта УДС.

Проблемами в сфере эксплуатации УДС в Санкт-Петербурге являются:

- не проводится инструментальная диагностика состояния дорог;
- отсутствуют электронные базы данных, на основании которых могут выдаваться аналитические отчеты для принятия управленческих решений по эксплуатации дорог и определения приоритетов выделения финансирования;
- используемые методы оценки не могут обеспечить оптимальную эксплуатацию УДС, позволяющую минимизировать общие расходы на эксплуатацию и ремонт УДС при достижении при этом наибольшего эффекта для транспортно-эксплуатационного состояния УДС;
- применение традиционных (объемно-затратных) контрактов часто приводит к перерасходу средств, особенно в отношении текущего обслуживания и ремонта;
- не соблюдаются требования по максимально разрешенной массе перевозимых грузов, что оказывает зачастую превышающую расчетную нагрузку на УДС, приводя к ее преждевременному износу и являясь причиной дополнительных затрат на ее восстановление и поддержание;
- отсутствует надлежащая координация выполнения работ по реконструкции, капитальному ремонту, ремонту объектов УДС и соответствующих работ на подземных инженерных коммуникациях, находящихся в полосе отвода автомобильной дороги или в границах земельных участков, занятых иными объектами.

Для снижения отрицательного эффекта указанных проблем и повышения эффективности управления эксплуатацией и ремонтом существующей УДС разработчиками системы была сформулирована цель: создание системы управления транспортно-эксплуатационным состоянием УДС на основе непрерывного мониторинга ее функционирования, в том числе создание автоматизированной системы учета (автоматизированного банка дорожных данных) с комплексом

характеристик УДС с отслеживанием всех работ, производящихся на УДС.

Первой разработкой системы мониторинга, прошедшей опытно-экспериментальное внедрение, является программа для ЭВМ – «АРЕНА СПб». Данный программный продукт имеет свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности и успешно функционирует в системе содержания автомобильных дорог Санкт-Петербурга в настоящее время.

Логика и бизнес-процессы в программе построены в соответствии с законодательством в сфере осуществления дорожной деятельности, нормативными правовыми актами Санкт-Петербурга, полномочиями участников процесса.

Представленная программа позволяет решать различные задачи, например, связанные со вскрытиями дорог при проведении плановых и аварийных работ на подземных инженерных коммуникациях. Количество вскрытий в год в Санкт-Петербурге исчисляется тысячами. Поэтому задачи унификации учета, обработки, хранения, автоматизации использования информации о вскрытиях также весьма актуальны.

Программа позволяет организовать администрирование полномочий Комитета благоустройства Санкт-Петербурга и его структур, включая подрядчиков и представителей технического надзора. Согласно правилам производства работ «владельцы» дорог обязаны следить за состоянием восстановленного участка и в случае выявления дефектов дорожной одежды сообщать об этом владельцам подземных инженерных коммуникаций для принятия мер по устранению дефектов. Возможности программы обеспечивают:

1. Осуществление учета плановых и аварийных вскрытий, включая обработку, хранение, ведение учета, с использованием различного аналитического инструментария по единым унифицированным требованиям по собираемой информации. При этом возможны выборки по количеству и натуральным показателям вскрытий за любой период, по любому району, по любому подрядчику, по любой инженерной коммуникации, по любому элементу автомобильной дороги (возможность отслеживания жизненного цикла вскрытий).

2. Организация работы по информационному обеспечению посредством электронного документооборота между всеми участниками процесса (Заказчик, Технический надзор и Подрядчик – организация, осуществляющая содержание и техническую эксплуатацию

автомобильных дорог), в том числе при подготовке ответов на обращения заявителей.

3. Подготовка исходных данных для разработки проектной документации для линейных сооружений.

В заключение следует отметить, что система мониторинга автомобильных дорог, основанная на данном программном продукте, может быть адаптирована к работе в любом городе России.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ КРОЮ ДОСОК ЗАДАННОГО РАЗМЕРА

**Коломыцева Е.П., ст. преподаватель,
Стативко Р.У., канд. техн. наук, доц.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Деревообрабатывающая отрасль, основой которой является лесопиление [1], занимает ведущее положение в процессах комплексной переработки лесных ресурсов. Объемы заготовки древесины постоянно растут, производство пиломатериалов увеличивается. Каждое лесопильное предприятие вырабатывает пиломатериалы определенных размеров и качества в тех объемах, которые обеспечиваются соответствующими заказами. Успешное выполнение заданной спецификации пиломатериалов в установленные сроки возможно только при распиловке брёвен по заранее составленному плану. План раскроя пиловочного сырья на пиломатериалы представляет собой перечень сортировочных групп бревен и соответствующих им схем раскроя, обеспечивающих выполнение заданной спецификации пиломатериалов из имеющегося или ожидаемого сырья. От раскроя зависит, какие заготовки и в каком количестве пойдут в дальнейшую обработку. Из одной и той же доски можно получить разное количество заготовок различных размеров и качества. Раскрой необходимо производить только на заготовки нужных размеров, при этом следует стремиться получить их как можно больше и более высокого качества. Получение наибольшего объемного выхода заготовок – главная задача раскроя. Характерной особенностью лесопильного производства является его комплексный характер – в результате соответствующего управления результатом процесса раскроя бревна могут быть сразу несколько видов продукции. Поэтому для каждой отдельной мебельной фабрики для оптимизации раскроя пиловочного сырья необходимо сначала осуществить классификацию деятельности предприятия на основании следующих критериев:

- степени дифференцированности производственной программы предприятия;
- степени определенности информации относительно спроса на продукцию;
- степени влияния покупателей на размерно-качественные свойства продукции (при ее конструировании).

В рыночной среде по вышеприведенным критериям рассматривается предприятие ООО «Мебель – ВиД», которое относится к группе предприятий, производящих дифференцированную продукцию на заказ. Заказчик имеет полное влияние на размерно-качественные характеристики выпускаемой продукции [2]. Производственное планирование на таких предприятиях осуществляется на основе имеющихся спецификаций от заказчика. В данной работе при разработке подходов по построению оптимизационной модели для лесопильной отрасли необходимо учитывать то, что размерно-качественные свойства пиловочного сырья имеют значительное влияние на выход процесса лесопиления [3,4]. Составление плана раскроя на предприятии исходит из следующих ситуаций относительно пиловочного сырья:

- план раскроя базируется на фактической или прогностической информации о цене и возможных объемах закупки пиловочного сырья в течении планового периода в разрезе диаметров и сортов;

- план раскроя базируется на фактической информации относительно имеющихся на предприятии объемах пиловочного сырья в разрезе диаметров и сортов.

Поэтому важным аспектом при построении оптимизационной модели для мебельного предприятия является решение задачи рационального кроя.

Ограничения на поиск оптимального плана раскроя досок должны учитывать: обязательность выполнения спецификации на выпуск определенного количества заготовок разных типоразмеров; ограничение по длине и ширине доски; ограничение по количеству пил на раскройном станке и ограничение по ширине пропила.

Оптимизация использования полученных досок рассматривается в содержательной постановке [5], т. е. в том виде, в котором она сформулирована заказчиком – лицом или группой лиц, непосредственно заинтересованных в ее решении.

На предприятии ООО «Мебель – ВиД» на сегодняшний день не используются методы рационального кроя. Требуются специальные методы, которые позволяли бы контролировать предложенный план кроя и в случае его неоптимальности находить лучший.

Рассмотрим решение задачи рационального кроя на примере раскроя столов для предприятия ООО «Мебель – ВиД» из досок заданного размера на прямоугольные заготовки.

Из существующих методов рационального кроя используем метод размерной последовательности [6,7]. Преобразуем указанный метод

для решения задачи нашего предприятия. Метод должен решать задачу рационального края для досок определенной длины, ширины и толщины.

Согласно разработанному методу, решение задачи раскроя доски на прямоугольные заготовки сводится к следующему. Необходимо из доски размером $H_j \times L_j$ выкроить более мелкие заготовки $h_i \times l_i$ в данном количестве p_i ($i = 1, 2, \dots, n$). При составлении плана раскроя требуется соблюдение следующих условий: первоначально доска кроится на полосы длиной l_i или на полосы шириной h_i , затем каждая полоса кроится на соответствующие заготовки $h_i \times l_i$. Эта процедура проводится и по ширине H_j доски и по длине L_j .

При использовании плана раскроя доски, прежде всего определяют коэффициент раскроя K_p , который характеризуется экономичность раскроя. Этот коэффициент представляет собой отношение площади заготовки к площади доски и рассчитывается по формуле

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \times h_i \times n_i}{S} 100$$

где n_i – число i - заготовок, вырезаемых из одной доски; S – общая площадь доски.

В методе размерной последовательности заготовки сортируются по убыванию их площади от S_{\max} до S_{\min} . Затем производится раскрой заготовок из одной доски и определяется: наиболее выгодное расположение заготовки на доске, необходимое число досок для удовлетворения комплектности и остаточные размеры доски в каждом цикле работы алгоритма. После этого выполняется выбор очередной заготовки для раскладки и производится раскрой остаточных размеров доски, подбирая подходящие заготовки, которые можно получить из этих остаточных размеров, соблюдая комплектность при их раскрое.

Затем подсчитывается коэффициент раскроя доски. Если при раскрое по вышеизложенным правилам отходы будут больше минимально допустимых, то раскрой необходимо повторить по другим типоразмерам заготовок и выбрать рациональный способ раскроя. Из комплекта исключают раскроманные заготовки и переходят к следующим заготовкам. Процедура заканчивается подсчетом общего коэффициента раскроя по всему комплекту заготовок. Определим следующие переменные для обозначения параметров:

$H_j \times L_j$ – размеры (длина и ширина) j -ой доски ($j=1, \dots, m$); Q_j – число досок j -го типа; $h_i \times l_i$ – размеры (длина и ширина) i -й заготовки ($i=1, \dots, n$); p_i – требуемое число заготовок i -го типа.

На предприятие ООО «Мебель – ВиД» поступил заказ на изготовление 50 деревянных столов определенного размера. Решением данной задачи будет определение количества досок, необходимое для изготовления данного заказа с учетом размеров досок, которые имеются на предприятии или в продаже на лесопильном предприятии.

Каждый стол состоит из следующих деталей:

- 1). Крышка: 1.6м длиной и 0.7м шириной – 1 деталь.
- 2). Боковинка 0.7м длиной и 0.5м шириной – 2 детали.
- 3). Распорка: 1.4м длиной и 0.3м шириной – 1 деталь.

Допустим имеется на предприятии или в продаже партия досок длиной 4м, шириной 0.3м и толщиной 0,2 м. Разбиваем детали стола на заготовки согласно заданной ширине доски и получаем размеры заготовок для раскроя одного стола (табл. 1).

Таблица 1–Размеры заготовок для изготовления одного стола

Доска $L_j = 4000\text{мм}$ Ч $H_j = 300\text{мм}$		
i-ая заготовка	$h_i \times l_i$ –размеры (длина и ширина) i-й заготовки	p_i –требуемое число заготовок i-го типа
1 (крышка)	$l_1 = 1600\text{мм}$ $h_1 = 300\text{мм}$	$p_1 = 2$
2 (крышка)	$l_2 = 1600\text{мм}$ $h_2 = 100\text{мм}$	$p_1 = 1$
3 (боковинка)	$l_3 = 700\text{мм}$ $h_3 = 300\text{мм}$	$p_1 = 2$
4 (боковинка)	$l_4 = 700\text{мм}$ $h_4 = 200\text{мм}$	$p_1 = 2$
5 (распорка)	$l_5 = 1400\text{мм}$ $h_5 = 300\text{мм}$	$p_1 = 1$

После использования рассмотренного алгоритма получаем схему раскроя заготовок, приведенную на рис. 1.



Рисунок 1 – Схема раскроя доски на прямоугольные заготовки

Из этого рисунка видно, что для изготовления одного стола предприятию понадобится две доски заданного размера. А для изготовления заказа в 50 столов необходимо 100 досок.

Таким образом, в данной работе рассмотрено решение задачи рационального кроя на примере раскроя столов для предприятия ООО «Мебель – ВиД» из досок на прямоугольные заготовки. Описан метод рационального кроя, основанный на методе размерной последовательности.

Практическая ценность данной работы заключается в адаптации метода рационального кроя досок, определенной длины, ширины и толщины, для конкретного предприятия ООО «Мебель». Также на основе этого метода предприятие может получить рекомендации по приобретению исходного сырья.

Полагаем, что данная работа будет полезна управляющему звену мебельного предприятия.

Список литературы:

1. Тюкина Ю.П., Макарова Н.С. Технология лесопильно-деревообрабатывающего производства. М.: Высш. шк., 1988. 271 с.
2. Бухтияров В.П. Технология производства мебели. М.: Лесная промышленность, 1987. 264 с.
3. Пижурин А.А., Розенблит М.С. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки. М.: Лесная промышленность, 1988. 296с.
4. Пижурин А.А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки. М.: МГУЛ, 2004. 375 с.
5. Пижурин А.А. Современные методы исследований технологических процессов в деревообработке. М.: Лесная промышленность, 1972. 48 с.
6. Мухачева Э.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. Применение АСУ. М.: Машиностроение, 1984. 176с.
7. Бабаев Ф.В. Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ. М: Машиностроение, 1982. 168 с.
8. Brown D. Determining Lumber Traded Series and Monitoring Sawing Accuracy // Forest Products Journal. 1979. Vol. 29. № 4, p. 48-54.
9. King B. NC mill automates, uses thing saws to stay competitive -Logging and Sawmilling Journal, 1985, vol. 16, №10, p. 18-20.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ АВТОНОМНЫХ СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ

**Кривонос В.А., канд. техн. наук, доц.,
Козырь О.Ф.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова
(филиал) Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС»*

Введение

В настоящее время успешное функционирование корпоративных информационных систем (КИС) требует новых подходов к разработке систем автоматизированного управления информационными ресурсами (САУИР), которые отвечали бы потребностям предприятий различных масштабов и разного уровня автоматизации процессов управления. В качестве концептуальной основы САУИР предлагается использовать технологию автономных сценариев (ТАС), обладающую рядом привлекательных для разработчиков информационных систем свойств, таких как доступность, автономность, адаптивность, независимость от программной платформы и др.

В связи с этим основной задачей является создание унифицированного формализованного подхода к разработке автономных сценариев (АС) и реализации системы УИР на их основе.

1. Применение технологии автономных сценариев для управления информационными ресурсами

Особенность технологии управления информационными ресурсами посредством автономных сценариев состоит в следующем. Пользователь при помощи системы управления автономными сценариями (СУАС) может спроектировать, создать и разместить в КИС программные АС, которые берут на себя решение поставленных перед пользователем задач, таких как автономное управление информацией и потоками взаимосвязанных заданий пользователей, интеграция гетерогенных информационных структур и распределенных БД, мониторинг информационных ресурсов и др. При возникновении в информационной системе определенного события, АС выполняет последовательность отдельных команд над файлами, каталогами, дисками и т.п. или активирует работу необходимых приложений, встроенных процедур или других сценариев.

Координацию функционирующих в системе АС может осуществлять как сам пользователь (в случае небольшого их количества), так и автономный сценарий верхнего уровня (AS0). Такой сценарий будет выполнять функции некоторого генератора сценариев (AS1, AS2, AS3, AS4...), передавая управление от одного сценария к другому в соответствии с происходящими в вычислительной системе событиями. Схема системы управления информационными ресурсами представлена на рисунке 1.

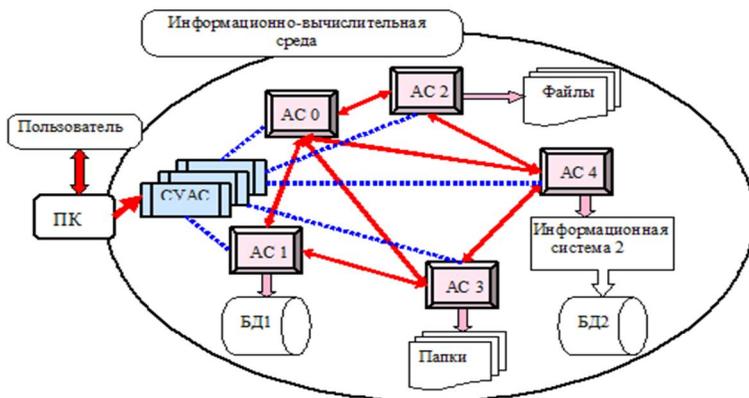


Рисунок 1 – Схема системы управления информационными ресурсами

2. Формализация автономного сценария

Построим модель универсального автономного сценария на основе концепции фреймов. Фрейм выступает в виде типовой оболочки, в которую могут добавляться слоты, связанные с конкретным информационным ресурсом и выполняющие с ним заданное действие. Каждый слот-кортеж имеет уникальное имя и собственное множество состояний. Целесообразно описать слот с помощью набора атрибутов $\{<ID>, <PRI>, <II>, <IO>, <OBG>, <CON>, <ACT>, <FLAG>\}$, где ID – идентификатор слота (ключевой атрибут), PRI – приоритет, значение которого определяется пользователем и используется при определении очередности выполнения сценариев, II и IO – идентификаторы слотов, на которые передается управление при благоприятной и неблагоприятной реакции информационной среды соответственно, OBG – указатель на информационный ресурс, CON – условие выполнения действия, ACT – тип выполняемого действия, $FLAG = \{1,0\}$ – результат выполнения действия над информационным

объектом. Список атрибутов может изменяться в зависимости от характера решаемых в САУИР задач. Математическое описание слота имеет вид:

$$Slot = \langle U, D, dom, r_i, \theta, \Omega \rangle, \quad (1)$$

где U – множество имен атрибутов, D – множество доменов, dom – отображение $U \Rightarrow D$, θ – множество, определяющее начальные условия и признаки выполнения действий в структуре задания, Ω – множество операций над слотами-кортежами, над состояниями кортежей, над значениями типовых атрибутов, при этом $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3\}$, где Ω_1 – операции над слотами-кортежами, Ω_2 – операции над состояниями кортежей, Ω_3 – операции над значениями типовых атрибутов. При этом $\Omega_3 = \{\Omega_{31}, \Omega_{32}\}$, где Ω_{31} – операции над данными одного типа, Ω_{32} – межтиповые операции, r_i – модель-кортеж i -го задания автономного сценария.

Кортеж r_i в модели (1) может быть представлен в виде:

$$r_i = \{ \{R\}_{ij}, \Omega_i, V_i \}, \quad (2)$$

где $\{R\}_{ij}$ – множество состояний кортежа r_i , V_i – множество ограничений целостности, $\Omega_i \subset \Omega$ – множество операций, заданных на $\{R\}_{ij}$.

С учетом (2) логическая модель слота может рассматриваться как двумерный объект, представленный на рисунке 2.

Так как во многих реальных ситуациях автономные сценарии должны решать возложенные на них задачи в условиях априорной

неопределенности, то достижение ими заданной цели возможно лишь на основе применения адаптивного подхода. Анализ наиболее распространенных стратегий адаптивного выбора вариантов [1] позволил сформировать общий подход к созданию модели автономного сценария и его поведения в КИС. Для формализации поведения автономного сценария обосновано применение аппарата конечных автоматов [2,3].

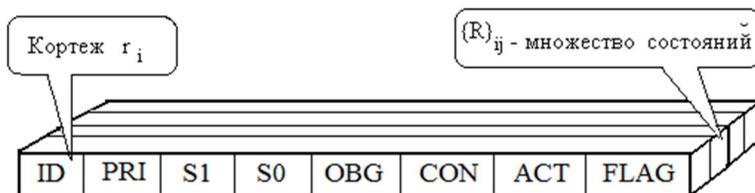


Рисунок 2 – Логическая модель слота

С учетом общей модели поведения конечного автомата, моделей слота-кортежа (1) и (2) представим автономный сценарий в терминах модели бинарного конечного автомата, тогда n слотов r_i соответствуют n типам действий автомата

$$r_i = \left\{ \left\{ R_{ij}, \Omega_i, V_i \right\} \approx f_i (i = \overline{1, n}) \right\}, \quad (3)$$

а каждый слот r_i для i -го действия обладает конечным числом внутренних состояний $\{R\}_{ij}$

$$\{R\}_{ij} \approx \varphi_{ij} (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}) \quad (4)$$

При выполнении условия, заданного форматом атрибута [CON], для объекта [OBG] выполняется встроенная процедура [PROC] или действие, определенное спецификацией [ACT]. На каждое действие среда отвечает сигналом, значение которого $\{1,0\}$ отображается в поле [FLAG]. При успешном завершении задания управление передается слоту с идентификатором [I1], при неуспешном – с идентификатором [I0].

Накопленные в течение определенного периода результаты выполнения заданий, сформулированных в слотах-кортежах, могут

быть использованы для моделирования адаптивного поведения сценариев. Ориентация на реакцию среды, в которой функционирует автономный сценарий, позволяет ему достичь поставленной цели. Конфликтные ситуации между сценариями разрешаются на основе приоритетов, заданных в поле [PRI].

В качестве примера рассмотрим логическую модель автономного сценария (см. рисунок 3), состоящего из трех слотов, каждый из которых имеет по одному состоянию.

Script PRIMER							
ID	PRI	I1	I0	OBG	CON	ACT	FLAG
Slot 1		Slot 1	Slot 2				
Slot 2		Slot 2	Slot 3				
Slot 3		Slot 3	Slot 1				

Рисунок 3 – Пример логической модели автономного сценария

Задание, сформулированное в первом слоте-кортеже, выполняется, пока реакция информационной среды на это действие благоприятная. При изменении реакции среды $1 \rightarrow 0$ управление передается на второй слот-кортеж. Действие, заданное в третьем слоте начнет выполняться, когда результат выполнения второго действия автономного сценария будет отрицательным. При неуспешном выполнении третьего действия сценария управление снова будет передано на первый слот-кортеж.

Заключение

Предложенный подход к построению модели АС позволит легко адаптировать ее для задач управления любой степени сложности и для разного уровня развития и автоматизации КИС. Разработанная технология доступна для автоматизации УИР систем управления любого предприятия.

Список литературы:

1. Назин А.В., Позняк А.С. Адаптивный выбор вариантов: рекуррентные алгоритмы. М.: Наука, 1986. 288 с.
2. Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. М.: "Наука", 1969. 316 с.
3. Варшавский В.И. Коллективное поведение автоматов. М.: "Наука", 1973. 408 с.

РАЗРАБОТКА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОКОМПЬЮТЕРА

**Порхало В.А., канд. техн. наук,
Кныш А.С., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Существует ряд задач, в которых необходимо применение мобильных роботов с автоматическим управлением. К таким задачам можно отнести: автоматизация транспортно-складских операций; выполнение задач в агрессивных для человеческого организма средах (в космосе, в зонах радиоактивного заражения); автоматизация движения транспорта по автомобильным дорогам; применение в военном деле.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением в решении задачи навигации мобильного робота является применение систем технического зрения, в которых основными датчиками являются видеокамеры, лазерные сканирующие дальнометры и инфракрасные датчики. Это обусловлено ростом производительности вычислительных средств, увеличением разрешающей способности данных средств, и появлением стандартизированных библиотек компьютерного зрения, таких как Matlab Image Toolbox, OpenCV и др.

При использовании систем технического зрения, навигации и позиционирования мобильных роботов удобнее использовать искусственные ориентиры, так как они разрабатываются с заданным контрастом, для них заранее известны точные размеры и формы, при этом распознавание производится в условиях изменения освещенности наблюдаемых сцен и воздействие других неблагоприятных факторов.

Был выбран метод навигации по искусственным ориентирам с помощью видеокамеры, поскольку он отвечает следующим требованиям [1,2]: гибкость в изменении маршрута; нетребовательность к качеству напольного покрытия; невысокая стоимость оборудования и простота монтажа, простота в реализации алгоритма по сравнению с методом ориентации по естественным ориентирам. Также следует учитывать, что разработка таких робототехнических средств должна осуществляться с применением принципа живучести [3].

Для проведения экспериментов разработанной системы технического зрения была создана робототехническая платформа на базе конструктора Tetrix (рис. 1). Управление двигателями

осуществляется за счет использования драйвера, представляющего собой двухканальный силовой модуль 2ML-2313 на базе микросхемы L298N. Микросхема L298N представляет собой сдвоенный мостовой драйвер двигателей и предназначена для управления ДПТ(DC) и шаговыми двигателями. Данная микросхема находит очень широкое применение в роботостроительстве. Одна микросхема L298N способна управлять двумя двигателями и обеспечивает максимальную нагрузку до 2А на каждый двигатель, а если задействовать параллельное включение для одного двигателя, то можно поднять максимальный ток до 4А.

Важным элементом в структуре управления платформой является бортовой компьютер Raspberry PI. Благодаря наличию интерфейса GPIO производится управление двигателями через модуль 2ML-2313. Помимо автономной работы системы возможно и ручное управление с компьютера диспетчера, осуществляемое по беспроводному соединению wi-fi.

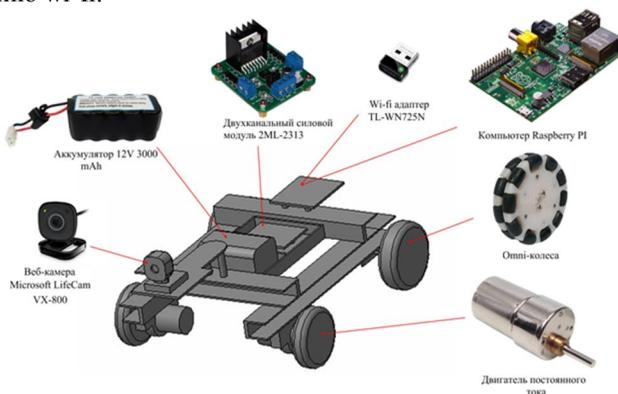


Рисунок 1 – Сопряжение используемых элементов на робототехнической платформе

Управление платформой осуществляется по строго заданому алгоритму: получение изображения с видеокamеры; применение выбранного метода обработки изображения; расчёт отклонения трассы от ориентира робота; отправка управляющего сигнала на драйвер двигателей; запуск двигателей на определенный период.

В разработанной СТЗ используется детектор Кенни для обработки изображения, на котором мы должны распознать траекторию движения робота. Границы отмечаются там, где градиент изображения

приобретает максимальное значение. Они могут иметь различное направление, поэтому алгоритм Кэнни использует четыре фильтра для обнаружения горизонтальных, вертикальных и диагональных ребер в размытом изображении.

Сглаженное изображение затем фильтруют с ядром Гаусса в горизонтальном и вертикальном направлении, чтобы получить первую производную в горизонтальном направлении G_x и вертикальном направлении G_y . Таким образом можно найти градиент кромки G и направление θ (что изображено на рис. 2) для каждого пикселя следующим образом:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}; \quad \theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right).$$

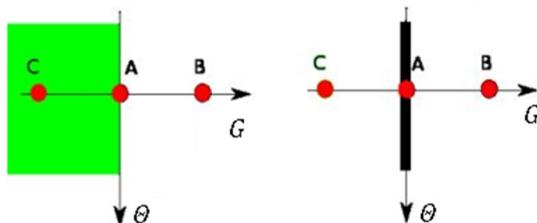


Рисунок 2 – Нахождение градиента и границы на изображении

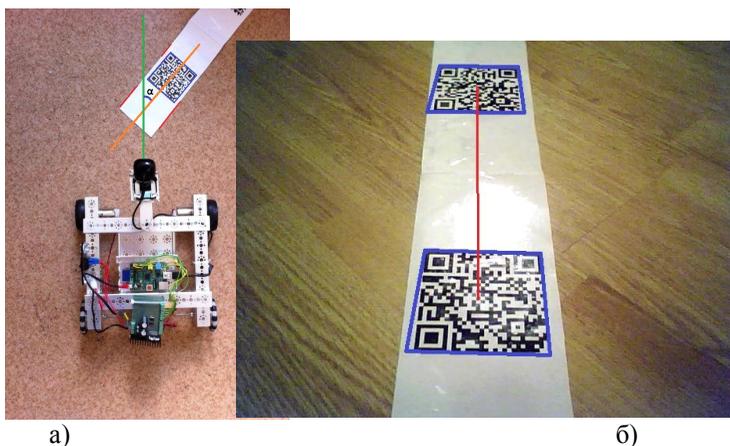


Рисунок 3 – Определение отклонения курса и направления движения:
 а) определение отклонения курса робота от требуемого направления движения; б) распознавание меток и определение траектории движения

Для формирования отклонения от трассы в виде угла α (рис. 3 а), видимую зону камеры перед платформой разбили на участки размером 10×10 . Произвели калибровку камеры относительно полученных точек пересечения этих участков, получив координаты.

Имея координату искомого ориентира производится расчет отклонения от направления ориентира относительно курса робота, после чего подается управляющее воздействие на драйвер двигателей.

В процессе реализации был выбран язык программирования Python [4], с подключением библиотеки OpenCV, благодаря которому удалось реализовать программу с минимальным объёмом программного кода (6КБ), что даёт возможность исключить ЭВМ из системы управления, заменив его на микроконтроллер на базе платы Raspberry PI, куда можно интегрировать разработанное программное обеспечение.

Применение искусственных ориентиров на основе двумерного кодирования, например, в цеховых и складских помещениях, позволит мобильному роботу эффективно и надёжно отслеживать свое положение в пространстве помимо ориентации по границам трассы[5].

В разработанном программном обеспечении для распознавания меток, был использован метод «Homography to find Objects» [6], который производит сканирование изображения и поиск совпадений заданного количества элементов сканируемой метки и оригинального изображения метки. Данный метод показал хорошие результаты по обнаружению меток, что представлено в среде Sublime.

Разработанная система для автоматического ориентирования, позиционирования и навигации робота может быть применена в составе систем управления складскими робокарами, роботами сферы обслуживания и обеспечения безопасности, мобильными роботами, работающими в агрессивных и опасных для здоровья человека средах.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 12-07-97526-р_центр_а «Информационно-вычислительные интеллектуальные системы управления роботизированных транспортных средств для решения логистических задач промышленных и агропромышленных производств», государственного задания Минобрнауки РФ № 01201256918.

Список литературы:

1. Бобровский С.Н. Навигация мобильных роботов. Журн. PC Week., 2004. 63 с.
2. Пинт Э.М., Романенко И.И., Петровнина И.Н., Еличев К.А. Полный алгоритм рационального метода распознавания компьютером

- печатных знаков разных шрифтов и других символов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №1. С. 145-148.
3. Рубанов В.Г. Системный подход к проектированию управляемых мобильных логистических средств, обладающих свойством живучести // Научные ведомости БелГУ. Серия: История, Политология, Экономика, Информатика. 2011. №1 (96). Вып. 17/1. С. 176-187.
 4. Учебник Python 2.6 [Электронный ресурс]/ВИКИУЧЕБНИК- Режим доступа: http://ru.wikibooks.org/wiki/Python_2.6/-22.12.2008 г. – Загл. с экрана.
 5. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курса лекций и практических занятий / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Жетов, А.В. Бондаренко, М.В. Ососков, А.В. Моржин. М.: Физматкнига, 2010. 672с.
 6. Учебник OpenCV[Электронный ресурс]/ Режим доступа:[http://docs.opencv.org/trunk/doc/py_tutorials/py_feature2d/py feature_homography](http://docs.opencv.org/trunk/doc/py_tutorials/py_feature2d/py_feature_homography).

НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Стативко Р.У., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Современный мир представляет собой сложную, тесно взаимосвязанную систему. Поэтому важно иметь надежный инструмент, позволяющий выполнить оценку параметров системы [1].

На сегодняшний день можно говорить о наступлении этапа научного, нечетко-квалиметрического подхода к проблемам науки, образования, техники и технологии. Данный этап, концентрирует внимание не только на вещественно-энергетических, но и на информационно-логических, системно-междисциплинарных аспектах построения и исследования системно-информационной картины мира [2].

При исследовании процессов, выполняющихся в системе, на стыке различных наук часто возникают плохо формализуемые и плохо структурируемые проблемы. Так как в нечеткой квалиметрии тесно переплетены элементы науки и практики, поэтому далеко не всегда обоснование решений таких проблем с использованием строгих формализованных методов и процедур. Допускаются и суждения, основанные на личном опыте и интуиции, необходимо лишь, чтобы это обстоятельство было ясно осознано [3].

При этом центральной процедурой является построение обобщенной модели, отображающей все существенные факторы и взаимосвязи реальной ситуации. Полученная модель исследуется с целью выяснения близости результата применения того или иного из альтернативных вариантов действий к желаемому, сравнительных затрат ресурсов по каждому из вариантов, степени чувствительности модели к различным нежелательным внешним воздействиям и т.д.

Принято различать естественные, искусственные и социотехнические типы моделей [4].

В системах первого типа связи образованы и действуют природным образом. Примерами таких систем могут служить экологические, физические, химические, биологические и т.п. системы.

В системах второго типа элементы и связи образованы в результате человеческой деятельности, т.е. являются выходом сознательно выполняемых человеком процессов. Теория социотехнических систем

даёт возможность понять масштабы и условия, в которые инкорпорирована жизнь современного общества.

Социотехническая система [1] состоит из технической подсистемы и социальной подсистемы (рис. 1.1), которые испытывают воздействие внешней среды, и предназначена для комплексного рассмотрения взаимодействий между человеком и технологиями.



Рис. 1.1. Структура социотехнической системы

Наиболее распространенный пример социотехнической системы это организация. В теории управления под организацией понимается группа лиц, взаимодействующих друг с другом с помощью материальных, экономических, правовых и других условий ради решения стоящих перед ними проблем и достижения общей цели.

Успех организации решающим образом зависит также от сил, внешних по отношению к ней и действующих в глобальном внешнем окружении. Организации вынуждены приспосабливаться к среде, чтобы выжить и сохранить эффективность.

Внешние факторы принято разделять на две большие группы: силы прямого и косвенного воздействия на организацию извне (рис. 1.1-1.2).

Среда прямого воздействия включает факторы, которые непосредственно влияют на деятельность организации. К ним относят поставщиков, акционеров, трудовые ресурсы, законы и учреждения государственного регулирования, профсоюзы, потребителей и конкурентов.

Под средой косвенного воздействия понимают факторы, которые могут не оказывать прямого немедленного воздействия на организацию, но сказываются на ее функционировании. Речь идет о таких факторах, как состояние экономики, научно-технический прогресс,

социокультурные и политические изменения, влияние групповых интересов и существенные для организации события в других странах.

Построение нечеткой модели социотехнической системы часто является единственным доступным способом получения информации о ее поведении. Методы моделирования социотехнических систем зависят от степени информативности поведения системы и ее сложности. При исследовании социотехнических систем, особенно социальных, очень часто не представляется возможным получить достоверную математическую модель из-за большой неопределенности взаимодействий элементов системы. Поэтому в большинстве случаев приходится ограничиваться некоторым статистическим анализом с использованием аппарата математической статистики [7]. Развивающиеся в последнее время методы извлечения знаний из данных позволяют сделать еще один шаг в направлении моделирования социотехнических систем.

Для описания подобных систем можно применить методы нечеткой логики [5-7]. Для этого представим социотехническую систему в виде нечеткой сети, состоящего из элементов, соединенных между собой связями. Среди элементов системы выделяются входные и выходные переменные, между элементами могут присутствовать обратные связи. На рис. 1.4. представлен пример нечеткой модели системы, имеющей 2 входа, один выход и обратную связь, которая изображена пунктирной линией.

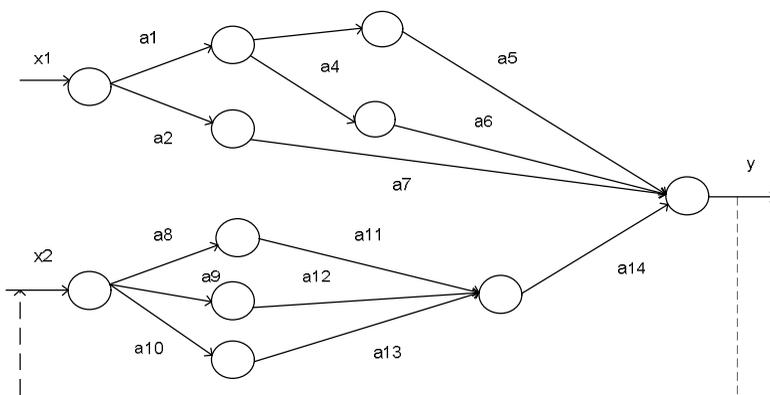


Рис. 1.4. Модель социотехнической системы в виде нечеткой сети

Обозначим через $X = (x_i), i = 1, n$ вектор входных воздействий; $Y = (y_l), l = \overline{1, L}$ результирующий вектор. На приведенной модели x_1 – техническая система для социотехнической организации, x_2 – социальная подсистема. Каждой связи $a_i (i = \overline{1, N})$ между элементами системы ставится в соответствие нечеткое правило $R_i, (i = \overline{1, N})$. Каждому правилу соответствуют функции принадлежности условия и следствия. Правила, содержащие одинаковые следствия и относящиеся к одному и тому же взаимодействию, объединяются в одно с помощью логического суммирования. Количественный результат взаимодействия между элементами определяется на основе нечеткого вывода. Представим нечеткое правило $A \Rightarrow B$ в виде, которое в общем случае записывается в виде:

ЕСЛИ $(x_1 \in A_1)$ И ... $(x_j \in A_j)$ И ... $(x_M \in A_M)$ ТО $(y \in B_i)$.

Для определения результирующего уровня активации применяется оператор логического умножения для отдельных составляющих условия в правиле по формуле 1:

$$\mu^j A(x) = \min_i (\mu_{A_i}(x_i)). \quad (1)$$

Агрегированная по всем правилам функция принадлежности определяется логическим суммированием по формуле 2

$$\mu_B(y) = \max_{j=1, N} (\mu_A^j(x) \mu_B^j(y)), \quad (2)$$

а точечная оценка результата вычисляется формулой 3 относительно центра области:

$$y_c = \frac{\int \mu_B(y) y dy}{\int \mu_B(y) dy}. \quad (3)$$

Функционирование такой системы в направлении от входа к выходу определяется зависимостью $Y = F(U, W)$, где W – параметры, характеризующие систему. При наличии обратной связи в системе функциональная зависимость принимает рекуррентный вид

$Y(t) = F[X(t-1), Y(t-1), W]$, где t – период развития системы.

Построенная нечеткая модель позволяет управлять поведением системы при варьировании величин компонент вектора X .

Рассмотрим пример: влияние на социальную часть управляющего воздействия (рис. 1.5). Элементами социальной подсистемы являются:

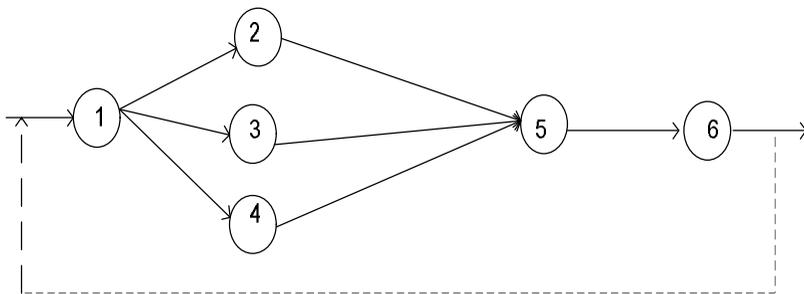


Рис. 1.5. Управление социальной подсистемой

- 1 – управляющее воздействие (входная переменная);
 - 2 – квалификация сотрудников социотехнической системы;
 - 3 – производительность труда сотрудников социотехнической системы;
 - 4 – возраст сотрудников социотехнической системы;
 - 5 – качество выполняемых обязанностей (поручений);
 - 6 – оценка (соответствие требованиям) выполненной работы.
- Связи между элементами представлены в виде правил:
- (1→2)– влияние управляющего воздействия на квалификацию;
 - (1→4)– влияние управляющего воздействия на возраст сотрудников;
 - (1→3)– влияние управляющего воздействия на производительность труда;
 - (2→5)– влияние квалификации на качество;
 - (3→5) – влияние производительность труда на качество;
 - (4→5)– влияние стажа на качество;
 - (5→6)– влияние качество на суммарный результат;
 - (6→1)– влияние суммарного выполнения (обратная связь).

В качестве функции принадлежности правил выберем функцию гауссовского типа, получившей распространение в нечетких сетях [14]. Она описывается формулой 4 и оперирует двумя параметрами: δ и c . Параметр c обозначает центр нечеткого множества, а параметр δ отвечает за крутизну функции.

$$\mu_A(x) = \left[- \left(\frac{x - c}{\delta} \right)^2 \right] \quad (4)$$

В настоящей работе предлагается подход к нечеткому моделированию социотехнических систем на основе нечеткой квалиметрии, которая позволяет учитывать показатели качественной природы, не имеющие точной числовой оценки, что должно существенно повысить уровень адекватности применяемого метода.

Полагаем, данная работа будет полезна руководящему звену организации и менеджерам.

Список литературы:

1. Гайдес М.А. Общая теория систем (системы и системный анализ). Винница: Глобус-пресс, 2005. 201 с.
2. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. М.: Синтег, 2000. 528 с.
3. Проталинский О.М. Применение методов искусственного интеллекта при автоматизации технологических процессов. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. 184с.
4. Пископель А.Д., Щедровицкий Л.П. От системы «человек-машина» к «социотехнической» системе // Вопросы психологии. 1982. № 3.
5. Максимов В.И., Корноушенко Е.К. Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач // Труды ИПУ РАН. М., 1999. Т.2. С. 95-109.
6. Поспелов Д.С. «Серые» и/или «черно-белые» [шкалы] // Прикладная эргономика. Специальный выпуск «Рефлексивные процессы». 1994. №1.
7. Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. М.: Диалог-МГУ, 1998. 116 с.

ИДЕМПОТЕНТНЫЙ ПОДХОД К ГРАФОСТРУКТУРНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕКРЕСТКОВ

Сысоев А.С., канд. техн. наук

Липецкий государственный технический университет

Введение. Актуальность задачи. Задачи моделирования транспортных процессов, управления ими, оптимизации транспортных систем различной структуры представляют особый интерес, особенно в период повышенной транспортной мобильности населения и сложившейся городской застройки. По своему содержанию все задачи этой области можно разделить на два больших класса (по типу исследуемого объекта) – это могут быть задачи моделирования (с целью оптимизации и управления) отдельным перекрестком или управление целой сетью связанных перекрестков [1]. Работа направлена на решение задачи первой группы.

Идемпотентная алгебра представляет собой область современной прикладной математики, связанную с изучением идемпотентных полуколец с операцией сложения [2]. Несмотря на то, что идемпотентная алгебра является сравнительно молодой областью прикладных исследований, она уже нашла широкое применение в различных областях экономики, техники, управления, оптимизации и многих других [2-4].

Цель работы – на основе графоструктурного идемпотентного подхода к моделированию построить аналитическое описание функционирования светофорных объектов для пешеходного регулирования, а также описать регулируемый транспортный перекресток.

Основы идемпотентной математики. Основным преимуществом идемпотентного подхода является возможность представления ряда нелинейных в обычном смысле задач их линейными в идемпотентном смысле аналогами, что приводит к упрощению их анализа, решения, интерпретации полученных результатов, а также программной реализации.

Определим $\varepsilon = -\infty$, $e = 0$ и $\mathbf{R}_{\max} = \mathbf{R} \cup \{\varepsilon\}$. Для $a, b \in \mathbf{R}_{\max}$ определим следующие бинарные операции:

1) сложение $a \oplus b = \max\{a, b\}$, 2) умножение $a \otimes b = a + b$.

Множество \mathbf{R}_{\max} вместе с определенными операциями сложения и умножения называют $(\max,+)$ -алгеброй и обозначают $R_{\max} = (\mathbf{R}_{\max}, \oplus, \otimes, \varepsilon, e)$.

$(\max,+)$ -алгебра обладает набором свойств: дистрибутивность умножения \otimes относительно сложения \oplus ; ассоциативность; коммутативность; существование нейтрального (нулевого) элемента; существование единичного элемента; закон поглощения для умножения \otimes ; идемпотентность сложения \oplus .

Полукольцом называют непустое множество \mathbb{R} с двумя бинарными операциями \oplus и \otimes , такое что:

- 1) операция \oplus ассоциативна и коммутирует с нейтральным элементом ε ;
- 2) операция \otimes ассоциативна, дистрибутивна относительно операции \oplus и имеет единичный элемент e ;
- 3) выполняется закон поглощения для операции \otimes .

Полукольцо $R = (\mathbf{R}, \oplus, \otimes, \varepsilon, e)$ с идемпотентной операцией \oplus называется идемпотентным полукольцом. Аналогично полукольцо $R = (\mathbf{R}, \oplus, \otimes, \varepsilon, e)$ с коммутативной операцией \otimes называется коммутативным полукольцом.

Умножение в обычном смысле в идемпотентном полукольце представляется следующим образом: $a \cdot b = a^{\otimes b} = a^b$.

Идемпотентное полукольцо вещественных матриц вводится обычным путём. Для любых двух матриц $A = (a_{ij})$ и $B = (b_{ij})$ размера $l \times n$ для операции \oplus и, соответственно, $l \times n$ и $n \times m$ для операции \otimes , выполнение рассматриваемых операций осуществляется по формулам:

$$\{A \oplus B\}_{ij} = a_{ij} \oplus b_{ij}, \quad \{A \otimes B\}_{ij} = \bigoplus_{k=1}^n a_{ik} \otimes b_{kj}.$$

Светофорное регулирование пешеходного перехода. Обозначим через T время цикла светофорного регулирования, которое складывается из времени горения разрешающего (зеленого) относительно автомобилей сигнала g (green) и запрещающего (красного) сигнала r (red): $T = g + r$. Время прибытия заявки (автомобиля) с номером k в систему (arrival) – $a(k)$ – случайная величина, подчиняющаяся одному из законов распределения (наибольшее распространение на сегодняшний момент получили

распределение Пуассона, нормальное распределение, распределение Эрланга). Время окончания обслуживания k -ой заявки (departure) обозначим через $d(k)$.

Рассмотрим процесс прибытия транспортных средств к «стоп-линии» (Stop). Если водитель автомобиля при подъезде к объекту регулирования (светофору) со стороны направления j видит, что включен разрешающий сигнал, то он минует светофор не останавливаясь. Если же включен запрещающий сигнал – автомобиль становится в очередь на обслуживание (рис. 1).



Рисунок 1 – Графическая модель очереди обслуживания

На рис. 2 представлена схема функционирования светофорного объекта с жестким программным регулированием – чередующаяся последовательность красного и зеленого сигналов. Промежуточный (желтый) сигнал отдельно не рассматривается, т.к. он может быть присоединен, например, в равных долях, к запрещающему и разрешающему.

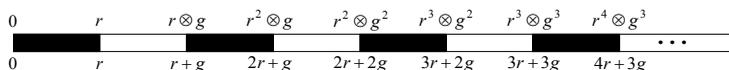


Рисунок 2 – Программа светофорного регулирования

Если автомобиль прибывает в «красный» момент, т.е. момент времени $\left[r^P \otimes g^P ; r^{P+1} \otimes g^P \right]$, то он становится в очередь и ожидает своего обслуживания.

Таким образом, время окончания обслуживания, исходя из различных ситуаций, может быть найдено как:

1) если проезд свободен и включен разрешающий сигнал, то время окончания обслуживания равно времени прибытия автомобиля к светофору: $d(k) = a(k)$;

2) если проезд свободен и включен запрещающий сигнал, то время окончания обслуживания равно сумме P разрешающих сигналов и $P+1$ запрещающего $d(k) = pg + (p+1)r$;

3) если проезд занят и включен запрещающий сигнал, то заявка с номером k будет обслужена сразу после завершения обслуживания заявки с номером $k-1$ (с учетом случайного времени $\xi(k)$): $d(k) = d(k-1) + \xi(k)$.

$$\text{Значит, } d(k) = \max\{a(k), pg + (p+1)r, d(k-1) + \xi(k)\}. \quad (1)$$

Используя идемпотентный подход к моделированию систем массового обслуживания, перепишем (1) в следующем виде:

$$d(k) = a(k) \oplus r^{P+1} \otimes g^P \oplus d(k-1) \otimes \xi(k). \quad (2)$$

Выражение (2) характеризует динамику функционирования одного из узлов (направлений) перекрестка с жестким программным регулированием [5].

Транспортный перекресток с жестким программным регулированием. В задаче моделирования такого процесса целесообразно рассматривать движение транспортных средств по рядам направлений.

Регулируемый перекресток является изолированным, если процесс его функционирования и режим работы светофорной сигнализации не зависят от работы светофорной сигнализации на смежных перекрестках.

Пофазный разъезд транспортных средств обеспечивает разделение конфликтующих потоков по времени. Число фаз, а, следовательно, и выделенных групп транспортный и пешеходных потоков в соответствующих фазах зависит от характера конфликтных точек на перекрестке и интенсивности движения в каждом направлении [1].

Пусть перекресток представляет собой n направлений движения и цикл светофорного регулирования включает в себя m фаз.

Ассоциируем с описываемой системой гиперграф (V, E) , такой, что множество вершин $V = \{v_1, \dots, v_n\}$, и его мощность совпадает с числом обслуживаемых устройств n . Множество гиперребер E показывает структуру фаз функционирования системы.

Матрица инцидентности C гиперграфа (V, E) , построенная над идемпотентным полукольцом R , имеет следующую структуру

$$\|c\|_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если направление } j \text{ активно в фазе } i, \\ \varepsilon, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Обозначим: $A(k) = (a_1(k), \dots, a_n(k))^T$ – вектор моментов прибытия заявок в систему, $D(k) = (d_1(k), \dots, d_n(k))^T$ – вектор моментов выхода обслуженных заявок, $W(k) = (w_1(k), \dots, w_n(k))^T$ – вектор неслучайных моментов ожидания заявками обслуживания, $\Xi(k) = (\xi_1(k), \dots, \xi_n(k))^T$ – вектор случайных моментов ожидания заявками обслуживания.

Тогда рассматриваемую систему можно аналитически представить с помощью следующего выражения:

$$D(k) = A(k) \oplus W(k) \oplus (D^r(k-1) \otimes \Xi(k))^T, \quad (3)$$

где $w_l(k) = \bigotimes_{i=cur}^{c_{ij} \neq \varepsilon} \bar{c}_{ij}^{g_i}$, \bar{c}_{ij} – инверсный к c_{ij} элемент, cur – переменная счетчик, хранящая информацию о числе фаз, прошедших с начала функционирования цикла системы, $l, j = 1, \dots, n$.

Выражение (3) показывает динамику цикла функционирования многоканальной системы массового обслуживания переменной структуры и может быть использовано для имитации работы регулируемого перекрестка.

Численный пример. В качестве объекта исследования взят регулируемый перекресток на пересечении *пр. Победы и ул. Механизаторов*. Пересечение находится в центральной части города Липецк. Проспект Победы и улица Механизаторов являются магистральными дорогами общегородского значения, обеспечивают транспортную связь в пределах планировочных районов, общественными центрами города, а также магистральными улицами в одном уровне.

Особенностью перекрестка является то, что в утренние и дневные часы основной поток транспорта движется по проспекту Победы, а к вечеру интенсивность увеличивается при выезде со стороны улицы Механизаторов.

На пересечение проспекта Победы и улицы Механизаторов введено жесткое программное светофорное регулирование, представляющее собой четырехфазный цикл работы системы светофоров. Схема организации движения транспортных потоков, схемы пофазного

разъезда транспортных средств на перекрестке пр. Победы и ул. Механизаторов приведены на рис. 3.

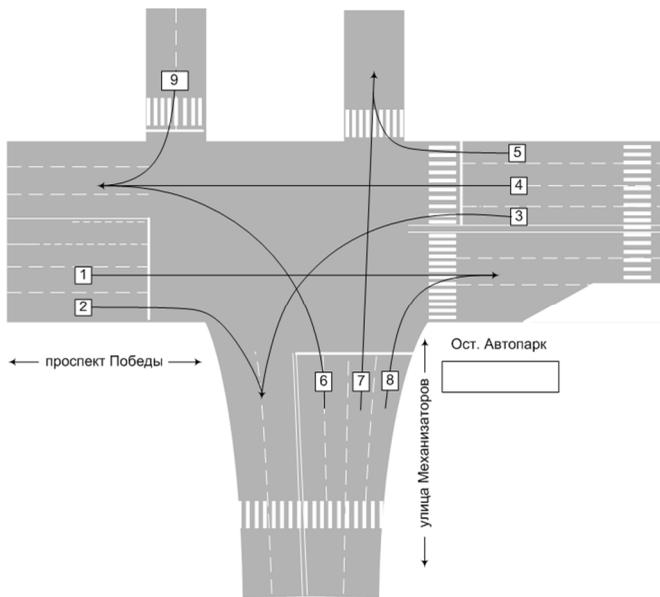


Рисунок 3 – Организация движения транспортных потоков на пересечении проспекта Победы и ул. Механизаторов

В гиперграфе (V, E) , соответствующем второму перекрестку, множество вершин

$$V = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{11}, v_{12}\},$$

множество гиперребер

$$E = \{\{v_2, v_3, v_8, v_9\}, \{v_7, v_{12}\}, \{v_6, v_9, v_{12}\}, \{v_3, v_4, v_5\}\}.$$

Матрица инцидентности гиперграфа имеет следующий вид:

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 1 & 1 & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 1 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 1 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 1 & \varepsilon & \varepsilon & 1 & \varepsilon & 1 \\ \varepsilon & 1 & 1 & 1 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \end{pmatrix}.$$

Длительности фаз $g_1 = 38$, $g_2 = 16$, $g_3 = 8$, $g_4 = 23$.

Согласно уравнению (3), построим выражение, моделирующее рассматриваемую систему.

Разработанное на основе описанного подхода программное обеспечение для имитационного моделирования дало следующие результаты.

Задержка в критической группе первой фазы составила 212,2 с., в критической группе второй фазы – 54,75 с., в критической группе третьей фазы – 14,97 с., в критической группе четвертой фазы 647,52 с.

Заключение. Предлагаемый подход к моделированию транспортных пересечений имеет ряд преимуществ перед использованием обычных систем массового обслуживания. Алгоритмы, построенные на основании методов идемпотентной математики, зарекомендовали себя эффективностью и быстротой выполнения и программной реализации.

Идемпотентный подход к моделированию может найти свое отражение и при решении более широкого класса задач – моделирования систем массового обслуживания с переменной структурой, одним из практических приложений которых являются также и регулируемые городские перекрестки.

Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках перечня научно-исследовательских работ базовой части государственного задания, проект № 970.

Список литературы:

1. Управление дорожным движением [Текст]: пер. с англ. / Х. Иносэ, Т. Хамада; под ред. М.Я. Блинкина. М.: Транспорт, 1983. 248 с.
2. Кривулин Н.К. Методы идемпотентной алгебры в задачах моделирования и анализа сложных систем. СПб.: Изд-во: С.-Петербург. ун-та, 2009. 256 с.
3. Блюмин С.Л., Жбанов С.А. Идемпотентная математика: некоторые предпосылки и приложения // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2011. № 2. С. 41-44.
4. Маслов В.П., Колокольцов В.Н. Идемпотентный анализ и его применение в оптимальном управлении. М.: Физматлит, 1994. 144 с.
5. Блюмин С.Л., Сысоев А.С., Черных О.О. Идемпотентный подход к моделированию: транспортные системы и оптимизация подвижных процессов // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2012. № 2. С. 43-46.

ВЕРИФИКАЦИЯ КОНТУРОВ НА МАТЕРИАЛАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СИСТЕМ¹

Ушакова Н.Н., канд. техн. наук, доц.

Белгородский университет кооперации, экономики и права

¹ *Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-07-00171).*

Цель верификации – обеспечение повышения достоверности формирования изображений контурного представления объектов антропогенного происхождения – объектов строительства и городской черты для повышения точности позиционирования протяженных объектов на фотоплане. Используется для верификации принцип суперпозиции регулярных составляющих изображений объектов при накоплении серии изображений одного и того же участка зондируемой поверхности при условии внесения различающихся друг от друга возмущений в изображения.

Возмущения при этом малые и обязательно имеющие дисперсию вдоль оси пространственных частот и мало отличающиеся на нижних участках пространственного спектра. Протяженные контуры на изображениях, имеющие высокое значение радиуса корреляции вдоль простираения контура, возмущаются с задаваемой оператором – интерпретатором степенью малости, а элементы стохастической природы или с малыми радиусами корреляции, занимающие на спектральном портрете изображений высшие участки возмущаются в различной степени [1,2,3].

С соблюдением принципа малого возмущения регулярной составляющей [4] строится верифицирующий контуры изображения градиентный оператор в виде

$$\text{Grad}f = \sum_i A_i \text{grad}_{\alpha_i} f \quad (1)$$

где A_i – подбираемые коэффициенты-множители, а $\text{grad}_{\alpha_i} f$ – набор градиентных операций, построенных на операторах дифференцирования с порядками α_i ($\alpha_i \leq 1$). Указанный оператор не только выделяет контуры на изображениях объектов, но и в силу различия роста амплитуд его спектральных составляющих при увеличении частот, для регулярных образов – протяженных контуров формирует их суммарное накопленное изображение, а для всех

остальных элементов с низкими радиусами корреляции формирует средний накопленный фон.

В [4,5] была введена операция ОББО (обобщенная бинарная билинейная операция) со сплошным спектром состояний (включающая состояния: * – свертки, \times – умножения и вырожденное состояние при β_c (параметр состояния операции) равно единице). ОББО может варьироваться малым возмущением параметра β_c , при этом, если $C=A(\text{ОББО})B$, то норма $\|C\|$ (полиномиальная норма C : $\|C\|=\sum C_i \beta_c^i$) непрерывно меняется в зависимости от β_c и также имеет малое возмущение.

При выполнении одной и той же задачи разными алгоритмами, реализующими слабоменяющуюся реакцию на регулярные образы и осуществляющими разнос от алгоритма к алгоритму реакции на стохастические составляющие можно обеспечить верификацию – увеличение достоверности выявления регулярных составляющих [6], используя накопление результатов отклика по ансамблю алгоритмов. Для верификации можно использовать алгоритмы, являющие собой вычислимые представления операторов (или функций), каждый из которых некоррелирует достаточно сильно один с другим. Корреляцию линейных операторов следует понимать как корреляцию их собственных векторов, определяемых теоремой Рисса.

На Рис.1 (слева) представлено изображение фрагмента городской черты с высоким разрешением, содержащее примерно равновесные низкие, средние и высшие моды спектрального портрета. Правее приведены разностные изображения ("возмущенное" минус исходное). При этом выполнялась операция свертки изображения с единицей с разными значениями параметра β_c . Операция ОББО аналогично введенному градиенту реализует дисперсию значений возмущения элементов в верхних участках спектров, увеличивающуюся с увеличением β_c .

Размещенное в центре Рис.1 изображение показывает отсутствие регулярной составляющей, т.е. при $\beta_c = 0.05$ возмущение регулярной в исходном изображении крайне мало. При этом пространственный спектр "возмущенного" изображения описывается приблизительно формулой

$$F_S^{V_i}(\omega) \approx F_S(\omega) \left(1 + \frac{\|V_i\|}{\omega_c} \omega^{\frac{\|V_i\|}{\omega_c}} \right) \quad (2)$$



Рисунок 1 – Исходное изображение (слева), разностное при свертке на операции ОББО с $\beta_c = 0.05$ (в центре), разностное с $\beta_c = 0.3$ (справа)

Для $\beta_c = 0.3$ спектр "возмущенного" изображения описывается приблизительно формулой

$$F_S^{Vi}(\omega) \approx F_S(\omega) \left(1 + \frac{\|V_i\|}{\omega_c} \omega\right) \quad (3)$$

Здесь в выражениях (2) и (3) $F_S^{Vi}(\omega)$ – спектральный портрет (СП) "возмущенного" изображения, ω_c – средневзвешенная частота в спектральном портрете исходного изображения.

Аппроксимируя амплитудно-частотную характеристику тракта для простоты вычислений прямоугольником

$$K(J\omega) = \begin{cases} K_0, & -\omega_g \leq \omega \leq \omega_g, \\ 0, & \omega \notin (-\omega_g, \omega_g), \end{cases} \quad (4)$$

и, возбуждая тракт белым шумом с сингулярной функцией автокорреляции (ФАК)

$$\Phi_{AK}(\tau) = \frac{N_0}{2} \delta(\tau), \quad (5)$$

где $\delta(\tau)$ – функция Дирака, получим на выходе тракта шум со спектральной плотностью, равной $\frac{N_0}{2} |K(J\omega)|^2$. ФАК шума на выходе тракта в соответствии с теоремой Винера-Хинчина будет

$$\Phi AK_i(\tau) = \frac{N_0 K_0^2}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(j\omega\tau) d\omega = N_0 K_0^2 \left(\frac{\omega_0}{2\pi} \right) \frac{\sin \frac{\omega_0 \tau}{2}}{\frac{\omega_0 \tau}{2}} \cdot \cos \omega_0 \tau \quad (6)$$

откуда следует, что два любых значения шума при некоррелированы. На любом окне транспаранта изображения апертурой l будет

$$\frac{2l}{\Delta\tau} = \frac{2l\omega_0}{\pi} \quad (7)$$

независимых отсчетов шума и $\sqrt{\frac{2l\omega_0}{\pi}}$ независимых ансамблей для двумерной задачи.

N разным возмущающим значениям β_c соответствуют N возмущенных состояний исходного изображения, удовлетворяющих описанному выше условию реализации откликов на регулярную и стохастическую составляющие. В силу эргодической гипотезы, число N

таких изображений будет не более $\sqrt{\frac{2l\omega_0}{\pi}}$. Средние оценки приведенной величины, для метрических характеристик современных спутниковых систем дают значение равное примерно $\sqrt{150}$.

Последние исследования показали, что достоверность формирования изображений протяженных контуров для изображений высокого разрешения при их верификации накоплением с дисперсным возмущением изображений можно увеличить в $N^{0,5}$ раз. Этот подход соответствует принципу накопления регулярного сигнала на фоне декоррелированных составляющих, квалифицируемому как принцип разнесенного приема в антенных полях.

Список литературы:

1. Задача синтеза алгоритмов верификации видеоданных / В.Н. Винтаев, В.И. Дубинин, И.С. Константинов, Н.Н. Ушакова // Пилотируемые полеты в космос: матер. IV междунар.научно-практ. конф. Москва: Звездный городок, 2000. С. 171-172.
2. Совмещенный алгоритм апостериорной верификации и контрастирования градаций в автоматизированной цепи обработки данных радиолокационного зондирования / В.Н. Винтаев, М.Г.

- Красногорский, В.Г. Рубанов, П.А. Широков // Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций: сб. докладов междунар. конф. Белгород, 1995. Ч.4. С. 118-119.
3. Бабурин А.В., Винтаев В.Н., Рубанов В.Г. Проблема построения автоматизированной апостериорной верификации данных дистанционных измерений // Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций: сб. докладов междунар. конф. Белгород, 1995. Ч.4. С. 119-120.
 4. Ушакова Н.Н. Коррекция цифровых космических изображений на основе верифицирующего моделирования – дисс... канд. тех. наук 051301: защищена 17.01.2004; утв. 1.05.2004 / Ушакова Наталья Николаевна. Курск, 2004. 255 с. - 121908.
 5. Разработка специальных операций для задач обработки цифровых изображений / Н.Г. Переход, Н.Н. Ушакова, В.Н. Винтаев, В.А. Лихачев // Научные ведомости Научно-исследовательского университета «БелГУ», Серия История. Политология. Экономика. Информатика. 2010. № 19 (90). Выпуск 16/1. С. 104-111.
 6. Vintaev V.N. Modeling of Verification Operation Modes of Radio-Technical Systems / V.N. Vintaev, M.G. Gadzhiev, A.I. Urazbachtin, N.N. Ushakova // TELECOMMUNICATIONS AND RADIO ENGINEERING C/C OF ELEKTROSVIAZ' AND RADIOTEKHNIKA, Begell House, Inc., 79 Madison Avenue, New York, NY 10016 ISBN ISSN 0040-2508. Vol. 64 2005. P. 393-406.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА СРЕДСТВАМИ ВИЗУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Юренко К.И., канд. техн. наук, доц.

Ростовский государственный университет путей сообщения

Фандеев Е.И., д-р техн. наук, проф.

Южно-Российский государственный политехнический университет

Исследование и оптимизация режимов движения поездов являются актуальными задачами, поскольку они связаны как с составлением расписаний, так и со снижением расхода электроэнергии на тягу, а также с повышением энергоэффективности и ресурсосбережением перевозочного процесса. Решение таких задач может быть выполнено опытным путем на основе анализа данных о движении поездов на заданных участках пути. Однако, это требует затрат времени и проведения опытных поездок, что в условиях железной дороги нежелательно ввиду высокой стоимости и сложности организации таких поездок.

Классическим подходом при решении названных задач является использование методов тяговых расчётов для поездной работы [1]. Они позволяют выполнять построение графиков движения, определять расход электроэнергии и допускаемую массу поезда. Вместе с тем, учет особенностей конкретных типов локомотива, их тяговых и тормозных свойств при различных системах электрификации железной дороги, а также возможностей бортовых систем управления, требует разработки математических моделей процессов, происходящих в тяговом приводе, тормозах, системах управления и энергоснабжения. Программная реализация указанных моделей позволяет исследовать и анализировать различные режимы движения и их энергоэффективность.

Математическая модель рассматриваемого объекта управления нужна и при решении задачи оптимизации на основе метода динамического программирования [2]. Теория оптимального управления движением поезда на основе принципа максимума Понтрягина, разработанная учеными Московского государственного университета путей сообщения для определения оптимальной траектории, не требует точной модели, но для проверки результатов расчёта необходим натурный или вычислительный эксперимент. При этом часто в качестве объекта управления выбирают поезда метрополитена, которые более доступны для проведения опытных поездок [3].

Выполнение вычислительного эксперимента связано как с выбором и уточнением математической модели на основе уравнений движения поезда, так и с оценкой возможностей различных программных средств и языков программирования. Один из возможных подходов предполагает разработку специализированного программного обеспечения на языках высокого уровня, например, C++ для имитационного моделирования [4].

Вместе с тем, наличие в настоящее время мощных пакетов «компьютерной математики» и модельно-ориентированных средств разработки позволяют использовать их развитый инструментарий для построения и исследования имитационных моделей сложных технических объектов. В настоящее время широко применяется для разработки и исследования моделей различных динамических систем программный пакет MATLAB совместно с его расширением для визуального моделирования Simulink в виде функциональной схемы моделируемой системы. Их совместное использование способствует успешному решению и некоторым задачам, связанным с моделированием процессов и объектов на железнодорожном транспорте. Так, в работе [5] данные продукты используются для построения кривой разгона пригородного электропоезда, а в [6] – для имитационного моделирования процессов тягового энергоснабжения разработан специализированный комплекс.

В настоящей статье решается задача построения средствами визуального моделирования MATLAB/Simulink имитационной модели движения поезда для исследования бестормозных траекторий его движения по перегону. Такие траектории позволяют в максимальной степени реализовать запасенную при разгоне кинетическую энергию поезда и являются энергооптимальными.

Созданная обобщенная модель включает следующие основные компоненты: модели тяговой системы и основного сопротивления движению; блоки решения уравнения движения, управления процессом моделирования и регулятора скорости. На рис. 1 представлена функциональная схема такой обобщенной модели в среде MATLAB/Simulink, а на рис. 2 – бестормозная траектория движения поезда, включающая режимы разгона, движения при стабилизации скорости и выбега. Приведенный пример построен для поезда массой 1380 т для перегона длиной 15 км при начальной скорости 80 км/ч, скорость стабилизации – 107 км/ч, а координата перехода на выбег – 9,625 км. В результате имитационного моделирования получены: время входа, которое составляет 9 мин и расход электроэнергии – 262 кВт·ч.

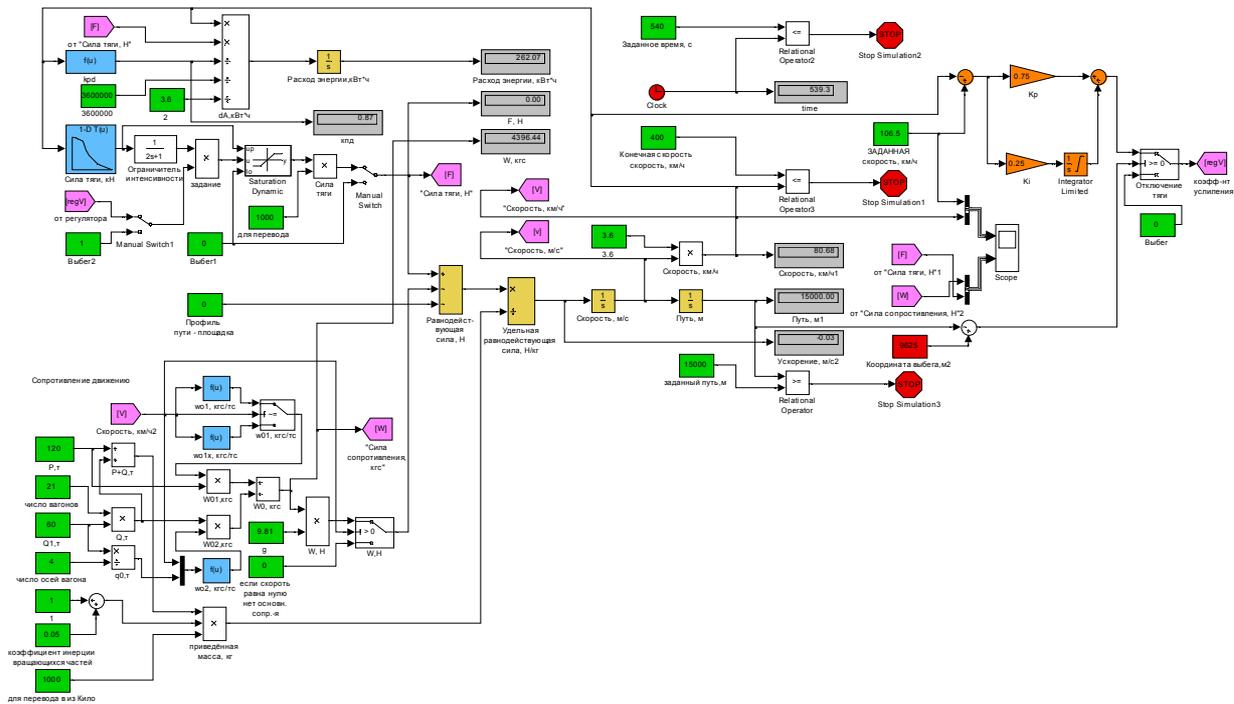


Рисунок 1 - Функциональная схема разработанной математической модели

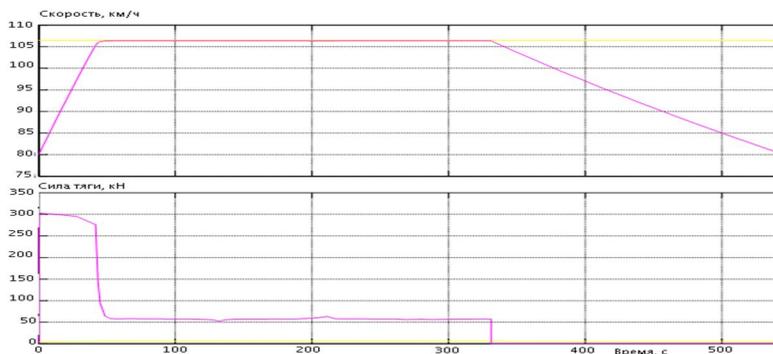


Рисунок 2 – Графики скорости (верхний) и силы тяги (нижний)

Таким образом, использование средств визуального моделирования позволяет, задавая скорость стабилизации и координату перехода на выбег, построить графики зависимости скорости и силы тяги от времени при движении поезда и оценить её энергоэффективность.

Список литературы:

1. Правила тяговых расчётов для поездной работы. М.: Транспорт. 1985. 287 с.
2. Юренко К.И. Расчёт энергооптимальных режимов движения перспективного подвижного состава методом динамического программирования // Известия вузов. Электромеханика. 2013. №3. С. 78-82.
3. Оптимизация управления движением поездов. Учебное пособие / Л.А. Баранов [и др.]. М.: МИИТ, 2011. 164 с.
4. Юренко К.И., Фандеев Е.И., Жлоба Ю.А. Программный комплекс для математического моделирования движения поезда // Найновите научни постижения: Материали за 10-а международна научна практична конференция. Технологии. София: «БялГРАД-БГ» ООД, 2014. Том 32. С. 80-85.
5. Руцкий В.М., Петрова В.С. Построение кривой скорости в режиме тяги с использованием пакета расширения Simulink матричной лаборатории Matlab // Механика и машиностроение. 2009. №5. С. 337-339.
6. Савоськин А.Н., Болдин Д.И., Телегин М.В. Программно-аппаратный комплекс для имитационного моделирования в реальном времени двухпутного участка железной дороги с двумя локомотивами переменного тока. 2013. №5. С. 113-119.

**Направление 8. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И ПРОИЗВОДСТВ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ, МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ
СРЕДСТВ**

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ**

**Алексеев В.В., канд. техн. наук, доц.,
Богатиков В.Н., д-р техн. наук, проф.,
Палюх Б.В., д-р техн. наук, проф.**

Тверской государственной технической университет

Обеспечение безопасности промышленных технологий является важной проблемой, решение которой в настоящее время находится в состоянии развития. Типовые технологические процессы обычно функционируют в области, определяемой на основе проектных решений. Эти решения обеспечивают наилучшие результаты их работы. В работе предлагается подход к управлению, построенный на основе стабилизации параметров технологических процессов, в области точки, являющейся наиболее благоприятной для поддержания процесса в зоне наилучших условий работы, рассматриваются различные подходы определения данной точки. Данную точку можно определить как центр технологической безопасности. На рис. 1 приводится обобщенная структурная схема системы управления, где используются следующие обозначения и формулы:

S – множество всевозможных состояний процесса;

S_p – множество работоспособных состояний процесса;

$\varphi_i, i=1...N_{Lim}$ – множество границ области работоспособного состояния (вырезает на S множество S_p);

s_0 – точка процесса, соответствующая центру безопасности для данного процесса;

s^* – текущая рабочая точка процесса;

$l_i = r \min(s^* j_i)$ – расстояние от рабочей точки процесса s^* до границ области работоспособного состояния φ_i ;

$\Delta_i^* = \min \rho(s^*, s_{0i})_{\varphi_i}$ – расстояние от рабочей точки процесса s^* до центра безопасности s_{0i} относительно границ;

$\delta_i = \min \rho(s_{0i}, \varphi_i)$ – расстояние от центра безопасности s_{0i} до границ

области работоспособного состояния φ_i ;

$O_i = d_i - l_i$ – степень опасности для данного состояния s^* ТП относительно границ φ_i , $i = 1 \dots n$;

$D_i = \delta_i - O_i$ – степень безопасности для данного состояния s^* ТП относительно границ φ_i , $i = 1 \dots n$.

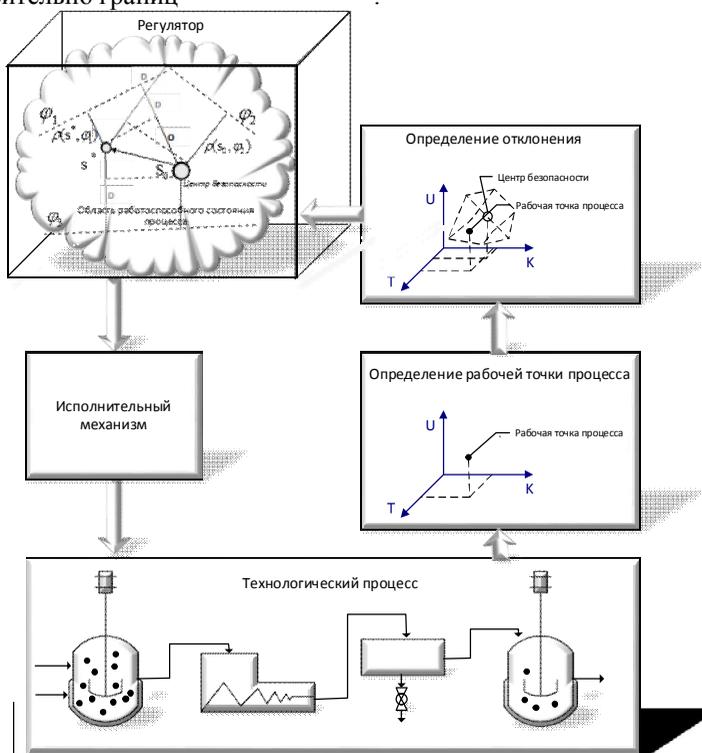


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема системы управления технологическим процессом

В работе рассматривается три метода определения центра безопасности [1]:

1. Определение центра безопасности методом разделения состояний.
2. Определения центра безопасности на основе экспертных оценок.
3. Определение центра безопасности на основе нечеткого вывода.

Алгоритм определения центра безопасности на основе метода разделения состояний

Первый шаг. Постановка задачи. При заданных $x^{(\min)}$ и $x^{(\max)}$ ($x_k^{(\min)} < x < x_k^{(\max)}$) найти диапазоны изменения коэффициентов системы $a_{ij}^{(\min)}$ и $a_{ij}^{(\max)}$ ($i=1, I; j=1, I$), а также $b_i^{(\min)}$ и $b_i^{(\max)}$ ($i=1, I$) таким образом, чтобы была справедлива система ограничений $(X^*, z_q) > g^{(\min)}$, ($i=1, \dots, L$), $(X^*, z_q) < g^{(\max)}$, ($i=1, \dots, L$) или $(X_{iq}^<(k), z(k)) > \Delta x(k+1)$, ($i=1, \dots, I$), $(X_{iq}^>(k), z(k)) > \Delta x(k+1)$, ($i=1, \dots, I$).

Второй шаг. Формирование функции цели. Смысл формирования заключается в следующем.

Из аналитической геометрии известно, что отклонение точки (x_I, y_I, z_I) от плоскости, записанному в нормированном виде $x \cos a + y \cos b + z \cos g + r = 0$, будет равно: $d = x_I \cos a + y_I \cos b + z_I \cos g - r$

Алгоритм формирования целевой функции следующий:

1. выбирается точка из возможного диапазона переменных z ;
2. осуществляется приведение уравнений ограничений к нормальному виду;
3. определяется отклонение d_i точки от i границы;
4. если отклонение d_i отрицательно, коэффициенты, с которыми данная функция входит в критерий, меняются знак на противоположный. Таким образом, в целевой функции формируется не сумма отклонений, а сумма расстояний;
5. если отклонение d_i положительно, коэффициенты, с которыми данная функция входит в критерий, не меняют знак на противоположный;
6. пункты 3 – 5 повторяются, пока не определятся знаки отклонений до всех границ.

Таким образом, в целевой функции автоматически учитывается то, что осуществляется поиск суммы расстояний точки от ограничений $\sum_{i=1}^I |d_i(\bar{z})|$.

Третий шаг. Решается задача максимизации:

$$\sum_{i=1}^l |d_i(\bar{z})| \rightarrow \max$$

при ограничении:

$(X_{iq}^<, z) < 0, (i=1, \dots, l), (X_{iq}^>, z) > 0, (i=1, \dots, l)$, а так же $z_{\min} < z < z_{\max}$.

Полученное решение будет определять координаты центра безопасности в случае равноценности границ. Если границы не равноценны, необходимо ввести веса для $d_i(\bar{z})$.

Определения центра безопасности на основе экспертных оценок

Данный метод использует процедуру определения центра безопасности на основе экспертного опроса. Он подразумевает наличие высококвалифицированных специалистов, что не всегда возможно [3].

Определение центра безопасности на основе нечеткого вывода

Первый этап. Проводится задание функции принадлежности для построения нечетко определенных моделей

Второй этап. Составляются лингвистические правил связывающие отдельные показатели, и приводящие их нечеткое определение к нечеткому определению переменной состояния.

Правила могут иметь следующий вид: ЕСЛИ вероятность безотказной работы = «высокая» И интенсивность восстановления = «высокая», ТО «универсальный» показатель = «высокий».

Третий этап. Совокупность всех составленных правил даст возможность вычисления нечеткого значения индекса безопасности, которое соответствует лучшему значению индекса для каждой переменной состояния и диагностических переменных.

Затем проводится операция дефазификации и определяется центр безопасности.

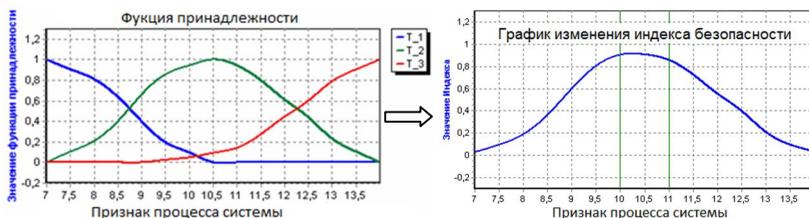


Рисунок 2 – Нечетко-определенная модель

Результатом вывода являются величины координат переменных состояния и диагностических переменных и параметров системы – наилучшие для данных условий (внешних и внутренних) ведения технологического процесса.

Достоинством данного подхода является то, что при вычислении «универсального» показателя помимо исходных показателей надежности, можно учитывать и другие внешние факторы, которые можно представить в нечетком виде, например температуру среды, в которой функционирует объект или влажность.

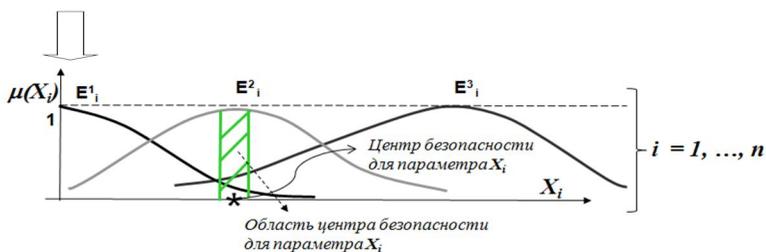
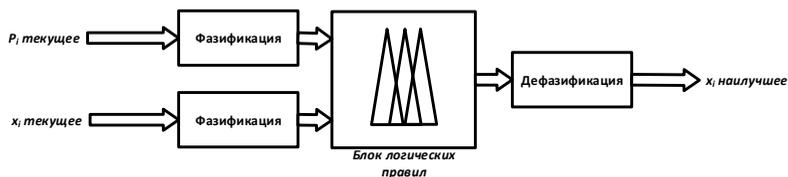


Рисунок 3 – Процедура нечеткого вывода

Индекс безопасности. Методика определения индекса безопасности на основе нечеткого равенства

В процессе работы ТП, в результате изменения значений его параметров происходит постоянная смена состояний, вследствие чего происходит выход из области центра безопасности. Оценить этот выход можно с помощью определения смещения от центра безопасности. Количественная характеристика, характеризующая удаленность текущей рабочей точки процесса s^* от точки характеризующей центр безопасности s_0 (рис. 1) покажет степень безопасности для данного состояния ТП [2]. В работе эта количественная характеристика определена как индекс безопасности.

Пусть $T = \{T_1, T_2, \dots, T_p\}$ – множество технологических параметров, которыми описывается некоторое состояние ТП. Набор значений

параметров, описывающих такое состояние в некоторый момент времени, назовем ситуацией. Множество всевозможных ситуаций, возникающих в результате функционирования ТП, может использоваться для формирования «решающей таблицы», т.е. соответствия между ситуацией и набором управляющих решений. Размер такой решающей таблицы определяется числом ситуаций, которое, в свою очередь зависит от степени конкретизации значений, набора параметров, характеризующих данный ТП. Размерность решающей таблицы может быть уменьшена за счет выделения типовых ситуаций, на которых может быть сосредоточено внимание экспертов.

При описании таких ситуаций, эксперту наиболее удобно пользоваться словесными значениями параметров. Для формализации такого представления используется понятие лингвистической переменной, которая задается на некоторой количественной шкале и принимает значения являющиеся словами естественного языка. Такие переменные служат для качественного, словесного описания некоторой количественной величины, с их помощью формализуется качественная информация, представленная в словесной форме. Поставим в соответствие каждому параметру ТП лингвистическую переменную $\langle \beta_i, E_i, D_i \rangle$, где:

- β_i – название лингвистической переменной;
- $E_i = \{E_i^1, E_i^2, \dots, E_i^{M_i}\}$ – терм-множество лингвистической переменной β_i ;
- D_i – базовое множество лингвистической переменной β_i ;

Каждому элементу терм-множества E_i , ставится в соответствие своя функция принадлежности.

Для описания термов E_j^i , соответствующих значениям β_i , используются нечеткие переменные, то есть каждый терм описывается нечетким множеством в базовом множестве данной лингвистической переменной. Множество, состоящее из набора лингвистических переменных β_i , нечетко определяет некоторое состояние технологического процесса. Такое множество назовем нечеткой ситуацией. То есть нечеткой ситуацией является множество, состоящее из лингвистических переменных представляющих параметры ТП. Например, возможна следующая нечеткая ситуация, возникшая в процессе функционирования некоторого типового ТП:

$\{ \langle 0,8 \text{ "Хорошая"} \rangle, \langle 0,18 \text{ "Плохая"} \rangle, / \text{ "Концентрация раствора на входе в аппарат"} \rangle$,

$\langle 0,7 \text{ "Хорошая"} \rangle, \langle 0,25 \text{ "Плохая"} \rangle, / \text{ "Концентрация раствора на выходе из аппарата"} \rangle, \langle 0,9 \text{ "Нормальное"} \rangle, \langle 0,15 \text{ "Плохое"} \rangle$,

$\langle 0,01 \text{ "Опасное"} \rangle, / \text{ "Давление пара на входе в аппарат"} \rangle, \dots \}$.

Дадим формальное определение «нечеткой» ситуации. Пусть $T_p = \{T_1, T_2, \dots, T_p\}$ – множество параметров значениями, которых описывается состояние процесса. Каждый параметр T_i описывается соответствующей лингвистической переменной $\langle \beta_i, T_i, D_i \rangle$. Нечеткой ситуацией \tilde{S} называется нечеткое множество второго уровня:

$\tilde{S} = \{ \langle \mu_{S_i}(T_i) / T_i \rangle, T_i \in T_p \}$, где

$$\mu_{S_i}(T_i) = \{ \langle \mu_{\mu_{S_i}(T_i)}(E_i^j) / E_i^j \rangle, j = 1 \dots M_i; i = 1 \dots T_p \}$$

Типовые нечеткие ситуации могут использоваться для идентификации некоторой входной нечеткой ситуации по степени их близости. В качестве меры близости между ситуациями рассматривается два критерия: степень нечеткого включения и степень нечеткого равенства. Эти понятия базируются на определении степени нечеткого включения и степени нечеткого равенства нечетких множеств [2], например, пусть

$\tilde{S}_i = \{ \langle \mu_{S_i}(T) / T \rangle, T \in T_p \}$ и $\tilde{S}_j = \{ \langle \mu_{S_j}(T) / T \rangle, T \in T_p \}$ есть некоторые нечеткие ситуации.

Степень включения ситуации \tilde{S}_i в ситуацию \tilde{S}_j обозначается $\nu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_j)$ и определяется выражением:

$$\nu(\mu_{S_i}(T), \mu_{S_j}(T)) = \&_{E_k} (\mu_{\mu_{S_i}(T)}(E_k) \rightarrow \mu_{\mu_{S_j}(T)}(E_k))$$

Где

$$\mu_{\mu_{S_i}(T)}(E_k) \rightarrow \mu_{\mu_{S_j}(T)}(E_k) = \max \{ 1 - \mu_{\mu_{S_i}(T)}(E_k), \mu_{\mu_{S_j}(T)}(E_k) \}$$

Для ограничения возможных вариантов альтернатив, возникающих при диагностике ТП, будем считать, что ситуация \tilde{S}_j нечетко включается в \tilde{S}_i , $\tilde{S}_i \subseteq \tilde{S}_j$, если степень включения \tilde{S}_i в \tilde{S}_j не меньше некоторого порога включения $t_{inc} \in [0.6; 1]$, определяемого условиями управления, то есть $\nu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_j) \geq t_{inc}$. Другими словами, ситуация \tilde{S}_i нечетко включается в ситуацию \tilde{S}_j , если нечеткие значения признаков ситуации \tilde{S}_i нечетко включаются в нечеткие значения соответствующих

признаков ситуации \tilde{S}_j . Фиксация порога включения в некоторой точке интервала $[0.6;1]$ зависит от особенностей объекта управления, требований к качеству управляющих решений и т.д.

Для целей определения индекса безопасности в качестве типовой нечеткой ситуации достаточно иметь одну нечеткую ситуацию, которая характеризует центр технологической безопасности, обозначим эту ситуацию \tilde{S}_0 .

Таким образом, для определения индекса безопасности для текущего состояния процесса необходимо сравнить на нечеткое равенство входную нечеткую ситуацию \tilde{S}^* с нечеткой ситуацией, которая характеризует центр безопасности \tilde{S}_0 . При этом степень нечеткого равенства:

$$In(\tilde{S}^*)_{\tilde{S}_0} = \nu(\tilde{S}^*, \tilde{S}_0) \& \nu(\tilde{S}_0, \tilde{S}^*)$$

и покажет величину, определенную как индекс безопасности ТП.

Таким образом, методика определения индекса безопасности на основе нечеткого вывода состоит из следующих этапов:

1. Построение нечетко-определенной модели.
2. Проведение процедуры нечеткого вывода.
3. Оценка уровня безопасности.

В работе предложена система управления производственными процессами на основе стабилизации технологических режимов в области центра безопасности. Рассмотрены различные подходы к определению центра и индекса безопасности.

Список литературы:

1. Приложение метода разделения состояний для управления технологической безопасностью промышленных процессов на основе нечетко определенных моделей: монография / Б.В. Палюх, В.Н. Богатиков, А.Е. Пророков, В.В. Алексеев. Изд. 1-е. Тверь: ТГТУ, 2009. 348 с.
2. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.
3. Тоичкин Н.А. Диагностика состояний и управление технологической безопасностью с использованием индекса безопасности (на примере цеха выпарки производства хлора и каустика). Дис. ... кан. техн. наук. - Апатиты, Петрозаводский государственный университет Кольский филиал, 2006. 215 с.

УЧЕБНЫЙ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ПЧВ101

Алексеев М.В., канд. техн. наук, доц.,
Гайдин А.А., канд. техн. наук, ассистент,
Козенко И.А., канд. техн. наук, ассистент

Воронежский государственный университет инженерных технологий

В настоящее время в системах управления насосами, центрифугами, мельницами и дозаторами все более широкое распространение получают частотные преобразователи, которые обеспечивают существенную экономию энергоресурсов, снижение эксплуатационных затрат и качественное управление оборудованием.

На кафедре информационных и управляющих систем ВГУИТ разработан учебный программно-технический комплекс (УПТК) для управления частотой вращения асинхронного двигателя (рис. 1, 2) с целью изучения правил настройки и эксплуатации частотного преобразователя ПЧВ101 (в ручном режиме и под управлением контроллера ПЛК150).

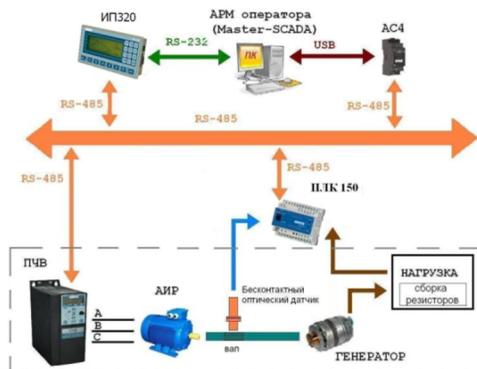


Рисунок 1 – Схема УПТК для изучения преобразователя частоты:
ПЧВ – преобразователь частоты векторный ПЧВ101-К75-А; АИР – трёхфазный асинхронный двигатель АИР63В2У3; ГЕНЕРАТОР – генератор постоянного тока А125-14V-45А; НАГРУЗКА – сборка резисторов; Бесконтактный оптический датчик – датчик ВБО-М18-76К-5111-СА; ПЛК150 – программируемый логический контроллер ПЛК150-220.У-L; ИП320 – графическая панель оператора; АРМ оператора – рабочая станция (ПЭВМ); АС4 – преобразователь интерфейсов; RS-485, RS-232, USB – интерфейсы передачи данных



Рисунок 2 – Фото УПТК для изучения преобразователя частоты

Учебный комплекс включает: преобразователь частоты векторный ПЧВ101, объект управления (асинхронный двигатель, генератор постоянного тока и сборка резисторов – для имитации изменения уровня нагрузки), управляющий контроллер ПЛК150, графическую панель ИП320 и рабочую станцию (ПЭВМ). Микропроцессорные приборы объединены в локальную сеть по интерфейсу RS-485. Связь приборов с рабочей станцией обеспечивает преобразователь интерфейсов АС4.

Программирование управляющего контроллера ПЛК150 проведено в среде CoDeSysv.2.3 с использованием графического языка SFC. Визуализация работы комплекса реализована в графической панели ИП320 с помощью программы-конфигуратора.

УПТК предназначен для изучения следующих вопросов:

- устройство и правила эксплуатации микропроцессорных приборов ОВЕН;
- программирование ПЧВ101 с локальной панели оператора;
- программирование ПЛК150 и ИП320 для управления работой ПЧВ101.

Разработанные управляющие алгоритмы для ПЛК150 обеспечивают поддержание постоянного значения напряжения и тока, изменение значения напряжения и тока (по задаваемым законам), а также поддержание постоянной скорости вращения ротора генератора (при изменении уровня нагрузки).

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХВАЛКОВЫМ ФОРМОВОЧНЫМ СТАНОМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРЯМОШОВНЫХ ТРУБ

Аторина А.А.,
Величко Д.В., доц.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Все выпускаемые трубы делятся на две основные группы: бесшовные и сварные. Первые из них в зависимости от способа производства могут быть горяче - или холоднодеформированными, а вторые – электросварными и сваренными за счет газового нагрева кромок. В последнее время все более широкое применение находят сварные холоднодеформированные трубы, так как отвечают заданным показателям качества и при производстве требуют не таких больших экономических затрат, как горячедеформированные.

При формокетрубной заготовке на трехвалковом стане с симметричным расположением (рис.1) участки заготовки последовательно проходят под средним валком через очаг деформации, благодаря чему обечайка получает равномерный изгиб по всей длине. В процессе формовки валки совершают реверсивное движение, при этом верхний валок может изменять свое положение по вертикали, а нижние по горизонтали, что позволяет регулировать диаметр формируемой заготовки.

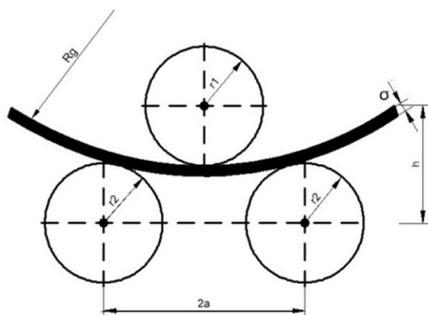


Рисунок 1 – Схема расположения вальцов при производстве трехвалковым методом с симметричным расположением вальцов

Способ валковой формовки заготовки с последующей сваркой кромок является одним из самых высокопроизводительных при

производстве прямошовных труб, однако существует достаточно большой процент брака при формовке, который негативно сказывается на экономической эффективности. Для уменьшения коэффициента дефекта требуется с высокой точностью управлять приводами стана, контролировать их положение, выбирать минимальный шаг гибки исходя из химических и механических характеристик стали. Это может стать возможным после внедрение автоматизации в систему валкового стана.

Предполагается построение системы управления (СУ) устраивать по дифференциальному принципу, которая будет включать в себя три уровня: автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, устройство управления, представленное семейством микроконтроллеров, и нижний уровень, в структуру которого входят логические устройства управления, сбора информации, исполнительные механизмы.

В качестве основного устройства управления было принято использовать семейство промышленных контроллеров серии SIEMENS, включающее в себя в качестве АРМ панель оператора SIMATICMP 277 10” Touch, основной блок CPU 226, а так же модули расширения: EM 231 - модуль аналогового ввода, EM 232 – модуль аналогового вывода, EM 223, 222 – модуль дискретного ввода-вывода.

В качестве механизмов подъема/выдвижения одним из основных исполнительных устройств является гидроцилиндр двухстороннего действия, так как позволяет совершать полезную работу как при прямом, так и при обратном ходе выходного звена. Выдвижение и втягивание штока в них осуществляется путем попеременной подачи жидкости под давлением в одну из рабочих полостей, в то время как другая соединена со сливной гидролинией. Механизмы, служащие для придания момента вращения вальцам стана – шестеренчатые гидромоторы с внутренним зацеплением. Каждый привод стана является независимым и управление им осуществляется при помощи гидрораспределителей (рис.2), на который подаются управляющие сигналы с контроллера. Путем подачи сигнала на электрический клапан распределителя можно легко управлять соответствующими приводами контроллера.

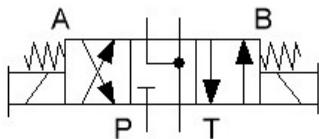


Рисунок 2 – Гидрораспределитель

Для регулирования положения отдельного исполнительного механизма требуется минимум два управляющих сигнала. При

реализации управления важно отметить то, чтобы при подаче воздействия на оба клапана не происходило нештатных ситуаций, то есть необходимо защитить систему от операторских ошибок, так как именно оператор отвечает за подачу соответствующих управляющих воздействий. Решение представлено на (рис.3).

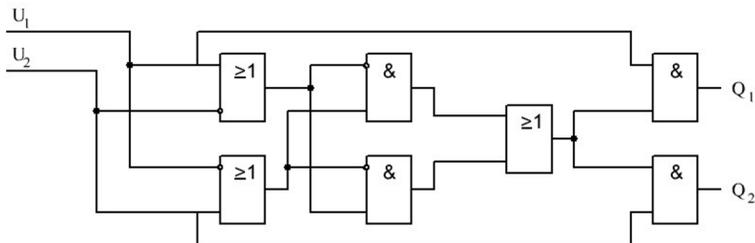


Рисунок 3 – Схема подачи сигналов на управляющий клапан: U_1 , U_2 – управляющие сигналы; Q_1 , Q_2 – сигналы, подаваемые на клапаны гидрораспределителя

Как видно из (рис.3), при подаче управляющего воздействия U_1 сигнал поступает на выход Q_1 , при подаче управляющего воздействия U_2 сигнал поступает на выход Q_2 , при отсутствии или наличии обоих сигналов U_1 и U_2 ни один из выходов Q_1 и Q_2 не активен и гидромотор или гидроцилиндр не активны и находятся в состоянии покоя.

Данная схема реализована программно для каждой группы контактов.

Так, основываясь на предложенном решении, можно получить зависимости между входным управляющим воздействием и перемещением гидравлического цилиндра, относительно его нулевого положения (рис.4, рис.5).

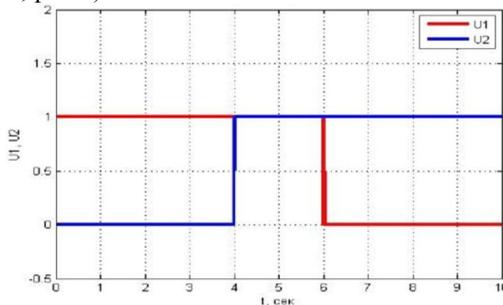


Рисунок 4 – Подача входного управляющего воздействия

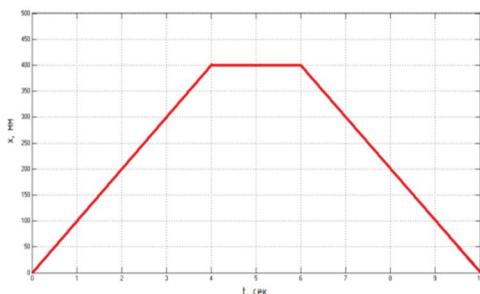


Рисунок 5 – Выходная характеристика привода гидроцилиндра

После получения сигнала включения производится диагностика состояния компонентов объекта управления, после этого выводятся аварийные сигналы и система переводится в режим start. Только после этого оператор может начинать управление формовкой при помощи панели управления, визуально контролировать работу системы в режиме реального времени. Данный контроль осуществляется при помощи отображения информации с датчиков положения, представленных обратными связями СУ. В случае выхода из строя какого-либо привода стана, микроконтроллер снимает сигнал с блока управления подачей питания и на панель выводится сообщение об аварийной остановке.

Контроль положения состояния валцов уделяется особое внимание. В зависимости от состояния этого положения можно диагностировать неисправность стана, которое ведет к ухудшению качества трубы и как следствие дополнительные расходы на исправление или брак. В системе для измерения линейного перемещения, а так же для угла поворота двигателя удобно использовать кодирующие преобразователи, то есть устройства, на выходе которых в цифровой форме представлено перемещение. Так положение вала может диагностироваться оператором с точностью до 0,01 мм. Для снятия этого значения выходы датчиков соединены с цифровыми входами устройства управления (модуль аналогового ввода E231) и передаются на обработку управляющей программе, результаты выполнения которой отображаются на панели оператора. В соответствие с тем, что время обработки полученных значений у контроллера не превышает долей секунды, то, таким образом можно утверждать, что система работает в реальном режиме, то есть отображает действительное состояние объекта управления.

Управляющая программа, занесенная в панели, написана в SCADA in CCF lexible, специализированной на контроллерах Siemens. Данное программное средство предоставляет широкий список реализуемых возможностей сбора данных и функций обработки информации.

Структура системы управления предоставляет возможность увеличения количества каналов контроля и регулирования, что может быть применено в случае, если необходимо увеличить производственную мощность или связать ее с другой системой, таким образом расширив сетевую иерархию.

Достоинствами данной системы можно считать автоматизированное рабочее место оператора, возможность полного контроля за состоянием процесса производства, возможность создания широкого сортамента труб без перестройки структуры стана.

Список литературы:

1. Друян В.М., Гуляев Ю.Г., Чумаков С.А. Теория производства трубного производства: Учебник. Днепропетровск: РИА «Днепр-ВАЛ», 2001. 544 с.
2. Наземцев А.С., Рыбальченко Д.Е. Пневматические и гидравлические приводы системы. Часть 2. Гидравлические приводы и системы. Основы. Учебное пособие. М.: ФОРУМ, 2007. 304 с.
3. Программируемые контроллеры S7-200 ООО «Сименс», 2013.

СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ

Бабенков В.А., аспирант

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова
(филиал НИТУ «МИСиС»)*

Технологический процесс производства экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) заключается в разложении апатитового концентрата серной кислотой, кристаллизации сульфата кальция и фильтрации образующейся пульпы с целью отделения продукционной кислоты от фосфогипса. Процессы химических превращений осуществляются в двухбачковом экстракторе, а разделение веществ – на карусельном вакуум-фильтре.

Современные АСУ ТП производства ЭФК осуществляют контроль расходов материальных потоков и части технологических параметров, содержат контуры автоматической стабилизации. Однако формирование уставок по расходам осуществляет оператор технологического процесса, от квалификации и практического опыта которого существенно зависит эффективность работы технологической установки и качество стабилизации оптимального технологического режима. Целью управления является стабилизация процесса экстракции в оптимальном режиме, установленном технологическим регламентом. Решение данной задачи осложнено отсутствием непрерывного контроля параметров пульпы, высокой инерционностью экстрактора, наличием множественных перекрестных связей объекта, возмущений по составу сырья, зарастанием инкрустированными осадками чувствительных элементов контрольно-измерительных приборов.

Такие условия не позволяют оператору ТП при управлении объектом достигать высоких показателей эффективности, в связи с чем актуальной является задача повышения качества управления на основе автоматизации принятия решений по управлению с использованием современных подходов теории автоматического управления.

К входным переменным участка «экстрактор-фильтр» относятся регулируемые расходы материальных потоков: $F_{АП}$ – расход апатита (т/ч), $F^1_{H_2SO_4}$ – расход H_2SO_4 в 1-й бак экстрактора ($м^3/ч$), $F^2_{H_2SO_4}$ – расход H_2SO_4 во 2-й бак экстрактора ($м^3/ч$), $F_{ФИЛ}$ – расход пульпы на фильтры ($м^3/ч$), $F_{ПРОМ}$ – расход воды на промывку фосфогипса ($м^3/ч$),

$F_{\text{ПРОД}}$ – расход производной кислоты в сборник ($\text{м}^3/\text{ч}$), $F_{\text{ВОЗД}}$ – воздух на охлаждение пульпы ($\text{м}^3/\text{ч}$).

Схема материальных потоков участка приведена на рис. 1.

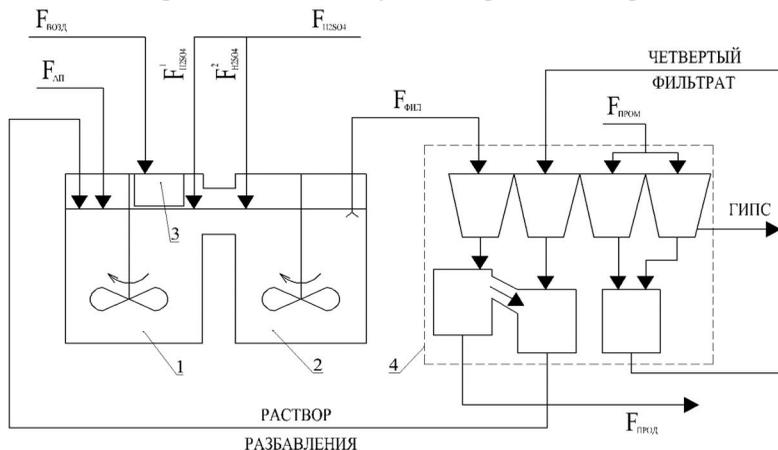


Рисунок 1 – Схема материальных потоков технологического процесса производства ЭФК: 1,2 – первая и вторая секции экстрактора, 3 – аппарат воздушного охлаждения (АВО), 4 – карусельный вакуум-фильтр (КВФ)

Выходными переменными процессов экстракции и фильтрации являются технологические параметры: $C_{\text{SO}_2}^1$, $C_{\text{SO}_2}^2$ – концентрация SO_2 в жидкой фазе пульпы 1-ой и 2-ой секций экстрактора ($\text{г}/\text{дм}^3$), $C_{\text{P}_2\text{O}_5}^1$ – концентрация P_2O_5 в жидкой фазе пульпы 1-ой секции (%), $C_{\text{ТВ}}^1$ – концентрация твердого вещества в пульпе 1-ой секции (%), H – уровень пульпы в экстракторе (м), $t_{\text{ПУЛ}}$ – температура пульпы ($^{\circ}\text{C}$). Эффективность процесса производства ЭФК характеризуется коэффициентом выхода $K_{\text{ВЫХ}}$, который зависит от качества стабилизации указанных технологических параметров в регламентном режиме.

Расход апатитового концентрата $F_{\text{АП}}$ в экстрактор выбирается оператором ТП, исходя из пропускной способности технологической установки и наличия сырья на складе, поэтому для регулирования технологических параметров не используется. Автоматическое регулирование температуры пульпы в экстракторе $t_{\text{ПУЛ}}$ осуществляется изменением потока воздуха $F_{\text{ВОЗД}}$, подаваемого в АВО, где происходит барботирование и вынос излишков тепла. Стабилизация заданных значений расходов остальных потоков (реагентов, промежуточных и

конечных продуктов) или их соотношений обеспечивается также локальными контурами автоматического регулирования.

Таким образом, перед оператором ТП стоит задача управления многомерным многосвязным объектом, имеющим 5 входных $U_{УП}=(F^1_{H_2SO_4}, F^2_{H_2SO_4}, F_{Фил}, F_{Пром}, F_{Прод})'$ и 5 выходных переменных $Y_{УП}=(C^1_{SO_3}, C^2_{SO_3}, C^1_{P_2O_5}, C^1_{ТВ}, H)'$. Для решения этой задачи в автоматическом режиме разработана связная система стабилизации технологических параметров процесса производства ЭФК. При этом использовано описание объекта управления было в пространстве состояний, а для синтеза линейной связной системы автоматической стабилизации – принцип модального управления (МУ). Решение задачи выполнено в несколько этапов:

- разработка наблюдающего устройства, позволяющего восстановить полный вектор состояния по информации об измеряемых координатах;
- синтез регуляторов состояния (РС) сепаратных контуров управления;
- разработка связной системы стабилизации параметров процесса.

В [1] разработана нелинейная динамическая математическая модель процесса экстракции фосфорной кислоты в полугидратном режиме для двухбакового экстрактора. Анализ модели показал, что она может быть линеаризована в окрестностях регламентного режима. Для линеаризованной модели выбран вектор состояния объекта и получена система уравнений в форме Коши:

$$\begin{cases} X'(t) = A \cdot X(t) + B \cdot U(t) + D \cdot F(t); \\ Y(t) = C \cdot X(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $X(t)$ – вектор координат состояния, $U(t)$ – вектор управляющих воздействий, $F(t)$ – вектор входных возмущений, $Y(t)$ – вектор измеряемых выходных сигналов, A – матрица состояния, B – матрица управления, C – матрица выхода объекта, D – матрица возмущения.

Концентрационный состав пульпы измеряется 1 раз в 2 часа в результате лабораторного анализа проб, отобранных в контрольных точках технологического агрегата. На основе полученного описания объекта в пространстве состояний построен непрерывно-дискретный наблюдатель [2], позволяющий оценивать не только текущие значения координат состояния, но и низкочастотные составляющие эквивалентных возмущений, приведенных к входу объекта. Особенностью наблюдателя является то, что по непрерывным измерениям расходов реагентов и уровня пульпы в экстракторе, а также

дискретным данным лабораторного анализа концентрационного состава пульпы формируется оценка состояния объекта управления и действующих возмущений для текущего момента времени.

В вектор координат наблюдателя $\hat{X}(t)$ включены оценки вектора входных возмущений объекта $F(t)$. Система уравнений непрерывно-дискретного наблюдателя в матричной форме имеет вид:

$$\begin{cases} \hat{X}'(t) = A_H \cdot \hat{X}(t) + B_H \cdot U(t) + K \cdot \Delta Y(t); \\ \hat{Y}(t) = C_H \cdot \hat{X}(t), \end{cases} \quad (2)$$

где символом "hat" обозначены оценки соответствующих сигналов, $\Delta Y(t) = Y(t) - \hat{Y}(t)$ – вектор рассогласования между выходом объекта $Y(t)$ и оценкой $\hat{Y}(t)$, A_H – матрица состояния наблюдателя, B_H – матрица управления наблюдателя, C_H – матрица выхода наблюдателя, K – матрица коррекции.

С помощью построенного непрерывно-дискретного наблюдателя решается задача непрерывного контроля всех координат состояния объекта $X(t)$, в том числе входных возмущений $F(t)$. Полная информация о векторе состояния объекта позволяет использовать при синтезе линейной САУ регуляторы состояния, с помощью которых возможно осуществить модальное управление. Необходимо отметить, что САУ, настроенные по принципу МУ, изначально устойчивы, что не требует дополнительных исследований замкнутой системы.

Для сепаратных контуров стабилизации концентрационных характеристик и уровня пульпы настройки РС получены, исходя из соответствия характеристического полинома замкнутой системы биномиальной стандартной форме, которая обеспечивает наилучшие статические и динамические свойства САУ. Для достижения автономности контуров в многомерной системе управления необходимо построить перекрестные связи между локальными регуляторами, компенсирующие перекрестные связи в объекте. Связь вектора локальных управляющих воздействий V с вектором U реальных расходов материальных потоков имеет вид:

$$V = G \cdot U, \quad (3)$$

где G – матрица перекрестных связей объекта в установившемся режиме, $U=(\Delta F^1_{H_2SO_4}, \Delta F^2_{H_2SO_4}, \Delta F_{ФИЛ}, \Delta F_{ПРОМ}, \Delta F_{ПРОД})'$, $V=(v_{SO_3_1}, v_{SO_3_2}, v_{P_2O_5}, v_{TB}, v_H)$.

Для обеспечения расчетных режимов функционирования локальных контуров уставка вектора реальных расходов U^* определяется по формуле

$$U^* = G_R \cdot V^* , \quad (4)$$

где $G_R = G^{-1}$ – матрица перекрестных связей между локальными регуляторами; V^* – управляющие воздействия, вырабатываемые локальными контурами стабилизации технологических параметров.

Структурная схема системы стабилизации технологических параметров представлена на рис. 2. Вектор Y^* желаемых параметров технологического режима задается оператором.



Рисунок 2 – Структурная схема связанной системы стабилизации

Разработанная система стабилизации может быть реализована в составе действующей SCADA-системы АСУ ТП производства ЭФК для работы в автоматическом режиме или режиме поддержки принятия решений (ППР) с целью выдачи рекомендации оператору ТП по формированию уставок управляемых расходов.

Использование наблюдателя и ППР в составе АСУ ТП производства ЭФК позволяет повысить качество стабилизации регламентного режима, что обеспечивает рост эффективности производства, уменьшение количества аварийных ситуаций и нарушений технологического регламента.

Список литературы:

1. Кривонос В.А., Бабенков В.А., Соколов В.В., Шибанов Е.Ю., Перекрестов В.П. Математическая модель процесса экстракции и фильтрации производства фосфорной кислоты ООО «Балаковские минеральные удобрения» // Автоматизация в промышленности. 2013. №7. С. 24-29.
2. Кривонос В.А., Бабенков В.А. Непрерывно-дискретный наблюдатель состояния химико-технологического процесса // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2014. №1. С. 128-135.

АДАПТАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ДИНАМИКИ К УСЛОВИЯМ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ

Беккер В.Ф., канд. техн. наук, проф.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Сепарация блока губчатого титана – высокотемпературная вакуумная отгонка примесей магния и хлорида магния рассматривается как некоторый тепловой процесс изменения массы и фазовых состояний компонентов, отображаемый рядом физических и теплофизических параметров. По сути сплошное цилиндрическое тела подвергается нагреванию определенным тепловым потоком \dot{Q} через поверхность с площадью F и отдает тепло конвективным теплообменом через противоположную поверхность (см. рис. 1).

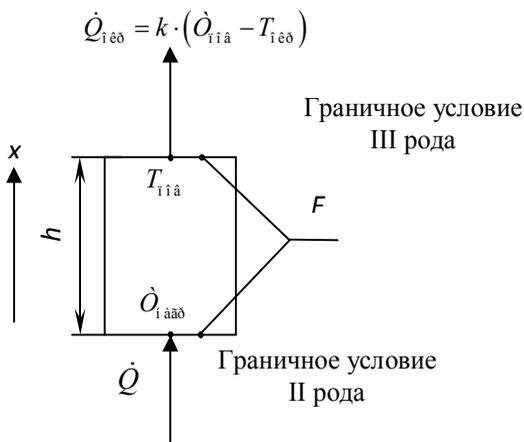


Рисунок 1 – Схема объекта управления (ОУ)

Обозначим необходимые для описания процесса переменные: h – высота объекта, м; $T_{i\dot{i}\dot{a}}$ – температура поверхности объекта, К; $T_{i\dot{a}\dot{a}\dot{o}}$ – температура нагревателя, К; \dot{Q} – подводимый тепловой поток, $\hat{A}\dot{o}/i^2$; $\dot{Q}_{i\dot{e}\dot{o}}$ – тепловой поток в окружающую среду, $\hat{A}\dot{o}/i^2$; F – площадь

поверхности объекта, м^2 ; k – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Построим математическую модель объекта управления, выходной (регулируемой) величиной которого является температура в аппарате вакуумной сепарации, а регулирующее воздействие – изменяемый внешним регулирующим устройством поток подводимого тепла \dot{Q} . В

состоянии равновесия: $\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{окр}} = \dot{Q}_{\text{равн}}$, где $\dot{Q}_{\text{оооо}}$ – равновесный тепловой поток, $\text{Вт}/\text{м}^2$. По закону Фурье

$\dot{Q} = -\lambda \cdot \text{grad}(T) \approx -\lambda \cdot \frac{T_{\text{иá}} - T_{\text{ооо}}}{h}$, где λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Оценим необходимую для сепарации температуру объекта $T_{\text{ооо}}$

$$T_{\text{ооо}} \approx T_{\text{иá}} + \frac{\dot{Q}_{\text{ооо}} h}{\lambda} \quad (1)$$

Закон изменения $T(x)$ внутри объекта неизвестен. Предположим в первом приближении линейное изменение $T(x) \approx T_0 + T_1(x)$ $x \in [0, h]$,

введем среднюю температуру: $T_{\text{ооо}} \approx T_{\text{иá}} + \dot{Q}_{\text{ооо}} \frac{h}{2\lambda}$.

Такую же температуру имеет центр тела объекта. В неравновесном состоянии, когда $\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{иоо}}$, температура тела будет изменяться за счет

изменения теплосодержания $\Delta Q = M\tilde{c}\Delta T_{\text{ооо}}$, где ΔQ – количество теплоты, накопленное объектом, Дж; M – масса объекта, кг, определяемая через объем и плотность $M = \rho \cdot V = \rho \cdot F \cdot h$; ρ –

плотность объекта, $\text{кг}/\text{м}^3$; c – удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. С другой стороны, за время Δt теплосодержание за счет разности

тепловых потоков изменится на $\Delta Q = (\dot{Q} - \dot{Q}_{\text{иоо}}) \cdot \Delta t \cdot F$. Приравнявая записанные в дифференциалах левые части уравнений с учетом

$\dot{Q}_{\text{иоо}} = k(T_{\text{иá}} - T_{\text{иоо}})$, и разделив обе части получающегося уравнения на F , dt и k , получаем

$$\frac{\rho \cdot h \cdot c}{k} \cdot \frac{dT_{\text{нóáá}}}{dt} = \frac{\dot{Q}}{k} - (T_{i\grave{a}} - T_{i\grave{èè}}) \quad (2)$$

Используя уравнение (2), выразим $T_{\text{пов}}$ через $T_{\text{сред}}$ и далее обозначая $T_{\text{нóáá}} = T$, имеем

$$\frac{\rho \cdot h \cdot c}{k} \cdot \frac{dT}{dt} + T(t) = \left(\frac{1}{k} + \frac{h}{2\lambda} \right) \cdot \dot{Q}(t) - T_{i\grave{èè}}(t) \quad (3)$$

Выполним замену переменных в формуле (3):

$$T(t) = \bar{T} + \Theta(t), \quad T_{i\grave{èè}}(t) = \bar{T}_{i\grave{èè}} + \Delta T_{i\grave{èè}}(t), \quad \dot{Q}(t) = \bar{\dot{Q}} + \Delta \dot{Q}(t),$$

где $\bar{T}, \bar{T}_{i\grave{èè}}, \bar{\dot{Q}}$ – средние значения $T, T_{i\grave{èè}}, \dot{Q}$. Записывая уравнение в изменяющихся во времени отклонениях от средних значений величин $\Theta(t), \Delta T_{i\grave{èè}}(t), \Delta \dot{Q}(t)$, получаем

$$\frac{\rho \cdot h \cdot c}{k} \cdot \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = \left(\frac{1}{k} + \frac{h}{2\lambda} \right) \cdot \Delta \dot{Q}(t) + \Delta T_{i\grave{èè}}(t) \quad (4)$$

Обозначим $T_{i\grave{a}} = \frac{\rho \cdot h \cdot c}{k}$, $k_{i\grave{a}} = \left(\frac{1}{k} + \frac{h}{2\lambda} \right)$, где $T_{\text{об}}$ – постоянная времени объекта, s ; $k_{\text{об}}$ – коэффициент передачи, $(i^2 \cdot \hat{E}) / \hat{\Delta} \dot{\theta}$. Тогда

$$T_{i\grave{a}} \cdot \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = k_{i\grave{a}} \cdot \Delta \dot{Q}(t) + \Delta T_{i\grave{èè}}(t)$$

уравнение (4) примет вид:

Преобразуя по Лапласу это уравнение, делим обе части уравнения на $T_{i\grave{a}}s + 1$:

$$\frac{\Theta(s) \cdot (T_{i\grave{a}}s + 1)}{T_{i\grave{a}}s + 1} = \frac{k_{i\grave{a}} \cdot \Delta \dot{Q}(s)}{T_{i\grave{a}}s + 1} + \frac{\Delta T_{i\grave{èè}}(s)}{T_{i\grave{a}}s + 1} \quad (5)$$

Получено операторное уравнение для температуры объекта

$\Theta(s) = W(s) \cdot \Delta \dot{Q}(s) + W_{i\grave{èè}}(s) \Delta T_{i\grave{èè}}(s)$, где $W(s) = \frac{k_{i\grave{a}}}{T_{i\grave{a}}s + 1}$ – передаточная функция объекта по каналу управления тепловым

воздействием, $W_{i\grave{èè}}(s) = \frac{1}{T_{i\grave{a}}s + 1}$ – передаточная функция объекта по

каналу возмущения изменением температуры окружающей среды. Вид передаточных функций совпадает с результатами работы [3], где предложено моделировать различные зоны нагрева печи вакуумной сепарации звеньями первого порядка с запаздыванием.

В ходе процесса сепарации параметры объекта изменяются. Учитывая это обстоятельство, передаточную функцию объекта по каналу теплового воздействия следует записать в виде

$W(s) = \frac{k_{i\dot{a}}(T, t)}{T_{i\dot{a}}(T, t)s + 1}$, где параметры звена $k_{i\dot{a}}(T, t)$ и $T_{i\dot{a}}(T, t)$ являются функциями двух переменных – температуры объекта T и времени процесса t . Разлагая в ряд Тейлора функцию $k_{i\dot{a}}(T, t)$ по степеням $(T - T_0)^k$ и $(t - t_0)^k$ для $k = 1, 2$ в окрестности точки (T_0, t_0) , получаем

$$k_{i\dot{a}}(T, t) = (T - T_0) \frac{\partial [k_{i\dot{a}}(T_0, t_0)]}{\partial T} + (t - t_0) \frac{\partial [k_{i\dot{a}}(T_0, t_0)]}{\partial t} + R_2(T, t) \quad (6)$$

Аналогично для функции $T_{i\dot{a}}(T, t)$

$$T_{i\dot{a}}(T, t) = (T - T_0) \frac{\partial [T_{i\dot{a}}(T_0, t_0)]}{\partial T} + (t - t_0) \frac{\partial [T_{i\dot{a}}(T_0, t_0)]}{\partial t} + R_2(T, t) \quad (7)$$

Полученные уравнения (6) и (7) показывают возможность представления и последующей идентификации зависимостей $k_{i\dot{a}}(T, t)$ и $T_{i\dot{a}}(T, t)$ на основе связей вида

$$k_{i\dot{a}}(T, t) = k_{i\dot{a}}(T) + k_{i\dot{a}}(t), \quad T_{i\dot{a}}(T, t) = T_{i\dot{a}}(T) + T_{i\dot{a}}(t) \quad (8)$$

Исследуем сначала найденные ранее зависимости $k_{i\dot{a}}(T)$ и $T_{i\dot{a}}(T)$ параметров объекта управления от температуры и времен сепарации в

виде $k_{i\dot{a}}(T) = \frac{1}{k} + \frac{h(t)}{2\lambda(T)}$ и $T_{i\dot{a}}(T) = \frac{\rho(T) \cdot h(t) \cdot c(T)}{k}$. Таким образом величина коэффициента теплопередачи k принята постоянной в течение всего процесса сепарации. Удельная теплопроводность $\lambda(T)$ и удельная теплоемкость $c(T)$ рассматриваются функциями температуры T .

Предполагаем далее, что в соответствии с [2], что скорость высокотемпературной отгонки под вакуумом пропорциональна количеству примесей, находящимся внутри аппарата в данный момент времени. Для коррекции изменяющейся в процессе отгонки примесей массы блока, условно уменьшается его высота, представленная зависимостью $h(t) = h_0 e^{-t/T}$, где h_0 – начальная высота, пропорциональная сплошному объему блока губчатого титана, приведенному к высоте при постоянной площади сечения реторты; m ; T – постоянная времени процесса сепарации, ч (принято $T = 8$ ч); t – время сепарации, ч. Получены зависимости массы компонентов блока от времени сепарации.

Исследуемая область температуры блока губчатого титана в процессе вакуумной сепарации ограничена диапазоном: $T = 273 \dots 1323$ К. Теплопроводность блока губчатого титана $\lambda(T)$, Вт/(м·К) складывается из теплопроводности основных компонентов. Теплопроводность магния в твердом состоянии при $T = 273 \dots 923$ К описывается соотношением $\lambda_{Mg}(T) = 159.833 + 0.0175 \cdot T$ Вт/(м К). В жидком состоянии при $T = 923 \dots 1323$ К теплопроводность магния принята постоянной и равной $\lambda_{Mg} = 84$ Вт/(м К). Удельная теплопроводность титана принята равной $\lambda_{Ti} = 20$ Вт/(м К), хлорида магния – $\lambda_{MgCl_2} = 1,1$ Вт/(м К). По окончании процесса восстановления в реторте, направляемой на сепарацию, содержится около 60% (масс.) Ti, 20...30% Mg и 10...20% MgCl₂ [1]. Теплопроводность блока [3]:

$$\lambda(T) \approx 0,6 \cdot \lambda_{Ti} + (0,2 \dots 0,3) \cdot \lambda_{Mg}(T) + (0,1 \dots 0,2) \cdot \lambda_{MgCl_2}(T)$$

Построены графики зависимостей от температуры и времени

$$k_{i\dot{a}}(T) = \frac{1}{k} + \frac{h(t)}{2\lambda(T)}$$

сепарации коэффициента усиления производительности реторт – 7т, 6т, 5т при одинаковом содержании примесей – 50%. Определены зависимости коэффициента усиления для реторт производительностью 7т при разном содержании примесей – 30%, 40%, 50%. Особенностями семейства этих графиков является наличие скачкообразного изменения коэффициента усиления при изменении фазового состояния компонентов.

Рассчитаны зависимости постоянной времени объекта $T_{i\dot{a}}(T)$ от изменения температуры T в виде $T_{i\dot{a}}(T) = \rho(T) \cdot h(t) \cdot c(T) / k$ и времени сепарации t . Для этого, в соответствии с [3], рассчитаны зависимости теплоемкости материалов от их температуры. Плотность материала блока $\rho(T)$ приведена к сплошной массе корректировкой высоты блока $h(t)$ и затем составлена как аддитивная плотность компонентов. Теплоемкость блока в зависимости от температуры представлена следующими зависимостями для компонентов $c_{Mg}(T) = 929.583 + 0.4275 \cdot T - 17.5 \cdot 10^5 T^{-2}$ Дж/(кг К) в твердом состоянии, $c_{Mg} = 1325.42$ Дж/(кг К) в жидком состоянии, $c_{MgCl_2}(T) = 841.702 + 0.06319 \cdot T - 25.213 \cdot 10^5 T^{-2}$ Дж/(кг К) в твердом состоянии; $c_{MgCl_2} = 984.149$ Дж/(кг К) в жидком состоянии, $c_{Ti}(T) = 461.25 + 0.214583 \cdot T$ Дж/(кг К),

Для принятой температуры перехода Mg из твердого в жидкое состояние $T = 923$ К, и для $MgCl_2 T = 986$ К теплоемкость блока находим по формуле $c(T) = 0,6 \cdot c_{Ti}(T) + 0,2 \cdot 0,3 \cdot c_{Mg}(T) + 0,1 \cdot 0,2 \cdot c_{MgCl_2}(T)$.

Плотность титана 4350 кг/м^3 , магния 1800 кг/м^3 , $MgCl_2$ порядка 2700 кг/м^3 , плотность материала реторты 2217 кг/м^3 , следовательно, средняя плотность реакционной массы: $\rho = 2863,5 \dots 2818,5 \text{ кг/м}^3$.

Пример: Рассчитать параметры объекта управления $k_{i\dot{a}}$ и $T_{i\dot{a}}$ по формулам (15) при следующих физических параметрах процесса: $\rho = 2850 \text{ кг/м}^3$, высоте реторты $h = 4,3 \text{ м}$, теплоемкости загрязненного блока губчатого титана и реторты $c = 0,5 \cdot 500 + 0,5 \cdot 596 = 548 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$, коэффициенте теплопередачи $k = 6000 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, коэффициенте теплопроводности загрязненного губчатого титана и реторты $\lambda = 0,5 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 26 = 13,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

$$T_{i\dot{a}} = \frac{\rho \cdot h \cdot c}{k} = 1119,29 \text{ с}; \quad k_{i\dot{a}} = \frac{\lambda + \frac{k \cdot h}{2}}{k \cdot \lambda} = 0,16 \frac{\text{м}^2 \cdot \hat{E}}{\hat{\Delta} \delta}$$

Выводы. Решена задача описания динамических свойств аппарата сепарации по каналу управления температурой процесса изменением потока подаваемого тепла. Предложена методика и описаны

получаемые в ходе ее применения зависимости параметров объекта управления от его состояния в процессе высокотемпературной вакуумной сепарации для различной производительности аппарата и степени загрязнения примесями исходного блока губчатого титана.

Список литературы:

1. Титан / В.А. Гармата, А.Н. Петрунько, Н.В. Галицкий, Н.В. Олесов. М.: Металлургия, 1983. 560 с.
2. Беккер В.Ф. Оценка запаздывания температуры в динамике нестационарной сепарации губчатого титана // Науч.-техн. вестн. Поволжья. 2013. №2. С. 82-84.
3. Справочник теплофизика. <http://thermalinfo.ru/>
4. Химическая энциклопедия. <http://www.ximuk.ru/encyklopedia/html>

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА

**Белоусов А.В., канд. техн. наук, проф.,
Кошлич Ю.А., инженер,
Шевкунов А.А., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Ширяев В.К., технический директор
ЗАО «Краснов», г. Новомосковск, Тульской обл.

Чтобы автоматизировать технологические процессы, необходимо прежде всего их познать. Зачастую на практике процесс познания заключается в получении математической модели объекта управления на основе экспериментальных данных, снятых при проведении ряда экспериментов. Обобщенно вышеописанные действия носят название «идентификация» и позволяют однозначно определить связь между входом и выходом объекта управления.

Ниже рассмотрена задача определения математической модели объекта управления, представляющего собой часть трубопровода, посредством которого осуществляется подача газа к водогрейному котлу. Так как рассматриваемый трубопровод имеет большой диаметр ($D_y = 100$ мм), сложную геометрическую форму (множество изгибов) и большое расстояние ($L = 40$ м) между исполнительным устройством (клапаном) и измерительным устройством (диафрагмой расходомера), то динамика этого участка оказывает существенное влияние на качество функционирования системы регулирования.

Переходные процессы в линейном объекте с сосредоточенными параметрами можно описать дифференциальным уравнением вида

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 y(t) &= (1) \\ &= b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} + \dots + b_0 x(t) \end{aligned}$$

или передаточной функцией вида

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{\int_0^{\infty} y(t) e^{-pt} dt}{\int_0^{\infty} x(t) e^{-pt} dt} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0} \quad (2)$$

где $X(p)$ и $Y(p)$ – преобразованные по Лапласу входная $x(t)$ и

выходная $y(t)$ координаты; $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0, b_n, b_{n-1}, \dots, b_0$ – постоянные коэффициенты; $n \leq m$. Нахождение уравнений (1) и (2) может производиться экспериментальным путем, который заключается в снятии кривой разгона и аппроксимации ее решением линейного дифференциального уравнения (1) с постоянными коэффициентами и нулевыми начальными условиями. На практике для исследования динамики объекта возможно применение нескольких методов, отличающихся трудоёмкостью вычисления и степенью точности полученного результата.

На начальном этапе идентификации необходимо получить ряд кривых разгона объекта. Для этого проводятся серии экспериментов (не менее 4) по снятию выходных значений при подаче на вход объекта ступенчатого воздействия, после чего производится нормирование и усреднение экспериментальных значений.

Для исследуемого объекта после выполнения вышеописанных действий был получен следующий вид нормированной, сглаженной и усредненной кривой разгона (рис. 1), где по оси абсцисс отложено время t (сек.), а по оси ординат – выходная величина $h(t)$ ($\text{м}^3/\text{ч}/\%$ хода ИУ).

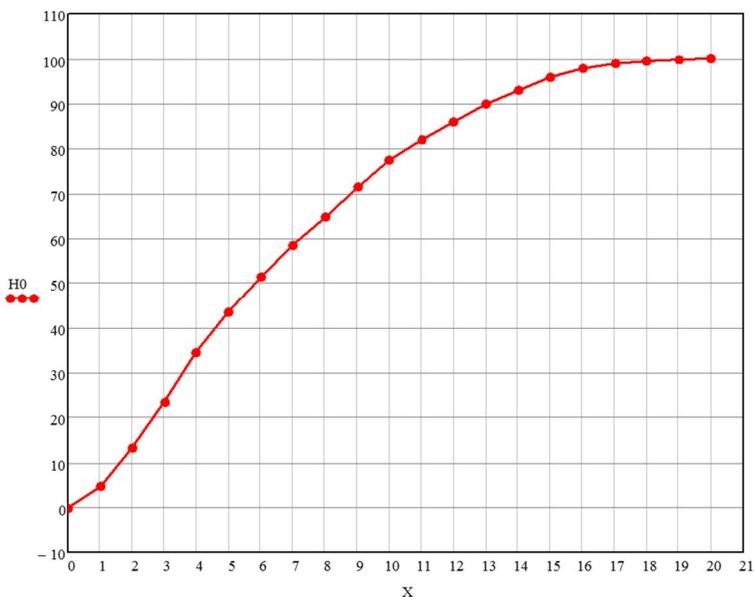


Рисунок 1 – Вид кривой разгона исследуемого объекта

После выполнения первого этапа встает вопрос о необходимой точности математической модели и сложности ее получения. Рассмотрим несколько методов получения модели по экспериментальным данным, а в качестве вывода о проделанной работе приведем графики переходных процессов для каждой из полученных моделей.

Первый способ – это использование графического метода определения передаточной функции [1]. Эта методика позволяет получить модель объекта в виде звена 1-го порядка, что является допустимым и достаточным для выполнения оценочного исследования объекта управления.

В данном случае объект будет иметь следующую передаточную функцию:

$$W(p) = \frac{100 \cdot e^{-2p}}{9s+1} \quad (3)$$

Предложенная методика позволяет быстро и достаточно точно получить динамическую характеристику объекта управления.

Второй способ – это использование метода Ольденбурга-Сарториуса [2,3]. Эта методика позволяет получить передаточную функцию в виде звена 2-го порядка, используя графические данные и специальные номограммы.

При расчете, применяя данный метод, получили следующую передаточную функцию:

$$W(p) = \frac{100 \cdot e^{-2p}}{(4.95s+1)(1.43s+1)} \quad (4)$$

Данный вариант расчета так же является оценочным, но уровень точности описания действительного переходного процесса существенно выше, чем при использовании первого способа.

Третий способ – использование метода последовательного логарифмирования [2,4]. Этот метод использует сочетание графической и аналитической методик, что увеличивает точность модели, но одновременно с этим приводит к значительному усложнению проводимых вычислений.

В результате идентификации была получена следующая передаточная функция:

$$W(p) = \frac{100 \cdot e^{-2p}}{(4.831s+1)(2.101s+1)} \quad (5)$$

Можно сказать, что рассматриваемый вариант является наиболее точным, так как при вычислении коэффициентов используются сложные аналитические выражения, связанные с логарифмированием

экспериментальных значений.

На рис. 2 приведены результаты имитационного моделирования в программной среде Simulink.

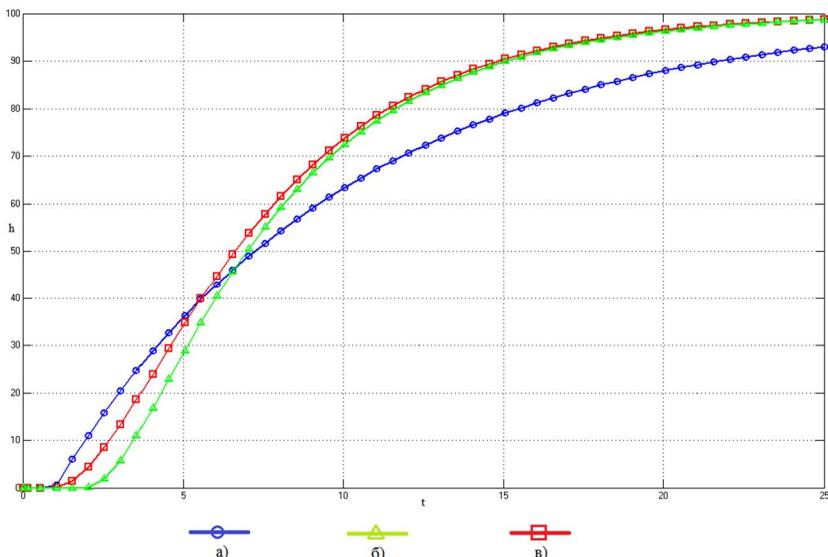


Рисунок 2 – Вид переходных процессов в результате моделирования передаточных функций, вычисленных: а) первым способом; б) вторым способом; в) третьим способом.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что всегда при выборе того или иного метода идентификации объекта необходимо сначала определить требуемую точность описания модели и порядок получаемого полинома. Как видно из приведенных графиков, каждый из методов с разной степенью достоверности описывает переходный процесс, что даёт право использовать каждый из рассмотренных вариантов.

Список литературы:

1. Солодовников В.В. Теория автоматического регулирования. Книга 2. Анализ и синтез линейных непрерывных и дискретных систем автоматического регулирования. М.: «Машиностроение», 1967. 682 с.

2. Балакирев С.В., Дудников Е.Г., Цирлин А.М. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. М.:«Энергия», 1967. 232 с.
3. Шарпатая А.В., Мамышев Д.Е., Рыбин И.А. Параметрическая идентификация объекта управления в виде апериодического звена 2-го порядка [Электронный ресурс] // Международная научно-техническая студенческая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова: сб. докл. Междунар. конф., Белгород, май 2012 г. / Белгор. гос. технол. ун-т. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 1 электрон.опт. диск (CD ROM).
4. Порхало В.А. Автоматизация процесса обжига клинкера на основе статистической идентификации динамических параметров вращающейся печи: дисс. канд. техн. наук: Д 12.014.05: защищена 18.05.12: утв. 19.11.12 / Порхало Василий Александрович. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012, 118 с. (руководитель: Рубанов Василий Григорьевич).

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОБЪЕМНЫХ ДИСПЛЕЕВ

Большаков А.А., д-р техн. наук, проф.,

Железов М.А., студент,

Лобанов В.В., канд. техн. наук, доц.,

Никонов А.В.,

Сгибнев А.А., аспирант

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.*

В последнее время прослеживается тенденция к повышению роли объемной визуализации. В н/ввизуализация виртуальной реальности приобретает все большее значение, что особенно ярко проявляется в связи с появлением современных средств отображения информации в виде объемных дисплеев. В [1] анализируются результаты технических решений в этой сфере: от одноракурсных автостереоскопических дисплеев с параллаксным барьером, голографических дисплеев, позволяющих создавать полноцветные голограммы статичных объектов (группа Сатоси Каваты из университета Осаки, Япония), волюметрических дисплеев "Perspecta Spatial 3D" компании Actuality Systems, лаборатории ICT Graphics Lab при Южнокалифорнийском университете (США) и корпорации «Sony», на которых формирование изображения производится проецированием сечений компьютерных моделей объекта на быстро вращающемся экране, до безэкранные технологии ученых Keio University и компании Burton Inc. (Япония).

Однако, несмотря на возрастающие потребности и возможности в создания подобной техники, современные волюметрические дисплеи по-прежнему характеризуются рядом серьезных недостатков, а именно: низкое качество получаемого объемного изображения, отсутствие его материальной проницаемости, технологическая либо программная избыточность решений, наличие движущихся частей.

В связи с этим предлагается ряд методов воспроизведения объемных объектов на базе оригинальных проекционных систем, которые позволяют в режиме реального времени и без математической обработки восстанавливать промежуточные азимутальные изображения реального или виртуального объекта по его опорным образам.

В обзоре реализаций методов можно проследить общую тенденцию развития дисплейной техники будущем, а именно стремление к

созданию проницаемого изображения, формируемого без движущихся частей.

Работу предлагаемого устройства, а также реализацию предложенного метода формирования трехмерных изображений рассмотрим на примере исполнения объемного дисплея в варианте с неподвижным цилиндрическим зеркалом (рис. 1) Подробная информация о данной конструкции опубликована в [2].

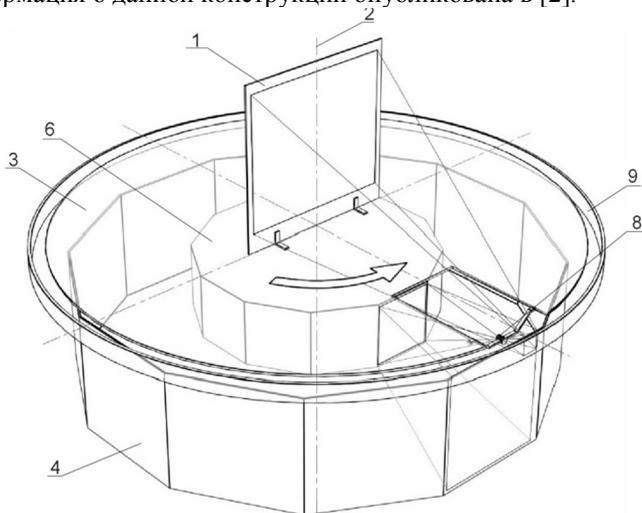


Рисунок 1 – Метод формирования трехмерных изображений и объемный дисплей

Предварительно записанные или получаемые в процессе демонстрации кадры съемки демонстрируемого предмета с 12 ракурсов (например, с 12 видеокамер), выводятся на боковые грани внутренней стороны многогранного проектора 4. Для разных реализаций дисплея эти грани могут быть составлены из LCD – панелей с собственной или внешней подсветкой, или LCOS – панелей, работающих на отражение. При использовании устройства для демонстрации только статичных изображений (объемных слайдов) в качестве источников опорных образов могут использоваться фотографии объекта с необходимых ракурсов, напечатанные на определенном носителе (например, на фотопленке или фотобумаге) и удерживаемые в правильном положении (т.е. по граням многогранного проектора 4) специальными направляющими или прозрачными обоями. Такие источники

изображения в зависимости от свойств их носителя могут работать в отраженном или проходящем свете, получаемом от осветительной системы дисплея.

Во время работы дисплея платформа 3, закрепленные на ней экран 1 и объектив 8 проекционной оптики 5 вращаются вокруг оси 2, являющейся центром поворотной симметрии дисплея. Если плоскость экрана 1 занимает перпендикулярное положение азимуту одного из опорных растровых образов, растровый образ полностью отразится в оппозитной ему грани зеркального многогранника 6 затем, пройдя через фокусирующий объектив 8 и отразившись от цилиндрического зеркала 9, будет спроецирован на экран 1 (ход лучей показан тонкими линиями).

При повороте из этого положения платформы 3 на некоторый угол (для двенадцатигранного проектора на угол меньше 30°) в "поле зрения" объектива 8 окажутся опорные растровые образы, находящиеся в текущий момент времени на смежных гранях многогранного проектора 4. Эти растровые образы представляют кадры съемки демонстрируемого объекта с ракурсов, развернутых один относительно другого на угол в 30° . На основе выбранной конфигурации и взаимного положения проектора 4 и зеркального многогранника 6 эти растровые образы будут совмещены в плоскости экрана 1 своими центрами. Части этих опорных изображений, отраженные от смежных граней зеркального многогранника 6 проходят через объектив 8 и проецируются на экран 1 в виде составного изображения. Доли опорных изображений в составном пропорциональны угловому смещению объектива 8 по отношению к азимутальным направлениям на смежные грани проектора 4, а состыковка изображений осуществляется по вертикальной границе или по границе, проходящей под небольшим углом к вертикали. Ширина зоны совмещения двух смежных опорных изображений на экране 1 зависит от степени скругленности стыка двух смежных отражающих плоскостей зеркального многогранника 6. При перемещении объектива 8 от одного из этих растровых образов к другому происходит постепенное замещение первого изображения вторым примерно так, как замещается изображение на экране монитора компьютера, только по горизонтали, т.е. каждому текущему азимутальному положению объектива 8 соответствует собственное изображение на экране 1, которое немного отличается от предыдущего. Сформированное изображение, отразившись от зеркала 9, проецируется на экран 1, который движется вместе с платформой 3 и объективом 8 и в каждый момент времени перпендикулярен азимутальному положению объектива 8. Для корректировки искажений от зеркала 9 в состав

объектива 8 вводится цилиндрическая линза, несколько растягивающая изображение по горизонтали.

Если реальную область вывода изображения дисплея вышеописанной системы разместить между двумя параболическими зеркалами, пользователю будет казаться, что демонстрируемый объемный объект помещен над верхним параблоидом. Схема дисплея предлагаемой конструкции приведена на рис. 2 [3].

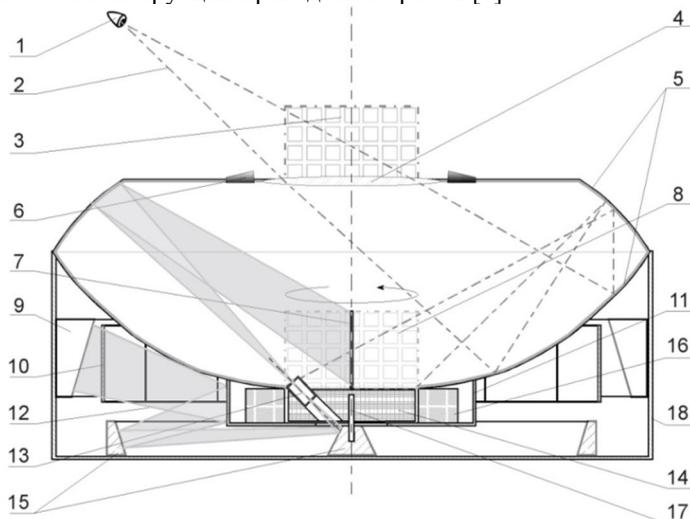


Рисунок 2 – Схема объемного дисплея с круговым обзором и виртуальной рабочей областью: 1. Глаза наблюдателя. 2. Траектория световых лучей. 3. Виртуальная рабочая зона. 4. Стеклянная пластина или линза Френеля. 5. Параболические зеркала. 6. Датчики перемещения. 7. Вращающийся проекционный экран. 8. Область вывода объемного объекта. 9. Осветительная система дисплея. 10. Просветные LCD-матрицы в гранях многогранного проектора. 11. Зеркальный многогранник. 12. Граничная траектория лучей проектора. 13. Объектив. 14. Ротор двигателя. 15. Конусные отражатели. 16. Статор двигателя. 17. Ось. 18. Основание дисплея

Наблюдатель 1 видит лучи света 2, которые претерпевают двойное отражение (с самопересечением) на основе двух параболических зеркал 5. При этом у наблюдателя создается иллюзия, что генерируемый образ объекта, располагается в виртуальной рабочей зоне 3. Отверстие в верхнем зеркале 5 закрыто плоской стеклянной пластиной 4 или тонкой

линзой Френеля. В верхней части дисплея установлены инфракрасные и/или оптические датчики 6, регистрирующие движение рук оператора. Датчики подключены к системе считывания координат и распознавания движений. Для управления деталями формируемого изображения возможно использование системы multi-touch, основанной на распознавании сложных, естественных для человека жестов, например, жест "вытаскивания" предмета из его пространственного окружения или "перемещения" в указанное место. Система координат виртуальной рабочей зоны дисплея корреспондируется с координатами элементов компьютерной модели объекта демонстрации. Это позволяет осуществлять простое управление объемным объектом в режиме реального времени, используя существующее программное обеспечение (например OpenGL). В процессе работы предполагается развитие существующего и создание собственной программы для более качественного управления объемными объектами.

В остальном эта конструкция объемного дисплея отличается от предыдущей системы пространственным размещением основных узлов, сохраняя как их назначение, так и количество. Дисплей имеет аналогичную прототипу оптическую систему и осесимметричную конфигурацию, поэтому он сохраняет такие важные черты, как возможность формирования высококачественного объемного изображения, наблюдаемого массовой аудиторией в круговую без применения индивидуальных средств. К полезным качествам прототипа предлагаемый дисплей может добавить вывод и удобное бесконтактное интерактивное управление объектом демонстрации, непосредственно в пустом пространстве. Следует отметить недостаток системы, заключающийся в небольшом размере рабочей области дисплея по сравнению с параболическими зеркалами. Этот недостаток планируется убрать устранить в процессе дальнейших исследований.

Следующим шагом к созданию качественного объемного дисплея является предлагаемая конструкция (рис. 3).

Разработанный метод технически реализуется следующим образом: на планарных LCD дисплеях формируется ряд изображений, состоящих из стереопар объекта в различных ракурсах. Эти изображения в совокупности можно рассматривать как отображение объемного объекта в полярной системе координат. На основе системы линз и зеркал, изображения переносятся на нижнюю часть зеркального многогранника, в котором осуществляется преобразование этих переходных изображений в декартовую систему координат, с частичным перекрытием областей воспроизведения. От этого

многогранника изображение переносится на многогранную или цилиндрическую поверхность, покрытую световозвращающим материалом, на которой его следует рассматривать как переходное изображение объекта в цилиндрической или многогранной кусочно-планарной системе координат (с плоскостями частичных областей параллельными оси дисплея).

При этом, необходимость использования световозвращающего покрытия обуславливается, во-первых, обязательностью сохранения основных азимутальных составляющих траекторий всех лучей падающего светового потока и, во-вторых, желательностью увеличения их полезной интенсивности (т.е. уменьшения доли неэффективного рассеяния лучей).

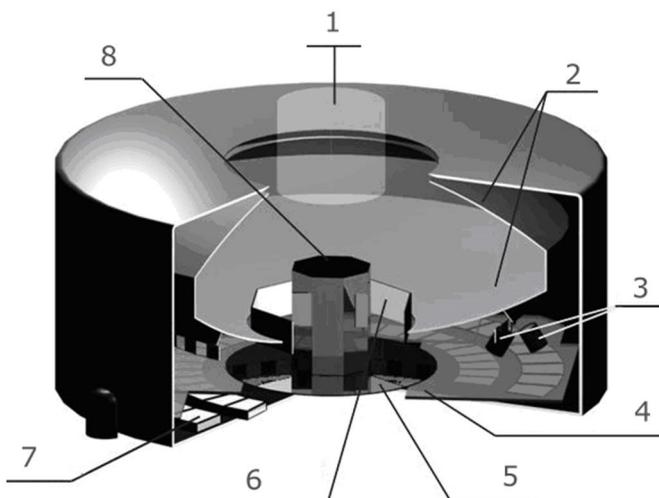


Рисунок 3 – Конструкция объёмного дисплея с круговым обзором и виртуальной областью изображения:

1. Виртуальная область изображения. 2. Параболические зеркала. 3. Линзы (всего 72, на схеме показаны только две). 4. LCD-дисплеи, восемь штук.

5. Зеркало. 6. Многогранная или цилиндрическая поверхность, покрытая световозвращающим материалом.

7. Светодиодная подсветка. 8. Зеркальный многогранник

Далее изображения проецируются на верхнюю часть зеркального многогранника, создавая множественные композитные изображения с

центрами по оси дисплея, воспринимаемые наблюдателями как объёмный предмет в 3-мерных декартовых координатах. Это свойство предлагаемой схемы основано на постулате о полной обратимости траекторий световых лучей в системах с линейной оптикой. Затем с использованием параболических зеркал это изображение ретранслируется в пространство управления, свободное от материальных тел.

Таким образом, из проведенного системного анализа можно проследить общую тенденцию развития средств визуализации объёмной информации. Предлагаемые объёмные дисплеи могут быть использованы для демонстрации динамических реальных и виртуальных объектов в различных сферах человеческой деятельности.

Список литературы:

1. Большаков А.А., Никонов А.В. Анализ технических решений при создании 3D-дисплеев и новый способ разработки объёмного дисплея // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. №1 (64). Вып. 2. С. 332-336.
2. Большаков А.А., Никонов А.В. Метод формирования трехмерных изображений для объёмных дисплеев // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. №1 (64). Вып. 2. С. 337-342.
3. Железов М.А., Большаков А.А. Разработка трехмерного автостереоскопического интерактивного дисплея с круговым обзором // Участники школы молодых ученых и программы УМНИК: сб. трудов XXVI Междунар. науч. конф.: в 2-х ч. Часть 1 / под общ.ред. ред. А.А. Большакова. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2013. С. 3-5.

СОЗДАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО МОДУЛЯ ВТОРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

**Большаков А.А., д-р техн. наук, проф.,
Лачугин Д.В., аспирант, ассистент,
Лобанов В.В., канд. техн. наук, доц.**

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.*

В настоящее время в различных областях науки и техники все большее распространение получают распределенные информационные системы (ИС) для сбора, обработки и хранения целевых данных. Возрастает их сложность и ресурсоемкость, что увеличивает объем информации, который необходимо обрабатывать с использованием распределенных систем с учетом требований функционирования и с жесткими временными ограничениями. Это обуславливает целесообразность работы с потоковой информацией. При этом требуется применение специализированных вторичных преобразователей информации. Применение таких преобразователей актуально в различных прикладных областях: ИС в области технической диагностики, анализа и распознавания сигналов в системах связи, геофизических сигналов, изображений и т.д. Примером может являться структура распределенной ИС, предложенной в работе [1].

Одно из направлений по совершенствованию технической базы средств вычислительной техники и элементов систем управления заключается в повышении их производительности и эффективном использовании пропускной способности каналов передачи. Этого можно добиться применением компрессии. Для сжатия разработано множество общих и специализированных алгоритмов для определенных типов данных, которые содержат в основе различные математические аппараты: преобразование Фурье, разложение в ряд Тейлора, метод Лагранжа, фрактальный алгоритм, алгоритмы Лемпела-Зива-Велча (LZW), и Хаффмана, арифметическое кодирование и т.д. Наиболее перспективным направлением, по нашему мнению, является теория вейвлетов. Этот математический аппарат предлагается использовать для обработки потоковой информации в адаптивной системе преобразования данных. Алгоритмы компрессии потоковой информации могут быть реализованы тремя способами: а) аппаратно, б) программно, в) программно-аппаратно [2,3].

Аппаратный метод обеспечивает возможность осуществлять работу в режиме реального времени. Обычно такие системы строятся на основе специализированных больших интегральных схем (БИС) и сверхбольших интегральных схем (СБИС). Этот метод активно развивается [4], однако недостатком такого подхода является специализация на определенном типе данных, что обеспечивает хорошие результаты, если известна область применения заданной ИС, но ограничивает возможность применить преобразователи информации к более широкому классу задач. Кроме того специализированные процессоры, фильтры и другие элементы очень дороги и поэтому их применение экономически оправдано только в массовых высокотехнологичных средствах связи или компонентах вычислительной техники. Например, микросхемы ADV601, ADV202 фирмы Analog Devices или CS6590 компании Amphion реализуют сжатие по стандарту JPEG2000.

Программный метод позволяет наиболее гибко подойти к реализации алгоритмов компрессии, реализованных в ИС, применительно к различным типам обрабатываемых данных. Однако выполнение программного алгоритма на неспециализированных процессорах требует значительных вычислительных ресурсов, и этот подход непригоден в областях с жесткими временными ограничениями. В данном направлении ведутся интересные исследования, например, описанный в работе [5] подход к созданию аппаратно-ориентированных вейвлетов (АОВ), синтезированию компактных и быстрых вычислительных алгоритмов оценки полезного сигнала в присутствии шума. Причем АОВ конструируются с учетом априорной информации о приборе, о природе и характере шума и полезного сигнала для более точного учета влияния вносимых возмущений. Таким образом, возникает необходимость создание программно-аппаратной среды для исследования возможностей и характеристик адаптивной обработки информации.

Для обработки потоковой информации в адаптивной системе преобразования данных нами предлагается использование программно-аппаратного подхода, который позволяет объединить положительные стороны двух вариантов, описанных выше. Вторичный преобразователь (ВП) информации состоит из двух частей (host и клиент), которые объединены с использованием сети Ethernet и могут быть географически разнесены на значительные расстояния (рис. 1). Однако применение связующей сети Ethernet приводит к возникновению проблем, обусловленных недостаточной пропускной способностью

канала связи. Поэтому во вторичном преобразователе необходим блок, осуществляющий компрессию и декомпрессию потока данных.

Серверная (host) сторона представляет часть приложения, установленного на PC, реализуя программный (гибкий) подход к агрегированию управляющих функций. Клиентская часть находится на аналитическом приборе (системе сбора показателей объекта), который обладает развитой системой ввода сигналов датчиков первичных преобразователей (ПП) информации и вывода сигналов на управляющие узлы, однако не имеет значительных вычислительных ресурсов. Несмотря на то, что современная элементная база позволяет использовать достаточно большие скорости вычислений, требование достижения максимального эффекта при минимальном заданном числе операций сохраняется.

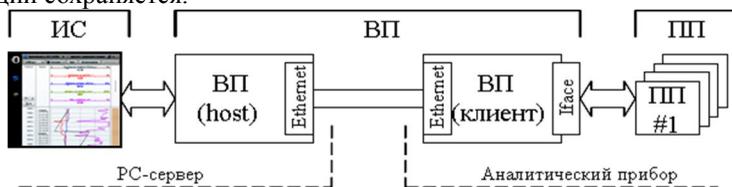


Рисунок 1 – Схема разделения функций вторичного преобразователя

Адаптивная система преобразования информации обеспечивает возможность подстраиваться под достаточно широкий набор данных с различными статистическими характеристиками, а не специализироваться на определенном виде. Это требование осуществимо применением конечного набора вейвлет-функций (ВФ), каждая из которых позволяет более эффективно обрабатывать поток информации определенного типа. Таким образом, адаптивную информационно-измерительную систему (ИИС) возможно применять в различных областях, например в задачах мониторинга и диагностики состояния штангового глубинного насоса, обработки и распознавания объектов на основе пространственной информации со стереоскопической системы технического зрения [6]. Также, при изменении характеристик передающей среды, система обеспечивает возможность динамически изменять степень сжатия потоковой информации, осуществив реконфигурацию блока компрессии на клиентской стороне по управляющему сигналу с host-стороны.

Аппаратная реализация, для обеспечения программно-аппаратного подхода к построению устройств цифровой обработки сигналов, может

основаться на цифровых сигнальных процессорах (ЦСП) и программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Основным преимуществом применения ЦСП является возможность реализации гибких, адаптивных алгоритмов цифровой обработки сигналов, что приводит к возможности проектирования гибких вычислительных систем. В тоже время, недостатком является то, что в рамках разных серий даже одной фирмы-производителя используется разный набор команд, поэтому реализовывать сложные параллельные мультипроцессорные структуры достаточно трудоемко. Кроме того, ЦСП обладают не высокой производительностью, поэтому их применение в системах потоковой обработки данных в режиме реального времени может быть ограничено первичной обработкой и реализацией некоторого рутинного функционала алгоритмов. К основным преимуществам ПЛИС для применения в средствах обработки сигналов являются высокое быстродействие и возможность реализации сложных параллельных алгоритмов. При этом ПЛИС типа FPGA (Field-Programmable Gate Array) имеют возможность программирования или изменения конфигурации непосредственно в системе в процессе работы, на «горячую». Архитектурные особенности ПЛИС как нельзя лучше приспособлены для реализации таких операций, как умножение, свертка и т.п.

На основании описанных выше особенностей ЦСП и ПЛИС для программно-аппаратного блока вторичного преобразователя информации (рис. 2) выбрана следующая база: ПЛИС типа FPGA, которая выполняет основную обработку данных, микроконтроллер (микропроцессор), агрегирующий функции управления и блок памяти, в которой хранится конечное число конфигураций, включающих коэффициенты ВФ и другие параметры для обработки потока данных.

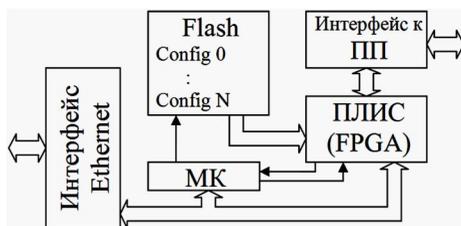


Рисунок 2 – Структурная схема клиентской стороны вторичного преобразователя информации

Также используется интерфейс для связи с первичными преобразователями для получения информации и сетевой интерфейс для передачи потока по Ethernet. Клиентская сторона преобразователя представляет «тонкий клиент». Первоначально выбор функции и коэффициентов для сжатия не определен, т.к. неизвестен характер передаваемых данных. Клиент передает информацию «как есть» на host-сторону. При этом PC-сервер проводит анализ и определяет выбор ВФ и параметров компрессии. После получения соответствующего управляющего сигнала, клиентская сторона подгружает необходимую конфигурацию в FPGA сопроцессор. Аналогичным образом происходит реконфигурация в процессе адаптации ИИС.

В статье предложена общая структура программно-аппаратного блока вторичного преобразователя, входящего в состав адаптивной системы преобразования информации на основе потоковых данных. Также описан принцип работы предложенного преобразователя, который обеспечивает адаптацию системы под изменяющиеся условия среды передачи, а также под определенный вид передаваемой информации с различными статистическими характеристиками, реконфигурацией устройства по управляющему воздействию.

Список литературы:

1. Большаков А.А., Глазков В.П., Лачугин Д.В. Структура информационно-измерительной системы мониторинга и диагностики состояния глубинного насоса // Проблемы управления, обработки и передачи информации (АТМ-2013): сб. тр. III Междунар. науч. конф.: в 2 т. Саратов: «Райт-Экспо», 2013. Т.1. С. 89-93.
2. Большаков А.А., Каримов Р.Н. Методы обработки многомерных данных и временных рядов. М.: Горячая линия. Телеком. 2007. 522 с.
3. Большаков А.А., Каримов Р.Н. Методы сжатия информации. Саратов: Саратов. политехн. ин-т, 1991. 88 с.
4. Dimitroulakis G. A high-throughput and memory efficient 2-D discrete wavelet transform hardware architecture for JPEG2000 standard / G. Dimitroulakis, M.D. Galanis, A. Milidonis, C.E. Goutis // IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2005. Vol. 1. P. 472-475. doi: 10.1109/ISCAS.2005.1464627.
5. Новиков Л.В. Аппаратно-ориентированные вейвлеты и их применение для обработки данных: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Институт аналитического приборостроения РАН, С.-Пб, 2006.
6. Глазков В.П., Егоров И.В., Лачугин Д.В. Нейросетевое распознавание трехмерных объектов на основе информации о пространственных координатах точек поверхности // Вестник СГТУ. 2010. №4(51). Вып.3. С. 167-172.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УЗЛА «КОНЦЕНТРАЦИЯ КИСЛОРОДА В ОТХОДЯЩИХ ГАЗАХ» НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ ДИАГРАММ ПОВЕДЕНИЯ

Вашенко Р.А., аспирант,

Бажанов А.Г., канд. техн. наук, доц.,

Магергут В.З., д-р техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Вращающаяся печь обжига – основное оборудование в производстве цементного клинкера. Она же используется в металлургии, химической промышленности и т.д. Данный тип печей отличается высокой производительностью, однако, эти агрегаты весьма сложные и громоздкие в конструктивном и эксплуатационном отношениях [1].

На оператора печи возлагается выполнение большого количества различных функций: контролировать показания контрольно-измерительных приборов и регулировать процесс обжига, руководствуясь данными лаборатории о качестве сырьевой смеси и топлива, следить за режимом работы, не допускать остановки печи или замедления ее вращения, которые нарушат технологический цикл [2].

Процессы, протекающие во вращающейся печи, достаточно сложно описать в виде дифференциальных уравнений, ввиду трудно структурируемой физико-химической динамики объекта. Поэтому для создания автоматизированных систем управления целесообразно использовать ввод нечеткости в управляющие и управляемые технологические величины с использованием fuzzy-подхода, совмещенного с построением нечетких диаграмм поведения технологических величин (узлов) цементной печи [3].

Цементная печь как объект управления имеет немногим более десятка управляющих воздействий. Выходных технологических величин значительно больше, чем управляющих воздействий, а каналы управляющих воздействий по отношению к этим величинам характеризуются большой инерционностью и запаздыванием.

На сегодняшний день по результатам изучения и исследования процесса обжига клинкера, а также на основе специальной литературы и мнений экспертов-технологов ЗАО «Осколцемент», г. Старый Оскол, описаны пять технологических узлов печи: «Ток нагрузки на главный привод печи», «Температура материала в зоне подогрева», «Разрежение

в горячей головке печи», «Температура готового клинкера», «Концентрация углекислого газа в отходящих газах», которые вносят значительный вклад в протекание процесса обжига клинкера.

От нечетких диаграмм поведения узлов переходят к построению совокупности их разверток с введением межузловых связей. Именно совокупность разверток позволяет перейти далее к построению советующей системы управления объектом – печью с учетом нештатных и аварийных ситуаций.

Был выделен еще ряд значимых технологических величин, а соответственно и узлов, определяющих работу печи: «Концентрация кислорода в отходящих газах»; «Температура отходящих газов»; «Температура материала в зоне сушки»; «Разрежение за обрезом печи»; «Температура вторичного воздуха»; «Гранулометрический состав клинкера».

Отметим основные особенности этих величин и их влияние на процесс обжига клинкера.

Концентрация кислорода в отходящих газах является величиной, по которой можно судить о процессе сжигания топлива и о качестве обработки материала.

По температуре отходящих газов и температуре материала в зоне сушки анализируют степень его подготовки в холодной части печи. Наравне с температурой отходящих газов важнейшим показателем подготовленности материала в зоне сушки является разрежение за обрезом печи.

Температура вторичного воздуха является важной величиной для регулирования процесса обжига и поддержания заданных параметров горения топлива.

Гранулометрический состав определяет конечное состояние процесса и качество получаемого клинкера.

Используя методику построения нечетких диаграмм поведения узлов, предложенную в [4], опишем узел – “Концентрация кислорода в отходящих газах”. На него влияют в основном две величины: Q_{Γ} – расход топлива, $P_{оп}$ – разрежение за обрезом печи.

Структура узла показана на рис. 2.

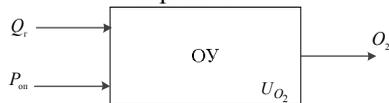


Рисунок 2 – Структура узла U_{O_2}

Разделение величин по нечетким градациям значений:

1. Подача (расход) топлива Q_T ($\text{м}^3/\text{ч}$), которая определяет процент задания подачи газа z_T (%). Расход газа и процент задания его подачи определим тремя термами: малый (Q_M^r), средний (Q_{cp}^r) и большой (Q_6^r); малый (z_M^r), средний (z_{cp}^r) и большой (z_6^r).

2. Разрежение за обрезом печи $P_{оп}$ (мм.вод. ст.), которое зависит от двигателей дымососов $z_{д1}$ и $z_{д2}$ (%). Запишем их в виде следующих термов: малый ($P_{опM}^n$), средний ($P_{опcp}^n$) и большой ($P_{оп6}^n$); малый ($z_{д1M}^n$), средний ($z_{д1cp}^n$) и большой ($z_{д16}^n$).

С учетом введенных обозначений и по результатам теоретических исследований, а также в соответствии с мнением эксперта–технолога, отвечающего за производство клинкера и операторов печи, построены следующие функции принадлежности факторов, определяющих работу узла U_{O_2} (рис. 3).

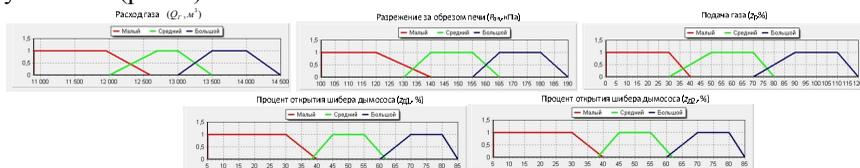


Рисунок 3 – Функции принадлежности узла U_{O_2}

Составим управляющие и возмущающие технологические условия:

Управляющие технологические условия:

$$g_1 = \begin{cases} 1 - \text{если есть газ } (F_T), \\ 0 - \text{если иначе;} \end{cases} \quad g_2 = \begin{cases} 1 - \text{если клапан открыт } (R_{кг}), \\ 0 - \text{если иначе;} \end{cases}$$

$$g_3 = \begin{cases} 1 - \text{исправны дымососы отходящих газов } (F_{дд}), \\ 0 - \text{если иначе,} \end{cases}$$

где F_T – флаг наличия газа в газопроводе (1 – есть, 0 – нет), $R_{кг}$ – флаг состояния клапана газа (1 – открыт, 0 – закрыт), $F_{дд}$ – исправность дымососов (1 – оба исправны, 0 – иначе).

Возмущающие технологические условия:

$$V_1 = \begin{cases} g_{11} = \begin{cases} 1 - \text{если } Q_T \in Q^{zc}_M, \\ 0 - \text{если } Q^r_M < Q_T < Q^r_{cp}, \end{cases} \\ g_{12} = \begin{cases} 1 - \text{если } Q_T \in Q^r_{cp}, \\ 0 - \text{если } Q^r_{cp} < Q_T < Q^r_6, \end{cases} \\ g_{13} = \begin{cases} 1 - \text{если } Q_T \in Q^r_6, \\ 0 - \text{если иначе;} \end{cases} \end{cases} \quad V_2 = \begin{cases} g_{21} = \begin{cases} 1 - \text{если } P_{оп} \in P^{оп}_M, \\ 0 - \text{если } P^{оп}_M < P_{оп} < P^{оп}_{cp}, \end{cases} \\ g_{22} = \begin{cases} 1 - \text{если } P_{оп} \in P^{оп}_{cp}, \\ 0 - \text{если } P^{оп}_{cp} < P_{оп} < P^{оп}_6, \end{cases} \\ g_{23} = \begin{cases} 1 - \text{если } P_{оп} \in P^{оп}_6, \\ 0 - \text{если иначе.} \end{cases} \end{cases}$$

С учетом введенных управляющих и возмущающих технологических условий, а также введенных ранее обозначений построим технологическую структуру узла «Концентрация кислорода в отходящих газах» (рис. 4).

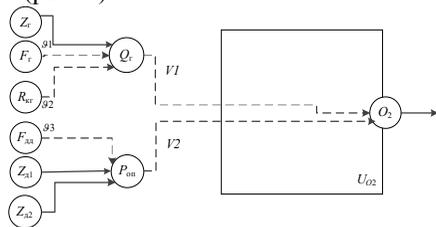


Рисунок 4 – Технологическая структура узла U_{O_2}

Построив структуру узла, переходим к построению нечеткой диаграммы поведения узла 1-го ранга (рис. 5), в которой вершины (1 – 3) соответствуют нечетким статическим режимам, а (4 – 7) – динамическим режимам работы печи. Построение диаграммы поведения 2-го ранга для узла нагрузки печи смысла не имеет, поскольку изменение концентрации кислорода в отходящих газах происходит достаточно плавно. Аналогичные тенденции можно увидеть и при рассмотрении других узлов печи, то есть опыт эксплуатации печи показывает, что строить диаграммы поведения 2-го ранга не целесообразно.

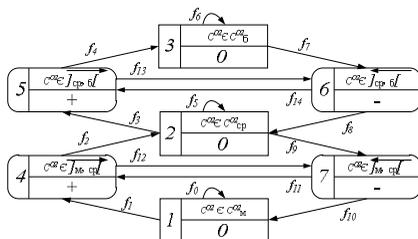


Рисунок 5 – Нечеткая диаграмма поведения узла U_{O_2}

Правила перехода f_i представлены ниже:

$$Q_1 = g_1 \wedge g_2 \wedge g_3;$$

$$f_0 = (\text{not } Q_1) \vee (Q_1 \vee ((g_{13} \wedge g_{21}) \wedge (z_M^{n1} \wedge z_M^{n2}) \vee z_0^r))$$

$$f_1 = Q_1 \wedge ((g_{12} \wedge g_{11}) \wedge (g_{22} \wedge g_{23}) \wedge ((z_{cp}^{n1} \vee z_6^{n1}) \wedge (z_{cp}^{n2} \vee z_6^{n2}) \vee (z_M^r \vee z_{cp}^r)));$$

$$f_2 = Q_1 \wedge ((g_{12} \wedge g_{11}) \wedge (g_{22} \wedge g_{23}) \wedge ((z_{cp}^{n1} \vee z_6^{n1}) \wedge (z_{cp}^{n2} \vee z_6^{n2}) \vee (z_M^r \vee z_{cp}^r)));$$

$$f_{12} = f_9; f_{13} = f_7; f_{14} = f_3; f_{11} = f_1; f_{10} = f_0;$$

$$\begin{aligned}
f_5 &= Q_1 \wedge \mathcal{G}_{12} \wedge \mathcal{G}_{22} \wedge z_{cp}^{\pi 1} \wedge z_{cp}^{\pi 2} \wedge z_{cp}^r; \\
f_3 &= Q_1 \wedge ((\mathcal{G}_{11} \wedge \mathcal{G}_{23}) \wedge (z_6^{\pi 1} \wedge z_6^{\pi 2} \vee z_M^r)); \\
f_4 &= Q_1 \wedge ((\mathcal{G}_{11} \wedge \mathcal{G}_{23}) \wedge (z_6^{\pi 1} \wedge z_6^{\pi 2} \vee z_M^r)); \\
f_6 &= Q_1 \wedge \mathcal{G}_{11} \wedge \mathcal{G}_{23} \wedge z_6^{\pi 1} \wedge z_6^{\pi 2} \vee z_M^r; \\
f_7 &= f_0 \vee ((\mathcal{G}_{12} \wedge \mathcal{G}_{13}) \wedge (\mathcal{G}_{22} \wedge \mathcal{G}_{21}) \wedge ((z_{cp}^{\pi 1} \vee z_M^{\pi 1}) \wedge (z_{cp}^{\pi 2} \vee z_M^{\pi 2}) \vee (z_6^r \vee z_{cp}^r))); \\
f_8 &= (f_0 \vee ((\mathcal{G}_{12} \wedge \mathcal{G}_{13}) \wedge (\mathcal{G}_{22} \wedge \mathcal{G}_{21}) \wedge ((z_{cp}^{\pi 1} \vee z_M^{\pi 1}) \wedge (z_{cp}^{\pi 2} \vee z_M^{\pi 2}) \vee (z_6^r \vee z_{cp}^r)))) \vee (Q_1 \wedge \mathcal{G}_{12} \wedge \mathcal{G}_{22} \wedge z_{cp}^{\pi 1} \wedge z_{cp}^{\pi 2} \wedge z_{cp}^r); \\
f_9 &= f_0 \vee (\mathcal{G}_{13} \wedge \mathcal{G}_{21} \wedge (z_M^{\pi 1} \wedge z_M^{\pi 2} \vee z_6^r)).
\end{aligned}$$

Для адаптации полученной модели к дальнейшей работе, то есть применения для создания управляющих алгоритмов, необходимо ее переработать в последовательность операций. Очередность перехода от одного режима работы объекта к другому можно представить в виде развертки полученной диаграммы поведения. Развертка для узла «Концентрация кислорода в отходящих газах» показана на рис. 6.

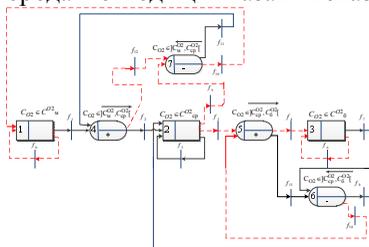


Рисунок 6 – Развертка для узла «Ток нагрузки на главный привод печи»
 - - -> Возникновение нештатных ситуаций

После построения нечетких диаграмм поведения узлов согласно имеющейся методике необходимо получить производные правила для реализации алгоритма их совместной работы. Особенностью нечетких диаграмм поведения является то, что они позволяют сформулировать производные правила двумя способами:

1. Традиционного в виде конструкции типа “ЕСЛИ – ТО”.
2. Предлагаемого в виде конструкции “ЧТОБЫ – ПРИ – НУЖНО” или, в частном случае, более простого “ЧТОБЫ – НУЖНО”, отражающей целеполагание правил [5].

Последний способ в данном случае не применяется вследствие большей сложности, но можно отметить, что они более понятны для

пользователя и, соответственно, несут большую информативность, а также позволяют более точно описать алгоритмы совместной работы узлов.

Дополнение описания печного агрегата новыми узлами позволит улучшить производционные правила, сделав их более точными, и расширить возможности советующей системы [6], в том числе повысить эффективность управления, снизить риск ошибок по управлению печью, повысить производительность печи, снизить энергозатраты, повысить качество выпускаемой продукции и облегчить условия труда оператора.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 14-41-08016 «Разработка интеллектуальных систем управления сложными технологическими процессами на основе советующих систем с техническим зрением».

Список литературы:

1. Колокольников В.С. Производство цемента. М: «Высшая школа», 1997. 303 с.
2. Бажанов А.Г., Ващенко Р.А., Яхно Б.А. Построение интеллектуальной советующей системы управления вращающейся печью на основе нечетких методов // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых «Исследования и инновации в ВУЗе»: избранное. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. Ч.1. С. 11-20.
3. Интеллектуальная советующая система управления цементными вращающимися печами с применением технического зрения / В.З. Магергут, Д.А. Юдин, А.Г. Бажанов, В.А. Порхало, А.С. Копылов, А.А. Степовой, Р.А. Ващенко // Мир цемента. 2013. №2. С. 51-59.
4. Бажанов А.Г., Ващенко Р.А., Магергут В.З. Нечеткие диаграммы поведения узлов для сложных технологических объектов, принципы их построения и использования // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. Научно-технический и производственный журнал. 2014. №9. С. 26-34.
5. Магергут В.З., Бажанов А.Г., Ващенко Р.А. Развитие аппарата производционных правил управления объектами с использованием диаграмм поведения узлов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2014. №9. С. 3541.
6. Интеллектуальные подходы к созданию советующей системы управления вращающейся цементной печью обжига клинкера / А.Г. Бажанов, А.С. Копылов, В.А. Порхало, Д.А. Юдин, Е.Б. Кариков, В.Г. Рубанов, В.З. Магергут // Цемент и его применение. 2013. №3. С. 77-82.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВЛАГОПЕРЕНОСА ПРИ НАГРЕВЕ ПЕНОСТЕКЛЬНОЙ ШИХТЫ

Величко Д.В., доц.,

Рубанов В.Г., д-р техн. наук, проф.,

Магергут В.З., д-р техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Строгая постановка подобного рода задачи приводит к необходимости решения системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных с динамическими граничными условиями и подвижными границами раздела фаз.

Пеностеклянная шихта является исходным ингредиентом при порошкообразном способе производства пеностеклянных блоков, которые используются в строительной индустрии в качестве теплоизоляционного материала. В ряде случаев пеностеклянную шихту получают в результате смешения тонкомолотого стекла с пенообразователем. Смесь нагревают до температуры вспенивания. В ходе термообработки происходит окислительно-восстановительная реакция между углеродом и сульфатами (окислителями) и/или оксидами стекла. В результате в расплаве стекла образуются газы, которые придают массе пористую структуру, что приводит к образованию материалов с низкой плотностью и теплопроводностью.

Для проведения теплофизического эксперимента разработана автоматизированная система термического экспресс-анализа, одной из особенностей которой является тигель с варьлируемым объёмом и возможностью закрепления термопар вертикально с помощью огнеупора.

Кроме этого разработано программное обеспечение на языке высокого уровня, позволяющее получать информацию в режиме реального времени в удобной для оператора форме представления: таблично или графически.

Результаты проведения теплофизического эксперимента, в виде температурных кривых нагрева пеностеклянной шихты, приведены на рис.1.

Анализ температурных кривых показывает, что при нагреве шихты фиксируются три последовательно расположенных эндотермических эффекта в области температур $\sim 100^{\circ}\text{C}$, $\sim 620^{\circ}\text{C}$ и $\sim 860^{\circ}\text{C}$. Первый

соответствует удалению адсорбированной на поверхности частиц влаги, второй обусловлен спеканием шихты, третий вызван вспениванием пеностекла [1].

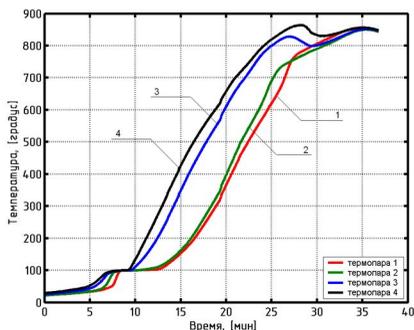


Рисунок 1 – Температурные кривые нагрева пеностекляной шихты

На участке 1 (0 – 7 мин) происходит нагревание пеностекляной шихты – исходного материала при производстве пеностекла.

На участке 2 (7 – 10 мин) наблюдается процесс удаления адсорбированной влаги из пеностекляной шихты, поскольку при 100°C происходит испарение воды, находящейся в шихты в «связанном» состоянии. Этот процесс сопровождается поглощением тепла, поэтому температура на этом участке держится практически на одном уровне.

Участок 3 (10 – 27 мин) отражает процесс спекания пеностекляной шихты. Происходит фазовый переход: порошковая смесь стеклобоя и пенообразователя превращается в вязкую массу.

Участок 4 (27 – 35 мин) характеризуется вспениванием. Когда пеностекляная шихта достигает достаточной степени спекания, происходит химическая реакция между пенообразователем и конкретным компонентом стекла. Этот процесс протекает во всех частях образца практически одновременно и сопровождается увеличением его объема. По температуре, при которой начинается реакция, можно сделать вывод, что пенообразователем является углеродный пенообразователь – сажа (C) – которая вступает во взаимодействие с трёхоксидом серы (SO₃). Кроме того, данная окислительно-восстановительная реакция идет с поглощением тепла. После прекращения реакции температура в тигле устанавливается на постоянном уровне.

Контроль над каждым из описанных участков важен для получения пеностекла высокого качества.

Процесс удаления адсорбированной влаги можно представить в виде схемы, представленной на рис.2.

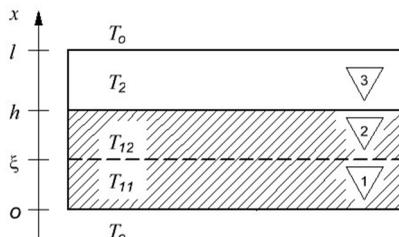


Рисунок 2 – К постановке задачи о движении межфазной границы

Закрашенной областью обозначена шихта, не закрашенной – слой воздуха в тигле с температурой T_2 . В пеностекольной шихте происходит движение межфазной границы ξ – между фазой T_{12} , содержащей воду, и фазой T_{11} , в которой влага уже испарилась; T_0 – температура печи, в которую помещен тигель.

В каждой из областей 1, 2 и 3 температура подчиняется одномерному уравнению теплопроводности с постоянными коэффициентами, так как зависимость коэффициентов от температуры и координат пренебрежимо мала.

$$\frac{\partial T_{12}}{\partial t} = \frac{\lambda_{12}}{c'_{12}} \cdot \frac{\partial^2 T_{12}}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial T_{11}}{\partial t} = \frac{\lambda_{11}}{c'_{11}} \cdot \frac{\partial^2 T_{11}}{\partial x^2}; \quad \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\lambda_2}{c'_2} \cdot \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}.$$

Здесь $\lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_2$ – коэффициенты теплопроводности в 1-й, 2-й и в 3-й областях [Вт/(м·К)]; c'_{11}, c'_{12}, c'_2 – удельная объемная теплоемкость материала в 1-й, 2-й и 3-й областях [Дж/(м³·К)].

Граничные условия при $x=0$ и $x=l$ описываются граничным условием 3-го рода (законом Ньютона).

$$\lambda_{11} \frac{\partial T_{11}}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_1 \cdot (T_{11}|_{x=0} - T_0) \quad \text{и} \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=l} = \alpha_2 \cdot (T_0 - T_2|_{x=l}),$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи на одной и другой границах соответственно [Вт/(м²·К)].

На границе областей 2 и 3 наблюдается равенство температур, поэтому граничное условие будет выглядеть следующим образом

$$T_{12}|_{x=h} = T_2|_{x=h}.$$

И, наконец, на границе областей 1 и 2 должно наблюдаться равенство потоков тепла. Причем температура при $x = \xi$ должна равняться температуре фазового перехода, то есть

$$T_{12}|_{x=\xi} = T_{11}|_{x=\xi} = 100 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\lambda_{11} \frac{\partial T_{11}}{\partial x} \Big|_{x=\xi}.$$

Поток, подводимый к межфазной границе, равен

Одна часть этого теплового потока идет на испарение в слое

$$\lambda_{12} \frac{\partial T_{12}}{\partial x} \Big|_{x=\xi}.$$

толщиной $d\xi$, а другая отводится в виде потока

Граничное условие будет выглядеть следующим образом

$$\lambda_{11} \frac{\partial T_{11}}{\partial x} \Big|_{x=\xi} - \lambda_{12} \frac{\partial T_{12}}{\partial x} \Big|_{x=\xi} = \rho_u \frac{d\xi}{dt},$$

где ρ_u – удельная (объемная) теплота фазового превращения (в данном случае испарения), Дж/м³.

Процесс спекания представляется такой же системой дифференциальных уравнений, что и процесс дегидратации, отличие заключается лишь в том, что фазовый переход происходит между высушенным пеностекольным порошком с λ_{11} и c'_{11} и вязкой массой с λ_{12} и c'_{12} , при $x = \xi$ температура будет порядка 600°C (по свойствам пеностекольной шихты) и необходимо будет ввести ρ_n – удельную теплоту спекания.

Химическую реакцию, характеризующую процесс вспенивания (участок 4), представим в виде отрицательного источника тепла $q(t)$, который опишем функцией

$$q(t) = -A \cdot (t - t_0)^B e^{-C \cdot (t - t_0)},$$

где A , B и C – коэффициенты, определяющие характер протекания реакции, t_0 – время начала химической реакции, знак минус перед формулой отражает факт поглощения тепла (рис. 3).

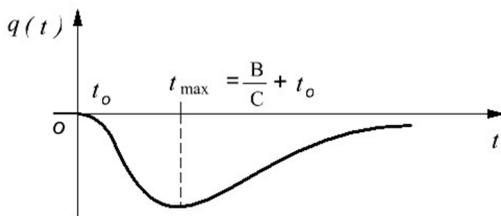


Рисунок 3 – График функции $q(t)$

Выбор данной функции обусловлен тем, что она обладает свойствами, схожими с характером изменения температуры шихты на участке 4 (рис.1).

Дифференциальное уравнение в этом случае приобретает вид

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c'} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q(t)$$

где T – температура как функция времени и координаты, c' – удельная объемная теплоемкость вязкой массы [Дж/(м³·К)], λ – коэффициент теплопроводности [Вт/(м·К)].

Решение полученной системы уравнений осуществляется методом конечных разностей с применением безусловно сходящейся неявной четырёхточечной разностной схемы, которая устойчива при любом выборе шагов по времени и координате при аппроксимации дифференциальных операторов.

Полученная модель может использоваться для проектирования системы управления туннельной печью, применяемой при производстве пеностеклянных блоков.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 14-41-08016 «Разработка интеллектуальных систем управления сложными технологическими процессами на основе советующих систем с техническим зрением».

Список литературы:

1. Величко Д.В., Рубанов В.Г. Математическое моделирование технологических процессов с межфазным переходом // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. XXI Международ. науч. конф. Саратов: СГТУ. 2008. Т.3. С. 53-55.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЗАГРУЗКИ ЦЕМЕНТОВОЗОВ СО СТАЦИОНАРНОЙ АСПИРАЦИЕЙ

Воргуль А.И., начальник участка АСУТП

ЗАО «Белгородский цемент»

Воргуль И.А., студент

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Процесс хранения и транспортировки цемента на предприятии не менее важен, чем сам процесс его производства [1,2]. Ведь от этого зависит, дойдет ли продукт до конечного потребителя в указанном качестве и количестве.

Цех хранения и транспортировки продукции, как правило, разделен по своему функционалу на несколько участков:

- участок хранения,
- участок тарной отгрузки,
- участок навалной отгрузки.

В рамках данного проекта рассматривается участок навалной отгрузки.

Процесс затаривания, хранения и выгрузки сыпучего груза из емкостей зависит от физико-механических свойств насыпного груза, что в значительной степени определяет конструкцию, форму емкости и выбор материала, из которого ее изготавливают. Для совершенствования процесса истечения необходимо четко представлять происходящие внутри полости емкости явления. На гравитационное истечение сыпучего груза из отверстия емкости влияют многие факторы, которые могут быть сгруппированы так: режимные (технологические) паузы в загрузке, выпуске, физико-механические свойства грузов и параметры элементов емкости (Рис.1). На стабильность истечения грузов, а, следовательно, и процесс сводообразования, оказывают влияние повышенное содержание влаги и уплотнение груза над выпускным отверстием. Приведем описание некоторых свойств цемента, влияющих на загрузку материала.

Влажность определяется отношением массы испарившейся воды (после просушивания) к исходной массе взятого материала (в весовых процентах).

Адгезия в переводе с английского языка означает «прилипание, сцепление, притяжение», возникающее при контакте двух разнородных

конденсированных тел. Она характеризует связь между двумя телами или силы взаимодействия частиц между поверхностями тел.

Гранулометрический состав насыпного груза характеризуется количественным распределением составляющих частиц по крупности. Крупность частицы груза определяют по наибольшему ее линейному размеру.

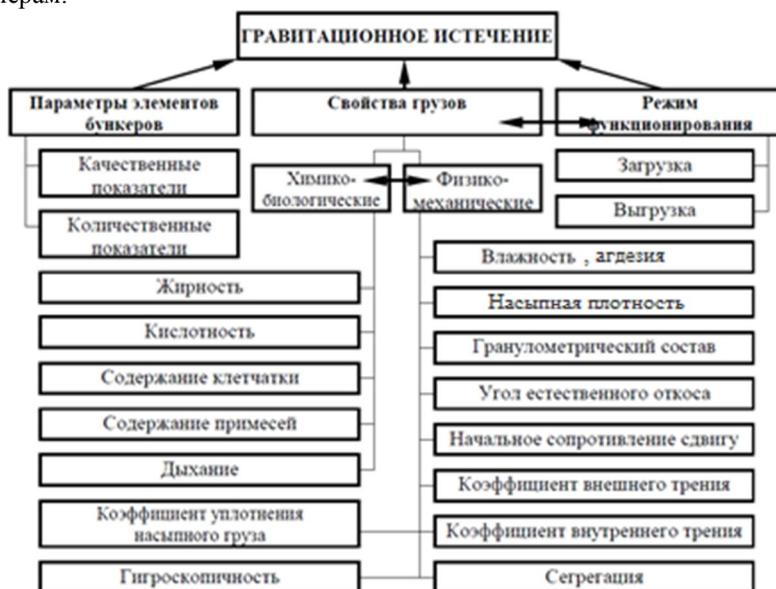


Рисунок 1 – Классификация факторов, влияющих на гравитационный выпуск сыпучего груза из ёмкостей

Насыпная плотность – это отношение массы насыпного груза к занимаемому им объему с учетом пор и промежутков между отдельными частицами. Насыпная плотность определенного груза неоднородна и зависит от гранулометрического состава и других факторов.

Коэффициент уплотнения насыпного груза – отношение его уплотненной массы к массе того же объема до уплотнения.

Сегрегация груза – расслоение его частиц по крупности, форме и плотности. Сегрегация частиц груза по крупности наблюдается при свободном его падении в случае, если частицы имеют горизонтальную

составляющую скорости, и при ударе потока о наклонную плоскость (загрузка конвейером или наклонной воронкой).

Самотечная загрузка обеспечивает высокую производительность, однако при падении хрупкий материал дробится и рассыпается. Это увеличивает содержание пылевидных частиц в грузе. Пыль, вытесняемая воздухом, поднимается из полости емкости, что способствует значительной потере груза и усложняет экологическую обстановку в зоне загрузки емкостей.

При ударе потока о ранее загруженный в транспортное средство слой груза вытесняется эквивалентный объему потока объем запыленного воздуха, выбрасываемого в окружающую среду. Падение скорости потока в контейнере до нуля приводит к выделению кинетической энергии, которая сопровождается дроблением частиц загружаемого материала. Энергия удара суммируется из двух составляющих: начальной энергии груза на выходе из самотека и прироста энергии свободного падения при выходе материала из самотека до точки удара.

Первую составляющую можно уменьшить практически до нуля за счет установки устройства регулирующего скорость потока. Вторая составляющая может быть контролируема путем размещения выходного отверстия самотека по возможности ближе к точке удара.

Для погрузки автоцементовоз подъезжает таким образом, чтобы люк его оказался под загрузочным устройством (Рис.2). При помощи тельфера цементопровод с загрузочным устройством опускается на люк цистерны цементовоза, при этом крышка загрузочного устройства закрывает люк не плотно. Процесс погрузки происходит автоматически. Нажатием кнопки включается передача сжатого воздуха для аэрации. Эти операции производит узел автоматического управления сжатым воздухом при помощи регулирующих вентилях с электромагнитным приводом.

При этом аэрированный цемент поступает из силоса по цементопроводу в цистерну автоцементовоза.

Цементовоз при погрузке находится на весовой платформе оборудованной тензометрическими датчиками веса. Эта система позволяет нам контролировать скорость потока материала в бочку цементовоза. Взяв данный сигнал в качестве обратной связи в контур управления подачи аэрационного воздуха, мы можем управлять скоростью потока цемента.

В идеале, для решения первой составляющей данной проблемы, необходимо производить загрузку с минимальной скоростью потока.

Однако это неизбежно приведет к значительному снижению производительности отгрузочного узла, а следовательно к экономическим потерям.

Анализируя графики узла отгрузки цементовозов на ЗАО «Белгородский цемент» (Рис.3, Рис.4) приходим к следующим выводам (по оси абсцисс отложено время загрузки, по оси ординат – вес):

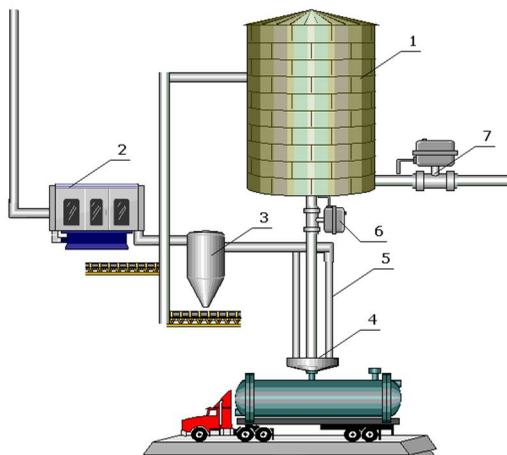


Рисунок 2 – Установка для полуавтоматической погрузки в цементовоз
1 – силос, 2 – рукавный фильтр, 3 – циклон, 4 – загрузочный конус,
5 – аэрационные рукава, 6 – загрузочная задвижка, 7 – аэрационная задвижка

- При постоянном расходе воздуха аэрации скорость потока цемента равномерна.
- Переход на ручное управление, для предотвращения просыпи, происходит в третьей четверти дозы загрузки.

При решении задачи полной автоматической загрузки и минимизации времени процесса предлагается следующий алгоритм управления аэрационным клапаном:

- После старта загрузки полностью открыть аэрационный клапан.

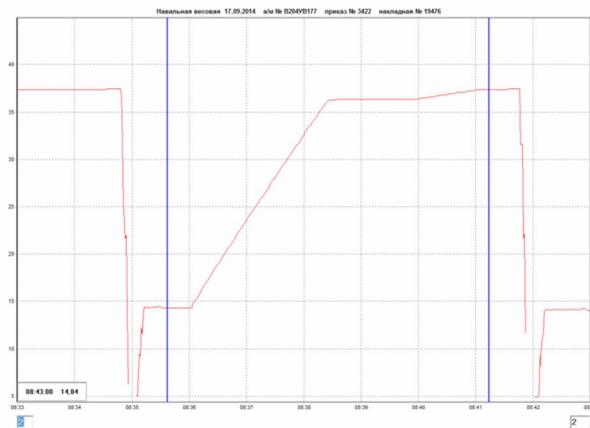


Рисунок 3 – График загрузки цементовоза (силос №16)

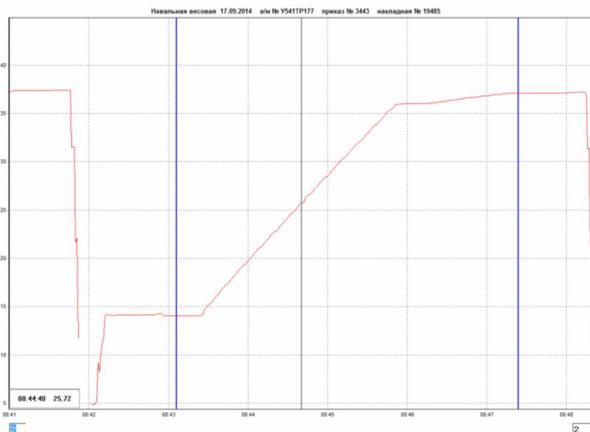


Рисунок 4 – График загрузки цементовоза (силос №17)

- При достижении веса цемента в цементовозе равного половине заказанной дозы, закрываем на 50% аэрационный клапан.
- Ждем окончания переходного процесса, т.е. ждем стабилизации скорости потока цемента.
- Фиксируем время переходного процесса и количество груза, которое попало в цементовоз за время переходного процесса.
- Определяем зависимость изменения скорости потока материала от изменения положения клапана аэрационного воздуха.

- Исходя из полученной зависимости, изменяем положение аэрационного клапана таким образом, чтобы поток материала в цементовоз был не больше, чем может обработать аспирационная шахта, установленная на загрузочном узле.

- Расчет максимально допустимого потока для существующей системы аспирации произведен исходя из методики Килина П.И. [3].

Надо отметить тот факт, что каждый отдельно взятый силос имеет свои особенности. Поэтому процент закрытия аэрационного клапана необходимо корректировать под конкретные условия.

Указанные выше настройки выбирались опытным путем на силосах №16 и №17 ЗАО «Белгородский цемент».

Необходимо также отметить, что выполнение данного алгоритма предназначенного для предотвращения «закипания» цемента в бочке цементовоза, привело к увеличению точности и стабильности дозирования в целом.

Предполагается что, применение данного способа управления аэрации приведет к снижению времени загрузки цементовоза на 25 – 30%.

Список литературы:

1. Зелинчук Г.Г. Автоматизация технологических процессов на предприятиях строительной индустрии. М.: Высшая школа, 1975. 421с.
2. Корпоративное издание Холдинга «ЕВРО ЦЕМЕНТ групп» Журнал. №1 (7). 44 с.
3. Килин П.И. Теоретические основы расчета аспирации перегрузочных узлов сыпучего материала конвейерного, гравитационного и пневматического транспорта // Транспорт Урала. 2005. №2. С. 18-23.

ЭЛЕМЕНТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СТУДЕНТОВ

Гальченко Г.А., канд. физ.-мат. наук, доц.,
Логвинов В.И., канд. техн. наук, доц.
Донской государственный технический университет

В настоящее время оптимизация транспортных и логистических процессов приводит к получению конкурентных преимуществ, таких как сокращение продолжительности логистического цикла и общих издержек [1,2].

С введением рыночных отношений к цепям поставок предъявляются новые требования, которые в свою очередь стали определять направления структурных преобразований в автотранспортной отрасли. Поэтому научные разработки в области задач оптимизации, поиска узких мест и решений приобретают наибольшую актуальность [2,3]. Использование методик корректирующих и улучшающих функционирование транспортных процессов широко используется и в образовательном процессе, поскольку работодателями востребованы результаты образования в форме практической компетентности выпускника [1,3,5].

В ДГТУ в процесс изучения дисциплин «Информационные технологии на транспорте», «Транспортная логистика», «Моделирование транспортных процессов» и др. происходит с использованием методик оптимизации и моделирования конкретных практических задач. К сожалению, приобретение современных моделирующих систем для образовательных учреждений сложная, в экономическом, плане задача. Поэтому обучение студентов проводим на доступном программном обеспечении: объектно-ориентированные языки программирования, профессиональные возможности электронных таблиц (подбор параметра и поиск решения) [4] MATLAB.

Рассмотрим три примера оптимизации задач транспортного процесса:

- I. оптимизация работы "зеленой волны";
- II. моделирование процесса парковки автомобиле – робота;
- III. оптимизация распределения финансовых ресурсов.

I. "Зелёная волна" – согласованное переключение сигналов светофоров на смежных перекрёстках. Однако работа светофоров в режиме "зеленой волны" оставляет желать лучшего.

Необходимо оптимизировать работу "зеленой волны" на конкретном участке городской магистрали г. Ростова - на - Дону. Предварительное исследование загруженности заданного перекрестка в разное время суток и разные дни недели, сравнение с данными, имеющимися в Интернете, позволяет сделать анализ уровня загруженности [4,5]. В современных блоках управления светофором устанавливаются модем и сим-карта для доступа в интернет и синхронизации времени и даты с сервером. Разрабатывается программа, которая учитывает данные из базы загруженности перекрестка и оптимизирует работу светофора в необходимом постоянно меняющемся режиме. Более продвинутые студенты могут использовать для решения данной задачи широко известные популярные среды профессионального программирования Visual C++ или **Controllers Development System (CoDeSys)**.

II. Моделирование процесса парковки с учетом исходных данных, полученных с помощью сенсорных датчиков является интересной и актуальной задачей [6]. Важную роль в работе такого автомобиля играет его интеллектуальная система. В настоящее время наблюдается интенсивный прогресс в области сенсорики [6]. Построен автомобилеподобный робот, которым можно управлять с помощью операционной системы ROS [7].

Относительная открытость и многообразие сенсорных подсистем позволяет использовать объектно – ориентированное моделирование, сокращающее продолжительность создания системы. Для студентов специальностей 190700 (технология транспортных процессов), 190500 (эксплуатация транспортных средств), предлагается оптимизировать процесс парковки автомобиля – робота с помощью объектно-ориентированных языков программирования.

Информация с сенсорных датчиков поступает как исходные данные для решения задачи парковки. На компьютере воспроизводим последовательность временных событий и обрабатываем большой объем информации. Исходными данными для расчетов является обнаружение места парковки. Как только с помощью сенсорных датчиков определяется место парковки, начинает работать программа нахождения оптимальной траектории маневра парковки. На рис. 1 приведены результаты работы программы: таблица рассчитанных

значений текущих координат и график траектории парковки в зависимости от угла поворота колесной базы.

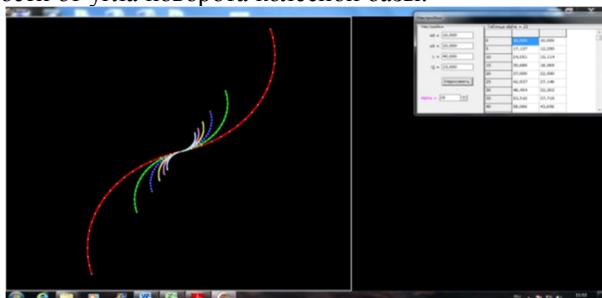


Рисунок 1 – Траектория парковки в зависимости от угла поворота колесной базы

III. Оптимизация распределения финансовых ресурсов относится к задачам транспортной логистики, решение которых усиливает согласованность действий непосредственных участников транспортного процесса. В настоящее время планирование потребностей предприятия (ERP) происходит в соответствии с тенденцией внешней интеграции.

Программное обеспечение ERP стало доступно с 1990-х годов на территории России и СНГ и адаптировано к российскому законодательству и условиям работы на российских рынках. Технически реализовать систему ERP помогает электронный обмен данными, система электронных платежей, Интернет и др.

Перед студентами ставится конкретная задача оптимизации распределения финансовых ресурсов, выделенных на приобретение погрузочно-разгрузочных машин (ПРМ) между двумя грузовыми фронтами, являющимися звеньями логистической транспортной цепи (ЛПЦ) доступными средствами – профессиональными возможностями электронных таблиц.

Исходные данные:

- суточный объем переработки грузов по 1-ому грузовому фронту $Q_{сут1}$ тонн и 2-ому грузовому фронту – $Q_{сут2}$ тонн;
- производительность ПРМ на 1-ом грузовом фронте Π_1 т/час, на 2-ом грузовом фронте – Π_2 т/час;
- стоимость одной погрузочно-разгрузочной машины на 1-ом грузовом фронте S_1 – рублей, на 2-ом грузовом фронте – S_2 рублей;
- на приобретение ПРМ для 1-ого и 2-ого грузовых фронтов выделено S рублей. Критерием оптимальности в данной задаче является

общее время T на выполнение погрузочно-разгрузочных работ по всем звеньям логистической цепи (грузовым фронтам).

Общее время определится по формуле:

$$T = \sum_{i=1}^n t_{gp_i}, \quad (1)$$

где t_{gp_i} – время выполнения грузовых операций на i -ом звене ЛТЦ (грузовом фронте); n – число звеньев ЛТЦ.

Время выполнения грузовых операций t_{gp_i} определяется по

формуле:
$$t_{gp_i} = \frac{Q_{сум_i}}{Z_i \cdot \Pi_i}, \quad (2)$$

где $Q_{сум_i}$ – суточный объем переработки груза на i -ом грузовом фронте (звене ЛТЦ), тонн; Z_i – число ПРМ, обслуживающих i -ое звено ЛТЦ; Π_i – производительность одной ПРМ i -ого типа, тонн/час. Число ПРМ i -ого типа рассчитывается по формуле:

$$Z_i = \frac{Cp_i}{S_i}, \quad (3)$$

где Cp_i – средства, выделяемые на приобретение ПРМ i -ому звену ЛТЦ, руб; S_i – стоимость одной ПРМ i -ого типа, руб.

$$S_i = \alpha_i \cdot Cp; \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$$

При этом Cp – общий объем выделенных инвестиций, руб; α_i – доля инвестиций, выделенных i -ому звену ЛТЦ, руб. При получении дробного значения Z_i , оно округляется в меньшую сторону. Суммарная стоимость ПРМ по всем звеньям ЛТЦ не должна превышать суммарного объема выделенных инвестиций:

$$\sum_{i=1}^n s_i \cdot Z_i \leq Cp \quad (4)$$

При двух звеньях ЛТЦ $\alpha_2 = 1 - \alpha_1$, тогда

$$Z_1 = \frac{\alpha_1 \cdot Cp}{s_1}; Z_2 = \frac{(1 - \alpha_1) \cdot Cp}{s_2}$$

Далее задача может быть решена методом подбора параметров или графическим методом с использованием электронных таблиц.

Вычисляя значения T при изменении α_1 от 0,1 до 0,9 с шагом 0,1, получим результаты, приведенные в таблице 1. При выполнении данной работы студенты должны владеть навыками работы с вычислениями по формулам, построением графиков и методикой подбора оптимального параметра (например, в MSEXCEL).

Таблица 1 – Зависимость t_{zp1} , t_{zp2} , T от α_i .

Показатели	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
S_1 , тыс.руб	7	14	21	28	35	42	49	56	63
S_2 , тыс.руб	63	56	49	42	35	28	21	14	7
Z_1 , шт.	1	2	4	5	7	8	9	11	12
Z_2 , шт.	7	7	6	5	4	3	2	1	---
t_{zp1} , час	20	10	5	4	2,86	2,5	2,22	1,81	1,67
t_{zp2} , час	1,71	1,71	2	2,4	3	4	6	12	---
T , час	21,17	11,71	7	6,4	5,86	6,5	8,22	13,81	---

По данным таблицы 1 построен график зависимости времени от доли средств, выделенных на приобретение ПРМ для 1-ого грузового фронта, представленный на рис.2.

t_{zp1} , t_{zp2} , T , час

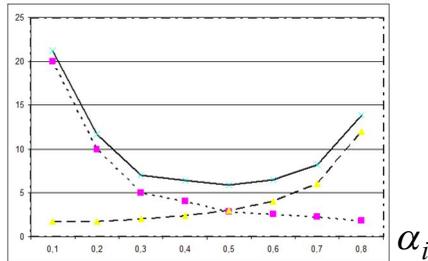


Рисунок 2 – Зависимость t_{zp1} , t_{zp2} , T от α_i

Минимум функции $T(\alpha_i)$ достигается при $\alpha_1 = 0.5$ и составляет $T = 5,86$ часа. При таком распределении ресурсов число ПРМ составит: – на первом грузовом фронте Z_1 машин,

– на втором грузовом фронте Z_2 машин. Размер инвестиций, выделенных на приобретение ПРМ для 1-ого грузового фронта

$$S_1 = \alpha_1 \cdot Cp - \text{рублей} \quad S_2 = (1 - \alpha_1) \cdot Cp - \text{рублей}$$

С методологической точки зрения изложенный выше подход позволяет преподавателю ВУЗа интегрировать такие дисциплины как «Практические работы по логистике», «ИТ на транспорте», «Моделирование процессов в расчетах на ЭВМ», и, с использованием прикладных компьютерных программ, формировать навыки профессиональной компетентности студентов.

Список литературы:

1. Аникин Б.А., Тяпухин А.П. Коммерческая логистика Учебник. М.: Велби, Изд-во «Проспект», 2005. 432 с.
2. Аргеев Н.В. Формирование логистической цепи поставок: Дисс. канд. экон. наук: 08.00.05 СПб; СПбГИЭА, 2002. 223 с.
3. Валявин В.Ю., Гальченко Г.А., Дроздова О.Н. Формирование профессиональной компетентности студентов с использованием кейс-метода обучения. VIII Международный научно-методический симпозиум "Современные проблемы многоуровневого образования". Ростов-на-Дону, 2013. С. 263-273.
4. Куправа Т.А. Excel. Практическое руководство. М.: "Диалог-МИФИ", 2009. 278 с.
5. Гальченко Г.А., Дроздова О.Н., Логвинов В.И. Моделирование процесса парковки автомобиля-робота. IV Международная научно-практическая конференция "Достижения вузовской науки". Новосибирск, 2013. С. 105-109.
6. Мейджер Д. Интеллектуальные сенсорные системы. Техносфера, 2012. 536 с.
7. Yanan Z., Emannel G. Robus automatic parallel parking in tight spaces via fuzzy logic. *Robotic and Autonomous systems*. 2005. V. 51. P. 10-17.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМ С ПЕРЕДАТОЧНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ДРОБНОГО ПОРЯДКА

**Гольцов Ю.А., ст. преподаватель,
Мишунин В.В., канд. техн. наук, доц.,
Гоков И.В., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Введение

Динамические системы, как объект моделирования, традиционно изучались путем применения классического математического анализа, в частности аппарата интегро-дифференциальных уравнений в обыкновенных и частных производных. Поведение целого ряда объектов и процессов не соответствует в полной мере используемым математическим моделям, что вызывает необходимость разрабатывать и применять уточненные модели.

При аппроксимации сигналов, формируемых исследуемыми системами, обнаружено наличие в них степенных зависимостей от времени и частоты с нецелыми показателями степеней. Всё это положило начало математическому анализу нецелых порядков. Математический анализ нецелых порядков основан на использовании понятий производных и интегралов, порядки которых могут быть дробными, иррациональными и комплексными [1].

В классической теории управления система строится на основе математической модели объекта автоматизации, отражающей в той или иной степени его динамические свойства и описываемой обыкновенными дифференциальными уравнениями.

Большинство производственных объектов автоматизации, представляющих технологические процессы, промышленные установки и агрегаты, имеют не сосредоточенные параметры, а распределенные в пространстве [2].

Динамические процессы в таких объектах описываются дифференциальными уравнениями в частных производных [3]. Далеко не всегда их аппроксимация обыкновенным дифференциальным уравнением или дробно-рациональной передаточной функцией является адекватной реальному объекту автоматизации, поэтому синтезированные на её основе алгоритмы управления могут не обеспечивать желаемый характер переходных процессов в системе [4].

Разработка алгоритма управления динамических систем с передаточными функциями дробного порядка

Целью разработки алгоритмов управления динамических систем с передаточными функциями дробного порядка является повышение качества управления динамических систем объектами с распределенными параметрами.

Для выполнения поставленной цели необходимо выполнить ряд задач, таких как:

- разработка и исследование алгоритмов управления динамическими системами с передаточными функциями дробного порядка;
- моделирование специализированных функциональных блоков для реализации алгоритмов управления;
- подготовка рекомендаций по технической реализации алгоритмов управления.

Структурную схему системы с передаточными функциями дробного порядка можно представить в следующем виде (рис. 1) [5]:

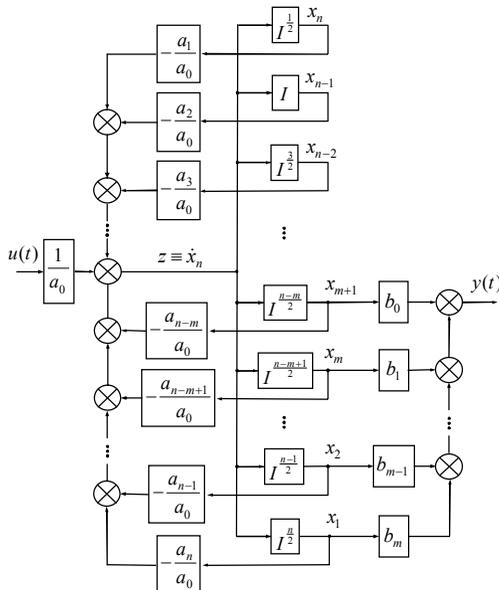


Рисунок 1 – Структурная схема системы с передаточными функциями дробного порядка

На основе этой структурной схемы разработан объект FRTF на языке MATLAB [6], который позволяет работать с передаточными функциями вида:

$$G(s) = \frac{b_0 \cdot s^{\frac{m}{2}} + b_1 \cdot s^{\frac{m-1}{2}} + \dots + b_{m-1} \cdot s^{\frac{1}{2}} + b_m}{a_0 \cdot s^{\frac{n}{2}} + a_1 \cdot s^{\frac{n-1}{2}} + \dots + a_{n-1} \cdot s^{\frac{1}{2}} + a_n}, m \leq n.$$

В этом объекте реализованы следующие методы:

- организация вывода на экран получившихся полиномов в символьном представлении;
- инвертирование (inv), которое создает FRTF объект, обратный исходному;
- умножение матриц (mtimes), реализованное через умножение Кронекера;
- двоичное сложение использует mtimes для имитации сложения дробных объектов;
- двоичное вычитание (minus), которое представляет собой сложение первого операнда с противоположным вторым операндом;
- преобразование в замкнутую системы (feedback).

Разработаны основные функции, позволяющие производить анализ систем дробного порядка (step, bode, nyquist, nichols).

Создан m-файл, выводящий сгенерированный FRTF объект на экран.

На основе моделирования алгоритмов управления систем дробного порядка в среде MATLAB получены функциональные блоки полуинтегрирования и полудифференцирования [7]:

```
function G=frtf(a,b)
% frtf – конструктор frtf-объектов
% Под frtf-объектом понимается объект языка MatLab,
% который является записью с четырьмя полями:
% a-вектор-строка, содержащая коэффициенты знаменателя
объекта
% b-вектор-строка, содержащая коэффициенты числителя объекта
% pa-вектор-строка, содержащая степени интегрирования
знаменателя
% pb-вектор-строка, содержащая степени интегрирования
числителя
```

```

% G=firtf(a,b) формирует firtf-объект "G" по заданным
% векторам коэффициентов a и b и генерирует для них степени
интегрирования
% с порядком 1/2 (полуинтегрирование)
if (nargin==2) % Если введено 2 аргумента
    l_a=length(a); % Определение длины вектора коэффициентов a
    l_b=length(b); % Определение длины вектора коэффициентов b
    G.na=[];
    G.nb=[];
    for i=1:l_a
        G.na(i)=(l_a-i)/2; % Формирование вектора степеней
интегрирования a
    end
    for i=1:l_b
        G.nb(i)=(l_b-i)/2; % Формирование вектора степеней
интегрирования b
    end
    G.a=a;
    G.b=b;
    G=class(G,'firtf'); % Присвоение метки firtf-объекта
else % Эта часть работает, если не введены аргументы
    error('необходимо ввести оба аргумента')
end

```

Разработка среды моделирования для анализа систем предоставляет широкие возможности по оперированию над объектами класса FRTF, являющимися передаточными функциями дробного порядка, а также по исследованию их временных и частотных характеристик [8,9].

Заключение

Основное внимание уделено разработке и исследованию алгоритмов управления систем с распределенными параметрами, охваченными обратной связью:

- разработан класс в среде MATLAB, позволяющий оперировать объектами в виде передаточных функций дробного порядка;
- проведено моделирование системы управления с передаточными функциями дробного порядка в системе MATLAB;
- даны рекомендации по программно-алгоритмической реализации передаточных функций дробного порядка;

- рассмотрены приёмы построения и исследования алгоритмов управления динамическими системами с передаточными функциями дробного порядка.

Методики проектирования и моделирования алгоритмов управления динамических систем с передаточными функциями дробного порядка могут быть использованы не только при построении автоматизированных систем, но и для решения более широкого круга задач, связанных с автоматизацией технологических объектов с распределёнными параметрами в других направлениях.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № НК-14-41-08009/14р_офи_м, Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск: Наука и техника, 1987. 688 с.
2. Васильев В.В., Симак Л.А. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем. Киев: Научное издание НАН Украины, 2008. 256 с.
3. Мишунин В.В., Рубанов В.Г. Устройство управления тепловым объектом с использованием закона управления дробного типа // Известия вузов. Приборостроение. 2003. №11. С. 30-34.
4. Порхало В.А., Рубанов В.Г., Шапгала В.Г. Автоматизация печи обжига клинкера на основе каскадной и многосвязной систем управления // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 69-72.
5. Мишунин В.В., Рубанов В.Г. Системы автоматического управления и контроля с дробно-иррациональными передаточными функциями: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2004. 255 с.
6. Иглин С.П. Математические расчеты на базе Matlab. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 640 с.
7. Бабенко Ю.И. Метод дробного дифференцирования в прикладных задачах теории тепломассообмена. СПб.: НПО «Профессионал», 2009. 584 с.
8. Ушаков П.А. Аналоговые ПИД-регуляторы дробного порядка// Вестник Ижевского государственного технического университета. 2009. №1. С. 100-102.
9. Учайкин В.В. Метод дробных производных. Ульяновск: Издательство «Артишок», 2008. 512 с.

СИСТЕМА ВЫСОКОТОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ С НАГРЕВАТЕЛЕМ ВЫСОКОЙ МОЩНОСТИ

**Гольцов Ю.А., ст. преподаватель,
Кижук А.С., канд. техн. наук, проф.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Введение

При выращивании кристаллов синтетического сапфира необходимо обеспечить закон изменения температуры в тигле от 25°C до 2050°C с определённой степенью наращивания и спада температуры, что предполагает применение автоматической системы управления с возможностью программного задания изменения температуры в тигле с заданной точностью [1]. В существующих установках управление производится по первичной обмотке силового трансформатора, подключенного к промышленному напряжению 380В, при этом для создания необходимой мощности, выделяемой на вторичной обмотке, применяется тиристорный регулятор ТУА110. В системе используется понижающий трансформатор мощностью 50-60 кВт для питания нагревательного элемента. Тиристорный регулятор ТУА110 (ТР) управляет парой тиристоров в цепи первичной обмотки силового трансформатора (Т1). Принцип работы такого регулятора основан на преобразовании постоянного напряжения на входе в последовательность фазных импульсов, управляющих тиристорами. В системе помимо ТР используется система промышленных контроллеров, с помощью которых программным образом изменяется входное напряжения на регуляторе в зависимости от задаваемой программной кривой температуры в тигле [2].

Подробный анализ режимов работы ТР позволяет отметить следующие недостатки в управлении:

- в промышленной сети в силу использования мощного трансформатора для питания нагревателя за счёт неравномерной нагрузки возникает перекося фаз, что может привести к существенным изменениям фазных напряжений;
- в момент «плавного запуска» и включения нагрузки, когда «режется синусоида», во вторичной обмотке появляются гармоники высших порядков, что приводит к возникновению помех в промышленной сети питания;

- при «залповом режиме» работы ТР происходит неравномерное распределение периодов синусоидального напряжения первичной обмотки трансформатора, что также приводит к появлению гармонических составляющих во вторичной обмотке;
- подключение силового трансформатора к промышленному напряжению 380В приводит к необходимости решения задачи баланса питающих мощностей промышленной сети при запуске всех установок для выращивания кристалла сапфира на производстве.

Структура микропроцессорной системы управления нагревателем высокой мощности

Для устранения отмеченных недостатков предлагается следующая структура системы управления температурным режимом при выращивании кристалла сапфира (рис.1) [3,4].

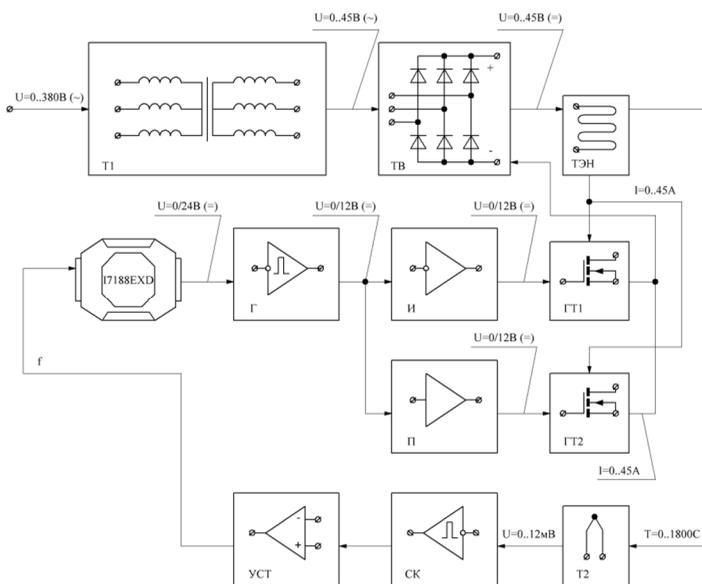


Рисунок 1 – Блок-схема микропроцессорной системы управления температурным режимом

В предложенной системе внесены следующие существенные изменения:

– осуществлен перенос управления на вторичную обмотку примененного трехфазного трансформатора, что устраняет проблему перекоса фаз и уменьшает количество помех в промышленной сети питания;

– предложен переход к управлению по постоянному напряжению, получаемому в результате выпрямления трехфазного напряжения на выходе трансформатора с помощью диодного трёхфазного выпрямителя, что способствует устранению помех;

– питание нагревателя производится через управляемые ключи [5], в качестве которых используются мощные полевые транзисторы IRF3205 [6], работающие в импульсном режиме;

– предложено использовать для построения устройства сопряжения системы управления полевыми транзисторами IRF3205 микросхему таймера NE555.

Поскольку управление производится по вторичной обмотке постоянным напряжением питания порядка 12–20 В, к которой подключен нагреватель тигля, то ток I , протекающий через нагреватель будет около 2 кА, так как согласно формуле мощности для трансформатора: $k \cdot P = I^2 \cdot R$ (k – КПД трансформатора, R – сопротивление нагревателя, P – мощность первичной обмотки трансформатора, $k \cdot P$ – мощность вторичной обмотки трансформатора), это значение тока имеет место при $k=0.53$, $R \approx 0.008$ Ом, $P=60$ кВт. Для обеспечения коммутации такого тока необходимо подобрать соответствующие полевые транзисторы. Уменьшение потерь на переходах сток-исток открытых транзисторов, согласно техническим характеристикам, можно добиться, используя короткий интервал времени, при котором сопротивление сток-исток уменьшается в 2–4 раза. В системе управления нагревателя авторы предлагают использовать именно этот режим работы полевых транзисторов.

Как отмечено, для пропускания тока порядка 2 кА был выбран транзистор IRF3205. Особенность работы полевого транзистора в импульсном режиме, заключается в том, что уменьшается сопротивление сток-исток полевого транзистора. Так как полевой транзистор включен последовательно с нагрузкой, то рассеиваемая мощность на переходе будет меньше, а вся основная мощность будет выделяться на нагрузке. Для работы полевого транзистора в импульсном режиме необходимо правильно настроить время управляющих импульсов подаваемых на затвор. Для транзистора IRF3205, согласно зависимости тока истока от напряжения сток-исток и

длительности управляющего импульса, подаваемого на затвор полевого транзистора, выбираем время коммутации управляющих импульсов 10 мкс...100 мкс, что обеспечит пропускание токов величиной 400 А ...200 А.

На интервале 10 мкс открытия полевого транзистора и при напряжении сток-исток 12–20 В токи, пропускаемые транзистором в этом интервале лежат в пределах 400 А; возьмём среднее значение 200 А, тогда количество транзисторов необходимых для пропускания тока 2 к А через нагрузку нагревателя будет равно десяти. Так как ток через нагрузку должен течь непрерывно, а транзистор должен работать в течение 10 мкс, то для обеспечения непрерывности тока требуется две группы транзисторов, которые будут работать попеременно и обеспечивать таким образом импульсный режим работы полевых транзисторов.

Модули 70XX, используемые для связи с удаленным оборудованием, можно задействовать совместно с программируемым логическим контроллером SMH2G. Поскольку этот контроллер не способен коммутировать импульсы для управления полевыми транзисторами длительностью 10 мкс, то возникает задача построения дополнительного преобразователя управляющих импульсов, приходящих с дискретного выхода SMH2G, в короткие импульсы управления полевыми транзисторами IRF3205.

С этой целью с помощью микросхемы NE555 организован ждущий мультивибратор с периодом выходных прямоугольных импульсов типа «меандр», равным 20 мкс.

Система управления температурным режимом установки выращивания монокристалла сапфира разработана на основании патента авторов [7]. В контуре управления используется ПЛК SMH2G с модулем расширения MC [8], среда программирования SMLogix [9].

Заключение

Разработанная микропроцессорная система управления температурным режимом нагревательной установки, реализующей технологический процесс выращивания кристалла сапфира, имеет существенное преимущество по сравнению с существующей системой, так как позволяет устранить перекося фаз из-за неравномерности нагрузки вследствие включения нескольких установок одновременно, что стало возможным благодаря применению трехфазного трансформатора с управлением по вторичной обмотке; избежать появления высших гармоник, порождающих помехи в промышленной

сети питания при реализации режимов «плавного запуска». Кроме того, применение ПИД – закона при управлении широтно-импульсной модуляцией улучшило качество системы, а использование свойства полевого транзистора существенно увеличивать значение допустимого тока в кратковременном импульсном режиме привело к возможности реализации гибкого управления большой мощностью.

Дальнейшее совершенствование микропроцессорной системы управления технологическим процессом выращивания кристалла сапфира возможно за счет ввода дополнительных контуров регулирования охлаждения, разрядки и т.п., причем эти подсистемы могут быть реализованы на том же контроллере SMH2G, так как его оставшиеся ресурсы оказываются достаточными для этих целей.

Список литературы:

1. Багдасаров Х.С., Горяинов Л.А. Тепло - и массоперенос при выращивании монокристаллов направленной кристаллизацией. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 224 с.
2. Добровинская Е.Р., Литвинов Л.А., Пищик В.В. Энциклопедия сапфира. Харьков: Институт монокристаллов, 2004. 508 с.
3. Мишунин В.В., Рубанов В.Г. Устройство управления тепловым объектом с использованием закона управления дробного типа // Известия вузов. Приборостроение. 2003. №11. С. 30-34.
4. Порхало В.А., Рубанов В.Г., Шапала В.Г. Автоматизация печи обжига клинкера на основе каскадной и многосвязной систем управления // Вестник БГТУ им.В.Г.Шухова. 2013. №2. С. 69-72.
5. Nabokov R.A., Rubanov V.G. and Kizhuk A.S. The Analysis of the Dynamics of the Voltage Regulator with an Electronic Relay Element with Hysteresis // World Applied Sciences Journal. 2013. T 24. №12. С. 1686-1690.
6. Мощный полевой транзистор IRF3205. Техническая документация. [Электронный ресурс]. URL: www.irf.com (дата обращения: 15.08.2014).
7. Пат. 2515129 Российская Федерация, МПК G05D 23/00. Система регулирования температуры электронагрева / Кижук А.С., Рубанов В.Г., Чуев А.В.; патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. - № 2013101096/09; заявл. 09.01.13; опубл. 27.04.14, Бюл. № 12. 5с.
8. Программируемый логический контроллер SMH2G. Руководство по эксплуатации. СПб.: Сегнетикс, 2013. 103 с.
9. Система программирования SMLogix. Техническая документация. СПб.: Сегнетик, 2012. 30 с.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО ЧАСТОТНЫМ ИНТЕРВАЛАМ

Григоров М.С., науч. сотрудник,
Басов О.О., канд. техн. наук
Академия ФСО России

В работах [1,2] задачу автоматизации неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники (ИМ) предложено решать за счет применения метода иерархической сегментации рентгеновских изображений (РИ) в системе мультэнергетической рентгенографии. В результате сегментации РИ (область G) разделяется на конечное число попарно непересекающихся областей G_1, \dots, G_q , таких что:

$$\overline{G} = \bigcup_{i=1}^q \overline{G}_i, G_0 = \bigcup_{i=1}^q G_i, G_i \cap G_j = \emptyset, i \neq j.$$

Современные методы анализа результатов сегментации РИ основаны на исследовании энергетических характеристик в области пространственных частот [3]. Одним из них является предложенный в работах [4-7] метод анализа распределений энергии изображения по заданным частотным интервалам.

Исходными данными для реализации указанного метода являются:

– РИ сегментированной области G_i , определяемое в виде двумерной функции $f(x, y)$, значения которой являются уровнем яркости в точке, задаваемой парой координат $x = 1, 2, \dots, N$ и $y = 1, 2, \dots, K$ [3];

– количество частотных субинтервалов R_1 и R_2 в двумерной частотной области.

Частотный субинтервал Ω – центрально-симметричная область частотной плоскости, задаваемая следующим образом [4]:

$$\Omega: \{ \Omega(u, v) | (u \in [\alpha_1, \alpha_2], v \in [\beta_1, \beta_2]) \cup (u \in [\alpha_1, \alpha_2], v \in [-\beta_2, -\beta_1]) \cup (u \in [-\alpha_2, -\alpha_1], v \in [-\beta_2, -\beta_1]) \cup (u \in [-\alpha_2, -\alpha_1], v \in [\beta_1, \beta_2]) \}, \quad (1)$$

где $0 \leq \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2 \leq \pi$; u, v – частоты; $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ – координаты области Ω в частотной плоскости.

Точное значение доли энергии изображения области G_i в частотном субинтервале Ω [5]:

$$P_{\Omega} = \frac{\text{tr}(A_{r_1}^T \cdot M \cdot A_{r_2} \cdot M^T)}{\text{tr}(M \cdot M^T)}, \quad (2)$$

где $M = (f_{xy})$ – матрица значений функции $f(x, y)$; A_{r_1} и A_{r_2} – субполосные матрицы, значения элементов которых определяется следующим образом:

$$a_{x_1, x_2}^{r_1} = \begin{cases} \frac{2 \cos \frac{\pi(2r_1 - 1)(x_1 - x_2)}{2R_1} \sin \frac{\pi(x_1 - x_2)}{2R_1}}{\pi(x_1 - x_2)}, & x_1 \neq x_2 \\ 1/R_1, & x_1 = x_2 \end{cases}; \quad (3)$$

$$a_{y_1, y_2}^{r_2} = \begin{cases} \frac{2 \cos \frac{\pi(2r_2 - 1)(y_1 - y_2)}{2R_2} \sin \frac{\pi(y_1 - y_2)}{2R_2}}{\pi(y_1 - y_2)}, & y_1 \neq y_2 \\ 1/R_2, & y_1 = y_2 \end{cases}. \quad (4)$$

где $r_1 = 1, 2, \dots, R_1$ и $r_2 = 1, 2, \dots, R_2$.

Для определения сосредоточенности заданной доли m энергии РИ в некотором множестве (мощностью T) частотных субинтервалов вычисляется значение частотной концентрации энергии РИ (ЧКЭРИ):

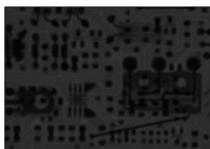
$$C_{G_i} = \frac{T}{R_1 \cdot R_2}. \quad (5)$$

Для исследования применимости метода анализа распределений энергии изображения по заданным частотным интервалам к задаче анализа сегментированных РИ ИМ были проведены вычислительные эксперименты. В качестве тестовых было использовано значительное количество сегментированных РИ ИМ, полученных при различных параметрах рентгеновского излучения (напряжения рентгеновской трубки U (кэВ), тока рентгеновской трубки I (мА) и времени экспозиции t (с)). Примеры некоторых из них приведены на рисунках 1 и 2.

В ходе экспериментов проанализированы следующие субполосные свойства РИ:

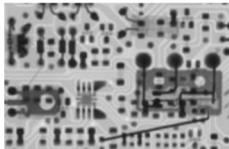
- зависимость ЧКЭРИ (C) от заданного количества частотных субинтервалов $R_1 * R_2$;
- влияние разрешения анализируемого изображения на ЧКЭРИ;
- зависимость ЧКЭРИ от типа элемента на изображении и режима работы источника рентгеновского излучения;

–доля энергии РИ, необходимая для отнесения объектов разных типов к соответствующим классам.



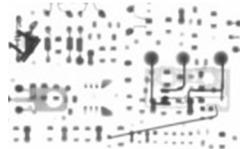
а)

$U=100(\text{кэВ})/I=1(\text{мА})/$
 $t=40(\text{с})$



б)

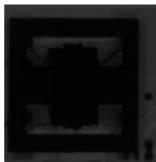
$U=140(\text{кэВ})/I=2(\text{мА})/$
 $t=40(\text{с})$



в)

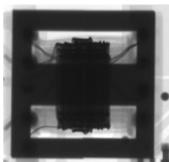
$U=180(\text{кэВ})/I=3(\text{мА})/$
 $t=40(\text{с})$

Рисунок 1 – Область печатной платы с элементами малой плотности



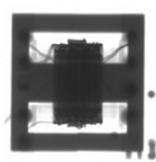
а)

$U=100(\text{кэВ})/I=1(\text{мА})/$
 $t=40(\text{с})$



б)

$U=140(\text{кэВ})/I=2(\text{мА})/$
 $t=40(\text{с})$



в)

$U=180(\text{кэВ})/I=3(\text{мА})/$
 $t=40(\text{с})$

Рисунок 2 – Трансформатор

Полученные результаты (табл. 1 и 2) позволили сделать следующие выводы.

Таблица 1 –Значения ЧКЭРИ (С) и количество частотных интервалов (Т), содержащих энергию $\eta=0,999$, в зависимости от количества частотных субинтервалов $R_1 * R_2$

Тип исследуемого элемента	Режим источника $U(\text{кэВ})/I(\text{мА})/t(\text{с})$	Число частотных субинтервалов							
		8*8		10*10		16*16		32*32	
		Т	С	Т	С	Т	С	Т	С
Трансформатор (1200x1239)	100/1/40	1	0,1	1	0,1	2	0,1	5	0,0
		0	56	3	3	3	44	3	52
	140/2/40	1	0,1	1	0,1	2	0,1	5	0,0
		0	56	3	3	2	38	2	51
	180/3/40	9	0,1	9	0,1	2	0,1	4	0,0
			41		41	0	25	7	46
Трансформатор (155x160)	100/1/40	1	0,2	2	0,2	6	0,2	2	0,2
		8	81	7	7	4	5	5	46

	140/2/40	1 8	0,2 81	2 6	0,2 6	5 9	0,2 3	2 3 3	0,2 28
	180/3/40	1 7	0,2 66	2 3	0,2 3	5 2	0,2 03	2 0 2	0,1 97
Плата с мелкими деталями (2080x1141)	100/1/40	5	0,0 78	6	0,0 6	1 1	0,0 43	3 1	0,0 3
	140/2/40	4	0,0 63	6	0,0 6	1 0	0,0 39	2 6	0,0 25
	180/3/40	4	0,0 63	5	0,0 5	9	0,0 35	2 3	0,0 23
Плата с мелкими деталями (160x103)	100/1/40	2 9	0,4 53	4 5	0,4 5	1 1 3	0,4 41	4 4 7	0,4 37
	140/2/40	2 8	0,4 38	4 2	0,4 2	1 0 5	0,4 1	4 1 4	0,4 04
	180/3/40	2 3	0,3 59	3 4	0,3 4	8 3	0,3 24	3 2 4	0,3 16

Таблица 2 –Значения ЧКЭРИ для заданной доли энергии изображения

Тип исследуемого элемента	Режим источника U(кэВ)/I(мА)/t (с)	Частотная концентрация заданной доли энергии изображения (16*16 частотных субинтервалов)						
		0,9 99	0,99 8	0,9 97	0,9 96	0,9 95	0,9 94	0,9 93
Трансформатор	100/1/40	0,2 5	0,18	0,1 48	0,1 37	0,1 29	0,1 21	0,1 17
	140/2/40	0,2 31	0,16 8	0,1 45	0,1 33	0,1 25	0,1 21	0,1 13
	180/3/40	0,2 03	0,14 8	0,1 37	0,1 25	0,1 17	0,1 09	0,1 02
Плата с мелкими деталями	100/1/40	0,4 41	0,33 6	0,2 81	0,2 5	0,2 27	0,2 11	0,1 95
	140/2/40	0,4 1	0,30 9	0,2 58	0,2 31	0,2 07	0,1 95	0,1 84
	180/3/40	0,3 24	0,23 4	0,1 99	0,1 8	0,1 68	0,1 52	0,1 41

Число частотных субинтервалов существенно влияет на применимость метода (таблица 1): чем больше число частотных

субинтервалов, тем больше разрешение метода. Для исследуемых РИ, при большом значении энергии необходимо не менее 16 частотных субинтервалов, чтобы обеспечить необходимое разрешение одного изображения от другого. Увеличение числа частотных субинтервалов до 32 дает некоторое увеличение точности определения доли информационных субинтервалов, но при этом повышается вычислительная сложность.

Исследование пространственного разрешения изображения показало (таблица 1), что оно не оказывает влияния на тенденцию изменения ЧКЭРИ. Это позволяет использовать для анализа сжатые изображения, тем самым снижая вычислительную сложность.

Выбор значения доли энергии исследуемого изображения оказывает прямое влияние на разрешение метода (таблица 2). Значения частотной концентрации энергии меньше 0,995 дают результат, не позволяющий разрешить друг от друга объекты разных типов (разного уровня неоднородности).

Изображения элементов разных типов, полученные при одном режиме просвечивания и том же детекторе (в таблицах 1 и 2 выделено цветом), имеют разные значения ЧКЭРИ, что позволяет их классифицировать. Следует отметить, что разные элементы (области) РИ G , полученные в одинаковых условиях, имеют различающуюся субъективную оценку качества (рис.2 (в) – изображение четкое, пригодное к расшифровке; рис.1 (в) – изображение размытое, пересвеченное), соответствующую определенному значению (диапазону значений) ЧКЭРИ.

Для принятия решения о выделении на РИ G областей G_i , пригодных к расшифровке (анализу), по избранному критерию качества (ЧКЭРИ) необходимо проведение дополнительных исследований, направленных на установление корреляции субъективных и объективных оценок качества РИ.

Список литературы:

1. Григоров М.С., Басов О.О. Метод иерархической сегментации рентгеновских изображений изделий микроэлектроники // Современные инновации в науке и технике: Сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции. В 4-х томах. Том 1. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. С. 303-305.
2. Григоров М.С., Басов О.О. Концептуальная модель системы мультэнергетической рентгенографии // Техника и технологии: пути инновационного развития: Сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции, посвященной 50-

- летию Юго-Западного государственного университета. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. С. 97-100.
3. Госалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
 4. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Лысенко И.В. Метод определения точных значений долей энергии изображений в заданных частотных интервалах // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. 2013. вып.4. С. 115-123.
 5. О частотной концентрации энергии изображений / А.А. Черноморец, В.А. Голощапова, И.В. Лысенко, Е.В. Болгова // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 2011. №1(96). Вып.17/1. С. 146-151.
 6. О субполосных свойствах изображений / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, А.С. Белов, Е.В. Болгова // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 2013. №8(151). Вып.26/1. С. 175-182.
 7. Черноморец А.А., Иванов О.Н. Метод анализа распределения энергий изображений по заданным частотным интервалам // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 2010. №19(90). Вып.16/1. С. 161-166.

БОРТОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ

Добринский Е.П., аспирант,

Рубанов В.Г., д-р техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время робототехника превратилась в развитую отрасль промышленности: тысячи роботов работают на различных предприятиях мира, подводные манипуляторы стали непременной принадлежностью исследовательских и спасательных аппаратов, изучение космоса опирается на широкое использование роботов с различным уровнем интеллекта. Особенное внимание уделяется автоматизации тяжелых, вредных, утомительных и монотонных работ в различных отраслях с помощью роботов-манипуляторов.

Мобильные транспортные средства – робокары, созданы для применения в гибких производственных системах (ГПС). Их особенностью является наличие на борту следящей системы, обеспечивающей программируемое перемещение по замкнутой трассе производственного помещения, заданной индуктивной или светоотражающей полосой, проложенной в полу или на полу, либо с использованием инерциальной, лазерной или иной бесконтактной системы навигации, трасса в данном случае задается посредством «обучения» робота. Кроме того, предусмотрено программирование остановок робокар, быстрая смена траектории при реконфигурации помещения и выбор кратчайшего пути к заданному пункту.

Транспортно-складские операции играют существенную роль в синхронизации всех производственных процессов. Именно поэтому применение робокаров в качестве внутрицехового или межцехового транспорта в целом ряде механосборочных производств позволяет добиться существенных положительных изменений в организации производственного процесса, экономике и технике безопасности.

Основным устройством управления – системой управления робокара, является бортовая вычислительная система, включающая в свой состав компактное, но достаточно мощное вычислительное устройство со средством диагностики и производящее все операции по просчету траектории, поддержанию курса, управлению исполнительными устройствами и обработке показаний с датчиков; средства очувствления – датчики, необходимые для поддержания

траектории, обнаружения меток и пр., средство связи.

Построение бортовой вычислительной системы управления напрямую связано с применяемым способом навигации робокара, типом и количеством датчиков, необходимых для адекватного определения положения робокара в пространстве, что влияет на выбор вычислительного устройства, количество и типы входов-выходов, систему диагностики неисправностей и алгоритм работы в целом.

Поскольку робокар постоянно меняет свое положение в пространстве, то для его оценки необходимо располагать в каждый момент времени информацией об изменении его координат состояния. При боковом движении такими координатами являются: угол рыскания $\varphi(t)$ – угол между продольной осью робота и направлением кинематической траектории; боковое смещение $y(t)$ – расстояние по нормали между проекцией на горизонтальную ось геометрического центра робота, заданного положением датчиков, и кинематической траекторией.

Переменные $\varphi(t)$, $y(t)$, $\omega_p(t)$ и $\omega_l(t)$ -угловые скорости вращения правого и левого колес, $V_p(t)$ и $V_l(t)$ -линейные скорости перемещения правой и левой осевых точек, представляют собой в общем случае эргодические стационарные случайные процессы на прямолинейных участках трассы, где требуется их стабилизация относительно некоторых фиксированных значений. Поэтому формирование вектора оценки \hat{X} состояния X транспортного средства происходит путем последовательного опроса датчиков. На основании данных (информация о положении робота, оборудовании, характере трассы и др.) поступающих на вход вычислительного устройства можно представить информационную модель объекта, изображенную на рис. 1, где $\{L, R, O, Z\}$ -технологические параметры объектов, определяющих направление выполнения цели; $\{UL, UR, [ok], [zm]\}$ -конечные множества сигналов [1].

На основании информационной модели, можно сделать вывод о том, какие средства очувствления (датчики) должен иметь мобильный робот на своем борту, чтобы вектор оценки состояния был максимально содержательным.

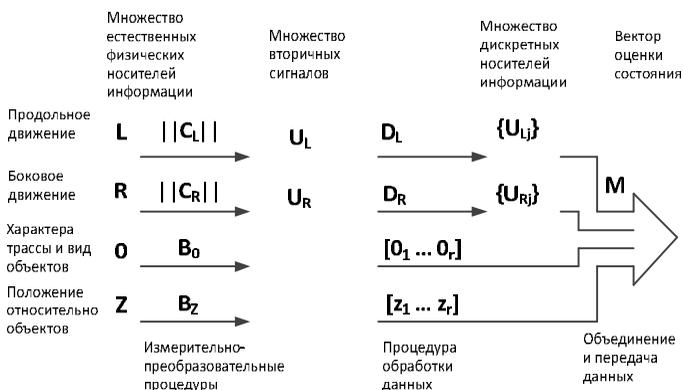


Рисунок 1 – Информационная модель мобильного робота

Проведем анализ способов навигации, используемых различными производителями робокаров.

1. Прокладка трасс на рабочей поверхности. Навигационная система работает при помощи жестко заданного маршрута, например, как в [2] и не обладает достаточной гибкостью, т.к. требуется прокладка трассы, а также частичная перепланировка помещения. Для поддержания траектории используются различные бесконтактные датчики, например, магниторезистивные в случае задания траектории проводником с током или оптические датчики линии, в случае задания траектории контрастной по отношению с полом линией.

2. Использование системы технического зрения для ориентации на складе. В настоящее время данная область активно развивается [3], но основная сложность заключается в проблеме изменения суточной интенсивности освещения, которая сильно влияет на точность распознавания трассы.

3. Способ навигации по различным меткам, монтируемым в пол: магнитные метки, метки с кодом и т.п. Расчет маршрута между метками осуществляется при помощи полученной информации с головных датчиков: датчиков скорости поворота, датчиков позиционирования и пройденного пути. При этом при задании пути учитывается проблема инерционности робокара с грузом, которая наиболее актуальна, если на пути встречаются неровные или неоднородные поверхности и разливы на полу скользкие жидкости. Данная проблема решается путем расположения маркеров вдоль пути, добавлением в систему датчика перемещения относительно поверхности, за счет этого корректируются недостатки основной навигационной системы. В некоторых ситуациях

для повышения точности позиционирования робокаров оптимальным решением является комбинирование различных способов навигации. Также, в настоящее время, в робототехнике исследуются и моделируются технологии адаптивного принятия решений роботом [4].

В качестве системы ориентации и стабилизации робокара в пространстве рассмотрим способ навигации основанный на использовании инерциальной системы навигации, включающей в свою структуру трехосевой гироскоп ITG3205, акселерометр BMA180 и магнитометр HMC5883L, магнитных и радиочастотных идентификационных меток. Данный способ навигации и управления движением транспортного средства основан на свойствах инерции тел и не требует наличия внешних ориентиров или поступающих извне сигналов [5]. Применение смешанной системы навигации позволяет сформировать вектор оценки состояния транспортного средства.

Одним из преимуществ данной системы навигации является полная работоспособность в условиях отсутствия сигналов со спутников ГЛОНАСС/GPS, например, в сложных географических условиях или при подавлении этих сигналов, а также возможность обеспечивать быстрые, низко латентные динамические измерения.

Однако, использование инерциальной системы навигации не позволяет достичь требуемого эффекта: даже с применением различных фильтров ошибка отклонения превышает допустимую величину.

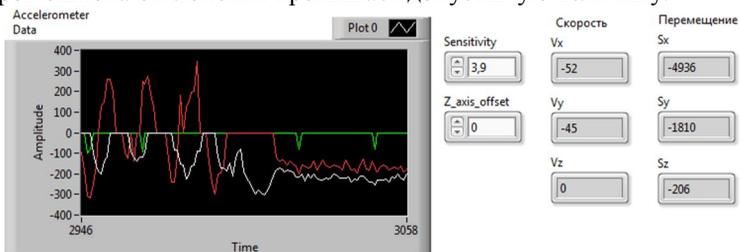


Рисунок 2 – График проекций ускорения, значения скорости и перемещения

В среде Labview была разработана программа для исследования датчиков системы позиционирования и выявлен ряд причин, по которым происходит накопление ошибки:

- электромагнитные поля, свойственные ферромагнетикам, в результате воздействия, которых сбиваются показания магнетометра;
- при интегрировании показаний гироскопа, даже с применением фильтров происходит накопление ошибки, которую необходимо постоянно сбрасывать;

- температурный дрейф показаний датчиков [6].

Для решения подобных проблем на всей траектории движения робокара устанавливаются магнитные метки «крестики», в результате чего транспортное средство автоматически стабилизирует курс. Вся полученная информация поступает в бортовое вычислительное устройство, где производится её обработка и генерация управляющего воздействия.

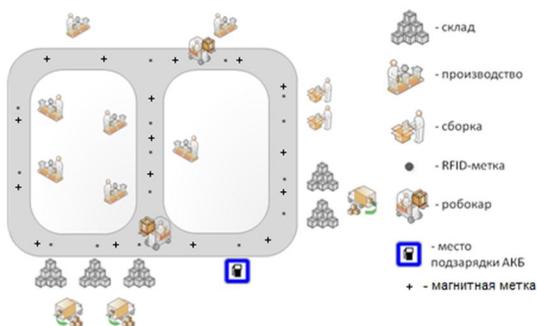


Рисунок 3 – Возможная конфигурация склада с расположением меток
 Общая структура системы управления автоматизированным транспортным средством приводится на рис. 4



Рисунок 4 – Структура системы управления автоматизированного транспортного средства

Для решения задачи точного позиционирования транспортного средства в местах остановки используются РЧИ-метки (Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация), установленные на полу непосредственно возле рабочих мест либо стеллажей склада.

Остановимся более подробнее на бортовом вычислительном

устройстве, рассмотрим его структуру и возможности.

В качестве бортового вычислительно устройства используется миникомпьютер Raspberry Pi Model B, на его основе построена бортовая вычислительная система.

Кроме того, для обеспечения большей надёжности функционирования автоматизированного транспортного средства, быстрого и точного выявления неисправностей дискретных устройств и повышения живучести системы за счёт реконфигурации выходов, данный микрокомпьютер дополняется платой, содержащей несколько микросхем транзисторных ключей с обратной связью и сетью демультимплекторов, введённой в алгоритм управления робокаром.

Данная плата позволяет диагностировать неисправность дискретных выходов по наличию сигнала обратной связи, производить самодиагностику и реконфигурацию выходов.

Проведённые испытания показывают, что данная микросхема позволяет чётко отследить неисправность дискретных выходов. Причем при выгорании одного или нескольких выходов, оставшиеся сохраняют полную работоспособность.

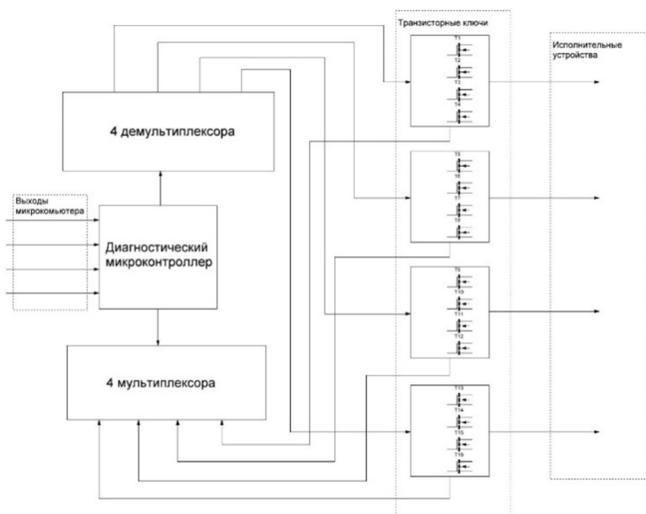


Рисунок 5 – Функциональная схема платы диагностики

В настоящий момент проводятся исследования по созданию более инновационной системы для диагностирования неисправностей дискретных устройств, основанную на применении формирователей периодической последовательности импульсов с длительностью,

определяемой длительностью входного управляющего импульса и регулируемой скважностью, например, как в [7]. Данный подход позволит более качественно определить неисправность устройства и произвести своевременную реконфигурацию, что в разы повысит производительность и живучесть системы управления робота в целом.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 12-07-97526-р_центр_а «Информационно-вычислительные интеллектуальные системы управления роботизированных транспортных средств для решения логистических задач промышленных и агропромышленных производств», государственного задания Минобрнауки РФ № 01201256918.

Список литературы:

1. Рубанов В.Г., Юревич Е.И. Системный подход к проектированию управляемых мобильных логистических средств // Мехатроника, автоматизация, управление. 2004. №2. С. 10-12.
2. Пат. EP0956523B1 United States of America, МПК7 G 05 D 1/02. Navigation system for automatic guided vehicle / Joseph A. Bencel, Barry D. Douglas; заявительпатентообладатель Philadelphia, Fmc Corporation; заявл. 10.02.1997; опубл. 19.12.2001.
3. Юдин Д.А., Магергут В.З. Сегментация изображений процесса обжига с применением текстурного анализа на основе самоорганизующихся карт // Информационные технологии. М.: Изд-во «Новые технологии», 2013. №4. С. 65-70.
4. Цымбал А.М., Бронников А.И. Моделирование адаптивного принятия решений в ИСУ роботом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №4. С. 173-176.
5. Разработка автоматизированной транспортно-складской системы с групповым управлением роботов / Е.П. Добринский, Д.А. Бушуев, В.З. Магергут, А.Г. Бажанов // Труды 7-го международного симпозиума. Санкт-Петербург: Изд-во «Политехника-сервис», 2013. 556 с.
6. Бережной В.А., Добринский Е.П., Бушуев Д.А. Использование интегральных датчиков для оценки движения технических объектов [электронный ресурс] // сб. труд.международ. науч.-техн. конф. молодых ученых. Белгород: БГТУ, 2013. - 1 электрон, опт.диск (CD-ROM).
7. Rubanov V.G. Application of Decomposition Method to Cyclic Finite State Machine Synthesis with Reconfigurable Time Parameters of Output Signals / V.G. Rubanov, E.N. Korobkova, E.P. Dobrinskiy // World Applied Sciences Journal 25(1), 2013. Pp. 69-77.

АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ОРМАНСА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Дубровский И.И., канд. техн. наук, доц.,

Лукиянов В.Л., ассистент

Российский химико-технологический университет

им. Д.И. Менделеева

Метод Орманса [1,2] относится к графоаналитическим способам математического описания объекта управления по нормированной кривой разгона. Главная задача вычислить две доминирующие постоянных значения объекта управления – постоянные времена T_1 и T_2 , для того, чтобы воспользоваться аппроксимирующим уравнением второго порядка вида:

$$h(t) = h(\infty) \left[1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} \right] \quad (1)$$

Эмпирическим путем доказана связь между точками кривой разгона и параметрами модели – постоянными времени, а именно

$$t_H \approx 1,2 (T_1 + T_2) \quad (2)$$

и временной зависимостью

$$t_L \approx t_H / 3. \quad (3)$$

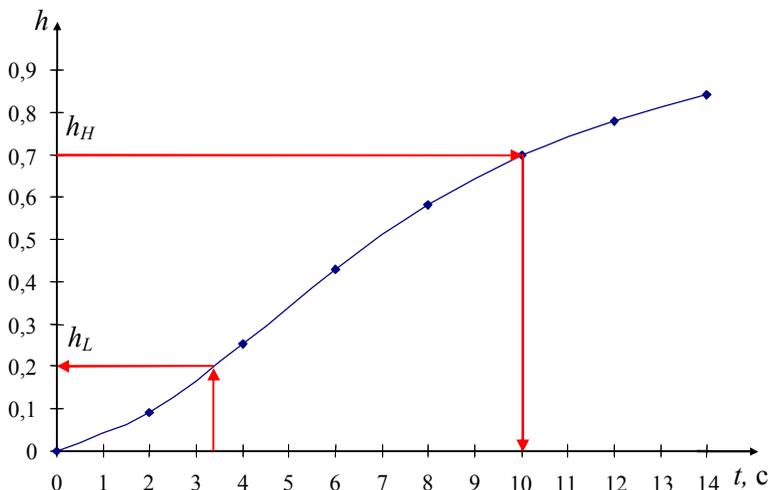


Рисунок 1 – Безразмерная кривая разгона

При реализации графоаналитического метода по [1,2] необходимо по нормированной кривой разгона определить время достижения значения безразмерной величины $h_H = 0,7$, а затем вычислить значение t_L , т.е. полученный интервал, соответствующей h_H , разделить на три. Из полученной временной координаты t_L восстанавливается перпендикуляр до пересечения с кривой разгона. А из точки пересечения с кривой разгона опускается перпендикуляр на безразмерную ось параметра h и определяется величина h_L (см. рис.1). Далее, по имеющейся, например, в [2,стр.119] графической номограмме, определяем величину вспомогательной величины Z^2 как функции от h_L . Затем вычисляем величину $-Z$. После этого по формулам (4) [2,стр.118] вычисляем постоянные времени T_1 и T_2 .

$$T_1 = \frac{t_H}{2,4} \cdot (1+Z) \quad ; \quad T_2 = \frac{t_H}{2,4} \cdot (1-Z) \quad (4)$$

Полученные значения T_1 и T_2 подставляются в аппроксимирующее уравнение (1).

Таким образом, графоаналитическим способом с помощью метода Орманса осуществляется математическое описание объекта управления.

Наше внимание привлёк вид номограммы, приведенной в [2,стр.119], для h_L . В виде точек она показана на рис. 2, поз. 2. Она же может быть с высокой точностью линеаризована с использованием программных возможностей, заложенных в Excel, что и было сделано (рис.2, поз. 1).

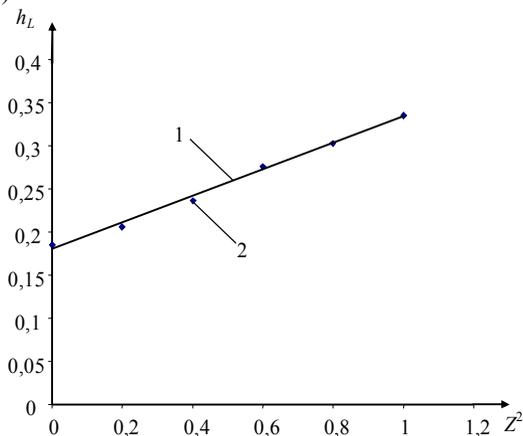


Рисунок 2 – Номограмма для определения величины Z^2 , полученная в Excel

Окончательно, номограмма в Excel описывается уравнением вида:

$$Y = 0,154 \cdot X + 0,1797, \quad (5)$$

где Y эквивалентно h_L , а X является эквивалентом вспомогательной величины Z^2 .

Адекватность математического описания подтверждается тем, что константа по номограмме 1, изображенной на рис. 2, $h_L \geq 0,18$, а в уравнении (5) эта константа 0,1797. Так X эквивалентно величине Z^2 , то значение Z , используемое в формулах (4), можно вычислить по выведенной из уравнения (5) формуле:

$$Z = \sqrt{\frac{h_L - 0,1797}{0,154}} \quad (6)$$

Для кривой разгона, изображенной на рис. 1, значение величины Z равно 0,3631. Для расчёта этого значения, не использовались номограммы, а только выведенная из уравнения (5) формула (6).

Постоянные времена T_1 и T_2 объекта управления определяются в соответствии с (4) и значениями для Z и t_H :

$$T_1 = \frac{t_H}{2,4} \cdot (1 + Z) = \frac{10}{2,4} \cdot (1 + 0,3631) = 5,6796 ;$$
$$T_2 = \frac{t_H}{2,4} \cdot (1 - Z) = \frac{10}{2,4} \cdot (1 - 0,3631) = 2,6538$$

Проверка достоверности полученных значений T_1 и T_2 выполнена по формуле (2): $t_H = 1,2 (T_1 + T_2)$.

Проверка:

$$10 \text{ с} = 1,2 (5,6796 + 2,6538) = 1,2 \cdot 8,3334 = 10,0001 \text{ с (расчетная)}.$$

Таким образом, можно отказаться от использования номограммы, а для расчетов постоянных времени (T_1 и T_2) заменить графические построения компьютерным алгоритмом аппроксимации с использованием формулы (6).

Алгоритм аппроксимации. В качестве исходных данных используется набор из n дискретных точек экспериментальной кривой разгона с координатами $(t_0; h_0)$, $(t_1; h_1)$, $(t_2; h_2)$, ..., $(t_n; h_n)$.

Алгоритм по методу Орманса включает следующие операции:

- *сглаживания* дискретных данных экспериментальной кривой разгона осуществляется в программе (четвертых разностей или скользящего среднего), которые описаны в [2];

- *определения времени t_H достижения безразмерной величиной значения параметра $h_H = 0,7$.* Для поиска h_H по дискретным точкам используется интерполяционный многочлен Лагранжа 3-й степени;

• *вычисления значения времени t_L по формуле (3). Для поиска h_L по дискретным точкам также используется интерполяционный многочлен Лагранжа 3-й степени.*

определения величины Z , используя значение h_L по формуле (6);

вычисления постоянных времени $T1$ и $T2$ по формулам (4);

записи окончательного вида аппроксимирующего уравнения вида (1);

сравнения экспериментальных и расчетных значений по формуле (2).

Выводы:

предложен вариант замены графоаналитического метода Орманса на компьютерный вариант на базе алгоритма приведенного выше;

разработан программный продукт для аппроксимации кривой разгона;

с целью повышения эффективности расчёта по экспериментальной кривой разгона, представленной в виде набора из n дискретных точек, используется программное сглаживание.

Список литературы:

1. Литыга А.М., Клиначёв Н.В., Мазуров В.М. Теоретические основы построения эффективных АСУ ТП. Тула: Изд-во ТулГУ, 2004. 63 с.
2. Балакирев В.С., Дудников Е.Г., Цирлин А.М. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. М.: Энергия, 1967. 232 с.

РАСПОЗНАВАНИЕ ТЕРМОГРАММ ФУТЕРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ КОХОНЕНА

Емельянов В.А., канд. техн. наук

Севастопольский институт банковского дела

В металлургическом производстве широко используются футерованные объекты (ФО) для перевозки и разливки жидких металлов. Такими объектами являются: передвижные миксеры, чугуновозы, сталеразливочные ковши и др. Они представляют собой отдельную группу объектов диагностики, содержащих огнеупорный компонент – футеровку, предназначенную для защиты корпуса объектов от действия высоких температур содержащихся в них жидких металлов (более 1000⁰С). При эксплуатации таких объектов уделяется значительное внимание состоянию их футеровки, поскольку этот фактор может быть причиной их разрушения, что влечет большие материальные затраты. Особенностью диагностики представленных футерованных объектов является то, что изменение их технического состояния (футеровки) можно фиксировать при помощи теплового метода контроля [1] на основе анализа изображений термограмм этих объектов, полученных с помощью тепловизора.

Термограмма исследуемых футерованных объектов в двумерном пространстве обычно представляется в виде пятнообразного изображения со спектральным распределением цветов по интенсивности излучения. Таким образом, задача изучения состояния футерованного объекта на основе термограммы сводится к распознаванию динамической последовательности многоцветного пятнообразного изображения по конкретным признакам.

В настоящее время для распознавания изображений применяется достаточно большое количество алгоритмических и программных средств [2-3]. Следует отметить высокую эффективность нейронных сетей (НС) при распознавании изображений, а также возможность легкой их адаптации для решения разных задач за счет свойства обучения [4-5].

Из всего многообразия нейронных сетей для решения задачи распознавания изображений термограмм ФО на примере передвижных миксеров ПМ 350т предлагается исследование самоорганизующейся сети Кохонена. Выбор обусловлен возможностью ее обучения без учителя, что является важным фактором, поскольку не всегда на

предприятиях существует выборка изображений термограмм для обучения нейронных сетей.

Предлагаемая структура НС Кохонена (рис. 1) для распознавания термограмм ФО была разработана на основе базисной сети Кохонена [4] и состоит из 25х14 (350) ячеек.

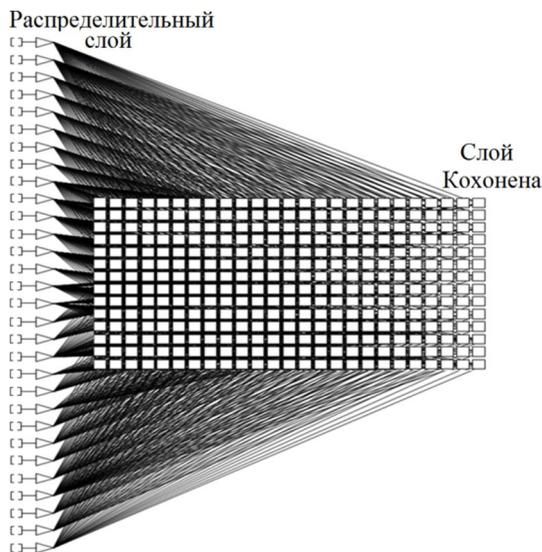


Рисунок 1 – Топология сети Кохонена для распознавания термограмм миксеров ПМ 350т

Для обучения нейронной сети использовался следующий алгоритм:

1. Каждому нейрону i ставился в соответствие вектор прототип m_i .
2. На каждом шаге обучения вектор данных x выбирался случайным образом из обучающей выборки.

3. После чего вычислялось расстояние между x и вектором-прототипом. Нейрон победитель b выбирался исходя из того, чтобы разница между вектором-прототипом и вектором данных была минимальна:

$$\|x - m_b\| = \min_t \|x - m_t\| \quad (1)$$

4. На следующем этапе алгоритма происходит обновление векторов-прототипов. Все нейроны в окрестности нейрона победителя обновлялись по формуле:

$$m_i(t+1) = m_i(t) + \alpha(t)h_{bi}[x - m_i(t)] \quad (2)$$

где t номер эпохи обучения;

$\alpha(t)$ коэффициент обучения.

При этом

$$h_{bi} = e^{-\frac{\|r_b - r_i\|^2}{2\sigma^2(t)}} \quad (3)$$

где r_b, r_i расположение нейронов b и i на карте Кохонена;

$\sigma(t)$ радиус окрестности нейрона победителя.

Параметры $\alpha(t)$ и $\sigma(t)$ уменьшались после каждой эпохи обучения.

Для обучения использовался набор из 280 изображений терморамм, из которых 140 изображений представляют собой обучающее множество и 140 тестовое множество. При этом обучающее множество содержало 50% изображений термограмм характеризующих класс «норма» и 50% изображений характеризующих класс «не норма»

Для представленной на рис. 1 сети, параметры процедуры обучения были выбраны следующим образом:

- первая диалоговая итерация: 700 эпох; скорость обучения от 0,8 до 0,05; соседство от 2 до 0,01;
- вторая итерация: 10000 эпох; скорость обучения от 0,05 до 0,01; соседство от 0,1 до 0.

В конце первой диалоговой итерации обучения функция ошибки алгоритма Кохонена достигла значений 0,3006 на обучающем множестве (напомним, что в данном случае имеет место самообучение и данные учителя не учитываются, а ошибка определяется расстоянием входного сигнала от ближайшего ему центра) и 0,4772 на контрольном. График изменения обеих величин изображён на рис. 2.

Ошибка вычисляется как расстояние от входного случая до ближайшего из центров. Во время второй итерации функции ошибки незначительно изменились до значений 0,2434 и 0,2875 соответственно.

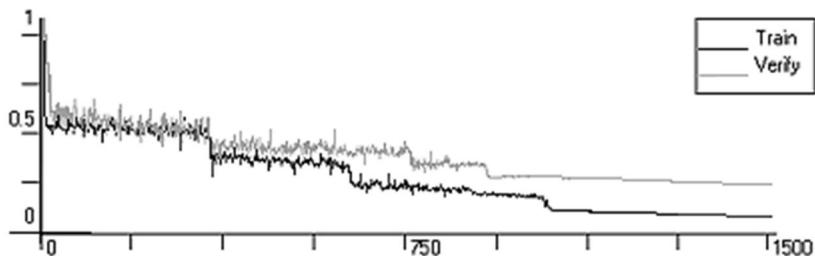


Рисунок 2 – График изменения функций ошибок во время обучения алгоритма Кохонена

Как известно [4-5], визуально результат работы обученной сети Кохонена позволяет наблюдать «топологическая карта». Она отображает степени активации нейронов выходного слоя для каждого исследуемого случая и позволяет характеризовать найденные кластеры.

Для распознавания термограмм передвижных миксеров предлагается совместить топологическую карту с цветовой палитрой изображения термограммы (рис. 3).

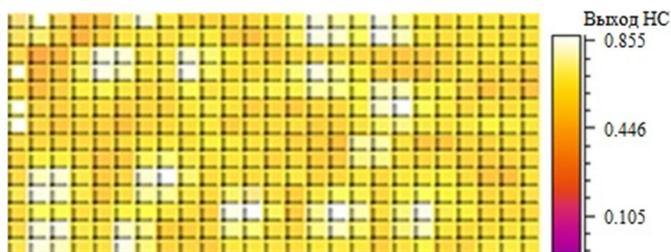


Рисунок 3 – Цветовая кодировка матрицы расстояний между элементами самоорганизующейся сети Кохонена

На рис. 3 представлена цветовая кодировка матрицы расстояний между элементами самоорганизующейся сети Кохонена, согласно которой, чем ближе нейронные элементы второго слоя сети друг к другу, тем более синим помечается соответствующая ячейка, и наоборот, чем топологически дальше элементы друг от друга, тем более красным кодируется соответствующий элемент.

На основе НС Кохонена был проведен ряд экспериментов по распознаванию изображений термограмм миксеров ПМ 350т. Результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты распознавания изображений термограмм на основе НС Кохонена с разными структурами

Число ячеек в карте Кохонена (структура карты)	% корректно распознанных изображений термограмм
150 (15x10)	76,5
200 (20x10)	81,8
350 (25x14)	91,4
500 (25x20)	92,1

Таким образом, проведенное исследование показало возможность решения задачи распознавания изображений термограмм ФО для диагностирования его состояния с помощью самоорганизующейся сети Кохонена, обеспечивающую высокую статистическую достоверность распознавания.

Список литературы:

1. Емельянов В.А., Емельянова Н.Ю. Интеллектуальная компьютерная система диагностики технического состояния передвижных миксеров на основе обработки визуальной информации // Радиоэлектронные и компьютерные системы. Харьков, 2013. №3(62). С. 73-80.
2. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений. СПб.: БХВ Петербург, 2011. 608 с.
3. Журавлев Ю.И., Рязанов В.В., Сенько О.В. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения. М.: Фазис, 2005. 159 с.
4. Ососков Г.А., Стадник А.В. Нейронные сети с самоорганизацией в задачах классификации и обработки изображений // ИТВ. М.: СУРСС, 2004. №1. С. 103-125.
5. Haykin S. Neural Net works and Learning Machines (3rd Edition). PrenticeHall, 2008. 936 p.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЗНОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ СПЕКТРА СИГНАЛА НА ПРИМЕРЕ СИГНАЛА ВИБРОУСКОРЕНИЯ ЦАПФЫ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

**Еременко Ю.И., д-р техн. наук, проф.,
Полещенко Д.А., канд. техн. наук, доц.,
Глущенко А.И., канд. техн. наук, доц.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова
(филиал НИТУ «МИСиС»)*

*Национальный исследовательский технологический университет
«Московский институт стали и сплавов»*

На сегодняшний день на горно-обогатительных предприятиях при переработке рудного материала в шаровых мельницах операторы испытывают определенные трудности при управлении данными агрегатами. Суть проблемы заключается в том, что оптимальный по удельному расходу энергоресурсов режим работы объекта состоит в максимально возможной загрузке барабана мельницы рудным материалом. В свою очередь, данный режим характеризуется тем, что объект при подаче в мельницу излишнего объема руды может перейти в состоянии перегруза, которое сопровождается выносом из мельницы крупной (неизмельченной гали), шаров и приводит к необходимости аварийной остановки объекта с последующим ручным извлечением излишнего материала из мельницы. Как следствие, простой мельницы до устранения последствий перегруза ведет к существенным экономическим потерям предприятия. Чтобы избежать подобного негативного явления оператор мельницы вынужден работать в режиме недогруза. Как правило утверждается, что недогруз составляет 5-7%. При большой энергоемкости привода мельницы (3-4 МВт) даже лишние 5% выливаются в значительные суммы неэффективно потраченных энергоресурсов. В свою очередь повышение производительности даже на 1% может принести существенную экономическую прибыль предприятию [1].

Невозможность оптимально управлять мельницей является следствием отсутствия метода измерения, способного точно определить уровень заполнения мельницы, для того чтобы замкнуть контур управления по изменению ее загрузки.

В горнорудной промышленности известен способ измерения степени загрузки мельницы на основании анализа сигнала активной

мощности, потребляемой синхронным двигателем мельницы. На практике данный способ дает весьма противоречивые результаты.

Давно известны методы определения степени заполнения барабана мельницы на базе анализа сигналов звука, исходящего от вращающегося барабана и вибрации ее цапф. Существует промышленный прибор, такой как ВАЗМ-1 [2], в основе работы которого лежит анализ спектра получаемых сигналов. Однако для управления загрузкой данное устройство не используется, так как его показания не обеспечивают требуемую точность, необходимую для целей управления, а показывают лишь направление изменения объема рудной массы в барабане мельницы.

Целью данной работы является поиск нового, более эффективного метода обработки данного сигнала за счет применения современных интеллектуальных алгоритмов с возможным выявлением зависимостей, характеризующих процесс загрузки барабана мельницы.

Для осуществления поставленной цели был проведен эксперимент в лабораторных условиях. В качестве объекта исследования был использован макет шаровой мельницы.

В качестве привода мельницы использовался электродвигатель КПА-563 У2 коллекторный постоянного тока с независимым возбуждением, подключенный к блоку питания со встроенным регулятором скорости. В качестве датчика получения сигнала виброускорения использовался вибропреобразователь общего назначения АР 2037 с осевой чувствительностью 10,1 мВ/г и частотным диапазоном 0,5...15000 Гц. Данный датчик был установлен на цапфе мельницы. Сигнал с датчика АР 2037 поступал на 4 – канальный, 24 – разрядный модуль аналогового ввода National Instruments NI 9234, имеющий четыре BNC коннектора для подключения четырех каналов аналогового ввода с одновременной оцифровкой сигналов. Данный модуль устанавливается в специальное шасси National Instruments с DAQ-9191, подключаемое к ПК при помощи USB интерфейса. Значение скорости вращения барабана мельницы было получено путем снятия сигнала с инкрементального энкодера Omron E6C2-CWZ5B, установленного на валу барабана мельницы. Сигнал с датчика поступал на контроллер Simatic S7 – 300 с установленным центральным процессором серии CPU 314C-2 DP и блоком питания PS 307 5A.

Опыт состоял в изменении шаровой загрузки барабана мельницы от 0 кг до 8 кг с интервалом в 1 кг, и далее до 11,6 кг мельница загружалась рудной массой с интервалом в 0,4 кг. Затем до 10 кг мельница разгружалась с шагом в 0,2 кг при неизменной массе шаровой

загрузки. При этом для каждого из указанных режимов производился съем сигнала виброускорения в течение 14 мин. Данные снимались с частотой 30 кГц и записывались в файл формата <name>.lvm.

Анализ снятых сигналов виброускорения показал, что производить оценку степени заполнения барабана только по амплитуде сигнала невозможно. В зависимости от загрузки амплитуда то увеличивается, то уменьшается. Для получения необходимых результатов и выявления закономерностей был проведен спектральный анализ полученных сигналов [3-4].

На основании полученных спектрограмм была определена следующая зависимость: чем больше уровень шаровой загрузки мельницы, тем выше амплитуда сигнала виброускорения и чем больше уровень загрузки мельницы рудой, тем ниже амплитуда сигнала виброускорения в определенном частотном диапазоне.

В качестве примера на рис. 1-а приведен спектр сигнала виброускорения цапфы макета мельницы при загрузке 11,6 кг. Видно, что примерно половина спектра неинформативна, поэтому для дальнейших исследований выделялась составляющая спектра в диапазоне от 0 до 7.5 кГц (рис. 1-б).

Следует отметить, что в результате анализа литературных источников не удалось выявить методик обработки спектров нейронными сетями. Поэтому, на первом этапе исследования была предпринята попытка подать весь спектр на НС, то есть создать сеть с 7500 входов (герц на канал), на выходе которой формировался бы сигнал загрузки мельницы. Опыты проводились в среде пакета Matlab на ЭВМ с процессором IntelCorei7 с частотой 3.4 ГГц и объемом оперативной памяти 8 Гб. Такой эксперимент "в лоб" был проведен и не увенчался успехом, поскольку не хватило вычислительной мощности системы. С целью сокращения структуры НС был снижен объем подаваемой на нее информации. Для этого спектр был усреднен по поддиапазнам по 50 Гц. Представленный на рис. 1-в график полученного сигнала состоит из 150 точек. Следует отметить, что данный способ усреднения сформировался в результате перебора различных значений числа точек усреднения.

Таким образом, была сформирована НС, состоящая из 150 входов, 40 нейронов в скрытом слое с функциями активации гиперболический тангенс. В выходном слое был использован один нейрон с линейной функцией активации.

Данная сеть подверглась обучению, которое проводилось стандартными методами языка Matlab, а именно функцией *train()* [5]. На

входы подавались усредненные спектры сигналов виброускорения цапфы макета мельницы для различных режимов загрузки: от 8 кг до 11.6 кг с шагом в 0.4 кг, а в качестве целевых значений использовались соответствующие значения загрузки барабана.

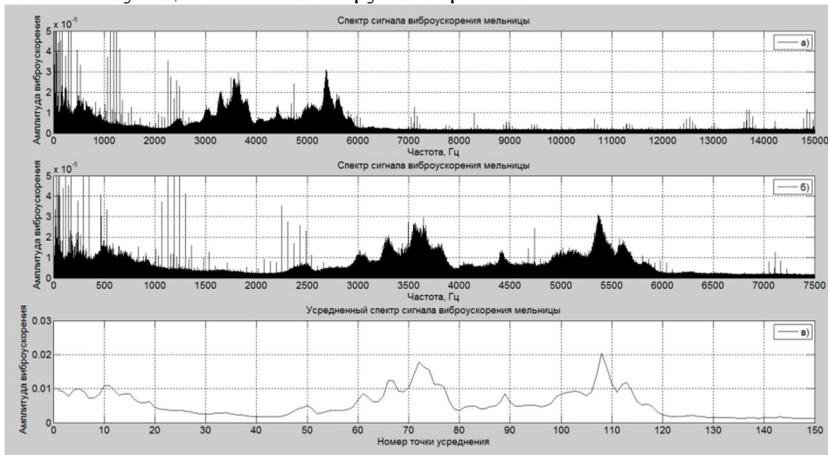


Рисунок 1 – Характеристики нейронной сети

После обучения на НС для тестирования были поданы входные данные как участвовавшие в обучении, так и данные, которых не было в обучающей выборке. Речь идет о съемах сигналов при разгрузке мельницы с 11.6 кг до 10 кг с шагом 0.2 кг. Полученный график отработки НС представлен на рис. 2.

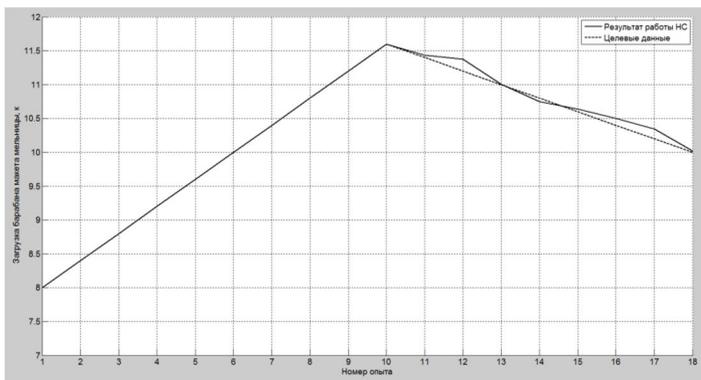


Рисунок 2 – Отработка целевого вектора загрузки мельницы нейронной сетью

Из графика на рис. 2 видно, что точки соответствующие элементам обучающей выборки дают нулевую погрешность, а ошибка на данных тестовой выборки не превышает 0.18 кг по абсолютному значению, а в процентах от чистой загрузки (без учета массы шаров равной 8 кг) – 6,82%.

По результатам опытов можно сделать вывод о том, что нейронные сети возможно применять для обработки сигнала виброускорения с целью выявления зависимости между изменением его спектра и уровнем загрузки шаровой мельницы. Также прозрачным является дальнейшее направление исследований, которое будет заключаться в оптимизации как структуры НС, так и, что более важно, поиске наиболее информативных областей в спектре сигнала виброускорения, характеризующих уровень загрузки барабана, с целью снижения погрешности формируемого нейронной сетью выходного сигнала.

Список литературы:

1. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: «Недра», 1980. 320 с.
2. Улитенко К.Я., Маркин Р.П., Соколов И.В. Виброакустический анализ процессов дробления и измельчения на горно-обогатительных предприятиях // Горный журнал. 2009. №10. С. 72-76.
3. Без паники! Цифровая обработка сигналов / Юкио Сато: пер. с яп. Селиной Т.Г. М.: Додэка-XXI, 2010. 176 с.: ил. Доп. тит. л. яп.
4. Пожарский Ю.М., Полещенко Д.А., Подковыров И.Ю. Определение степени заполнения мельницы мокрого самоизмельчения с применением беспроводных технологий // Горный журнал. 2013. №2. С. 115-118.
5. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И. Синтез системы управления чашевым окомкователем с нейросетевой надстройкой и оценка ее эффективности относительно шаговой системы экстремального управления // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2011. №10. С. 56-61.

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НЕЧЕТКИХ И АДАПТИВНЫХ ПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Жук С.А., зав. лабораториями,
Рыбин И.А., аспирант,
Мишуров С.В., студент,
Носальчук Р.О., студент,
Магергут В.З., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Постоянно возрастающая сложность и разнообразие задач, конечный результат которых возлагается на автоматические системы, определяют повышенный спрос на системы управления с более универсальными свойствами. К таким системам можно отнести нечеткие и адаптивные позиционные системы управления или их комбинации. Последняя была изложена в патенте [1], в котором описывается нечеткий адаптивный позиционный способ управления объектами с дискретными исполнительными устройствами, реализуемый посредством логического контроллера.

Нами на основе патента создан лабораторный стенд, укрупненная схема которого представлена на рисунке 1. Стенд выполнен на базе промышленной горелки Balturbtg 15p итальянского производства.

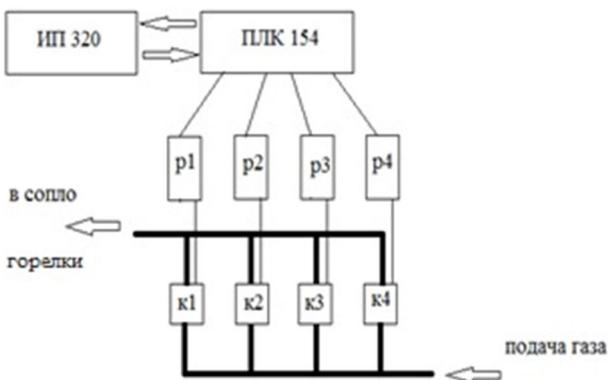


Рисунок 1 – Укрупненная схема стенда

Все оборудование стенда фактически размещено на горелке, что демонстрирует рисунок 2.

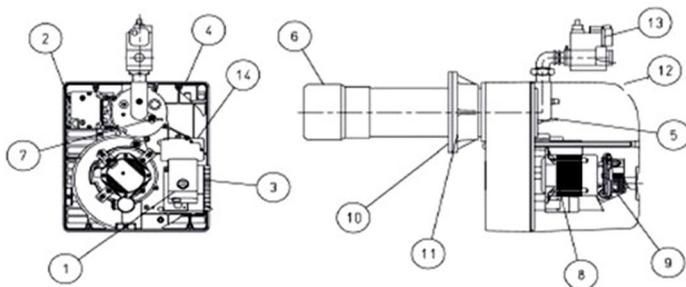


Рисунок 2 – Основные элементы стенда

1. Блок управления (ОВЕН ПЛК 154).
2. Трансформатор.
3. Блок реле.
4. Кнопка включения питания.
5. Указатель позиционирования диска.
6. Головка горения.
7. Винт регулировки диска головки.
8. Двигатель.
9. Воздушный прессостат.
10. Изоляционная прокладка.
11. Соединительный фланец горелки.
12. Индикационная панель ОВЕН ИП 120.
13. Газовые клапаны (4 шт.).
14. Сервопривод регулировки воздуха.

Для подачи газа в сопло горелки используются четыре двухпозиционных, то есть имеющих два положения: «открыт» и «закрыт», клапана разного сечения. Это обеспечивает разные их пропускные способности – K_{vy} , что дает возможность использовать $2^4=16$ режимов их работы при параллельном соединении между собой. Клапаны, в свою очередь, соединены с управляющим устройством (блоком управления) через блок реле контактов r1-r4. Ввиду того, что стенд является учебным, отпала необходимость соединять клапаны с соплом горелки специальными металлическими трубами. Клапаны к1-к4 соединены между собой металлопластиковой трубой с диаметром

15 мм, что является целесообразным с экономической точки зрения.

Программа управления, записанная в ПЛК 154, представляет собой набор нечетких и адаптивных производционных правил вида «ЕСЛИ – ТО» и написана в среде разработки CoDeSys для управления клапанами подачи газа посредством реле. Она же может включать дискретные модели объектов [2] для создания систем управления (см. рис.3).

Для удобства управления и конфигурации настроек в стенд добавлена индикационная панель ИП 320 фирмы «ОВЕН», которая закреплена на кожухе горелки. Она связана с ПЛК через интерфейс RS-485 и работает в режиме slave. Панель оператора поддерживает универсальный протокол ModbusRTU и умеет читать и редактировать значения параметров, заложенных в программе, что является очень удобным для управления промышленной горелкой. На ИП 320 есть возможность выводить тренды, например, расхода, температуры или мощности, а так же те или иные зависимости между ними.

Стенд, работающий в соответствии с алгоритмом, заложенным в патенте [1], позволяет реализовать комбинированное нечеткое и адаптивное управление. Суть управления заключается в симбиозе двух способов – нечеткого и адаптивного трехпозиционного. Первоначально с помощью нечеткой логики реализуется алгоритм нахождения диапазон регулирования, в котором будет производиться дальнейшая адаптация. Определение этого основного (базового) диапазона управления ведется по формуле (1) [3].

$$U_{ад1} = U_o(1 - \beta) + U_k\beta \quad , \quad (1)$$

где $U_{ад1}$ – адаптируемый параметр управления, U_o и U_k – параметры управления в двух крайних (противоположных) состояниях объекта, β – нормированный эквивалент состояния В объекта ($\beta = 0$ при B_o , $\beta = 1$ при B_k , где B_o – начальное состояние объекта, B_k – конечное состояние объекта), принимаемого за значение параметра адаптивной средней позиции на данном диапазоне управления.

Далее внутри этого диапазона реализуется алгоритм адаптивного трехпозиционного регулирования с адаптивной средней позицией в соответствии с [4, стр.172]. Суть управления объектом в соответствии с этим комбинированным алгоритмом поясняет рисунок 3.

Необходимость применения адаптивных и нечетких систем управления, в том числе позиционных, для управления технологическими процессами обусловлена рядом причин, описанных, например, в [4, стр.161].

Создание адаптивных систем управления осуществляется в принципиально иных условиях, чем неадаптивных, а именно, адаптивные методы должны способствовать достижению высокого качества управления при отсутствии достаточной полноты информации о характеристиках управляемого процесса в условиях неопределенности. Это можно назвать как недостаточность знаний об объекте.

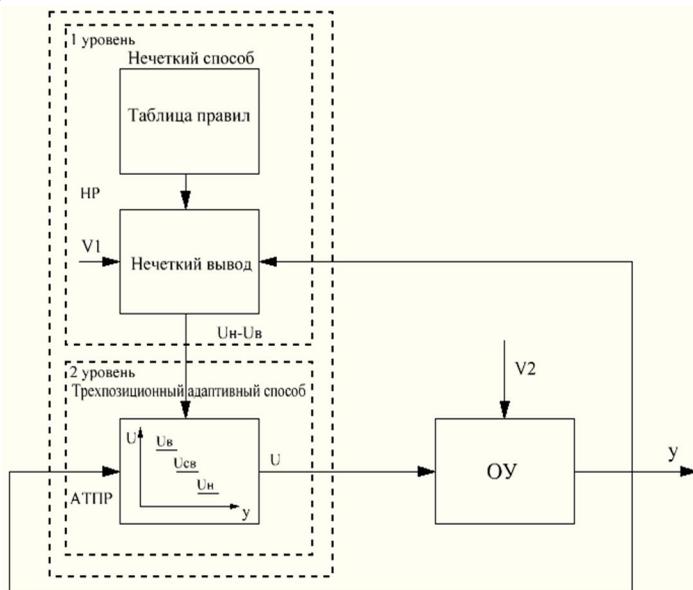


Рисунок 3 – Нечеткий адаптивный позиционный способ регулирования

С другой стороны, трудности в обеспечении надлежащего качества управления так же возрастают по мере уменьшения объема знаний о системе, например, из-за ее усложнения как это имеет место в многосвязных системах, системах каскадного или экстремального регулирования.

Эффект приспособления к изменяющимся условиям в адаптивных системах достигается за счет того, что часть функций по получению, обработке и анализу недостающей информации об управляемом процессе осуществляется уже не проектировщиком на предварительной стадии, а самой системой в процессе ее нормальной эксплуатации.

Таким образом, под адаптивными системами понимаются такие, в которых параметры управляющих устройств, структура системы или алгоритм управления автоматически и целенаправленно изменяются для осуществления в каком-либо смысле наилучшего управления объектом [5-8]. Причем, характеристики объекта управления и внешних воздействий изменяются заранее непредвиденным способом.

Нечеткие системы имеют ряд преимуществ по отношению к адаптивным системам и свою область применения [3,9,10].

Для изучения нового вида управляющих систем – адаптивных, нечетких и их комбинации и предназначен изготовленный стенд. Опыт, полученный при выполнении лабораторных работ, может быть использован будущими специалистами и бакалаврами в практике дальнейших работ, поскольку горелка, лежащая в основе стенда, широко распространена в промышленности и быту, так как данное устройство работает на сравнительно дешевом топливе и обладает достаточно высоким коэффициентом полезного действия. Достаточно сказать, что горелка стенда и подобные ей устройства широко применяются в различных тепловых устройствах: котлах, водонагревателях, тепловых пушках и др.

Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Пат. 2514127 Российская Федерация, МПК G05B 19/00 (2006.01). Нечеткий адаптивный позиционный способ автоматического управления объектами с дискретными исполнительными устройствами / Магергут В.З., Жук С.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «БГТУ им. В. Г. Шухова». № 2013121183/08; заявл. 07.05.2013; опубл. 27.04.2014, бюл. № 12. 9 с.
2. Подходы к построению дискретных моделей непрерывных технологических процессов для синтеза управляющих автоматов / В.З. Магергут, В.А. Игнатенко, А.Г. Бажанов, В.Г. Шапала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №2. С. 100-102.
3. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон. / К.Асаи, Д. Ватада, С. Иван и др.; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. М.: Мир, 1993. 368с.
4. Магергут В.З., Вент Д.П., Кацер И.А. Выбор промышленных регуляторов и расчет их оптимальных настроек. Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. С. 143-146.

5. Александровский Н.М., Егоров С.В., Кузин Р.Е. Адаптивные системы автоматического управления сложными техническими процессами. М.: Изд-во Энергия, 1973. 272 с.
6. Перов В.Л., Егоров А.Ф. Использование принципов адаптации при построении гибких автоматизированных производственных систем // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева. 1987. №3. Т. XXXII. С. 322-328.
7. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Изд-во Высшая школа, 1989. 263 с.
8. Павлов Б.Ф., Соловьев И.Г. Системы прямого адаптивного управления. М.: Изд-во Наука, 1989. 136 с.
9. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат: пер.с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 798 с.
10. Гостев В.Н. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. СПб.: БХВ Петербург, 2011. 416 с.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫХОДНОЙ ЧАСТОТЫ ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Коновалов Р.С., аспирант,

Соломин М.И., студент,

Львов А.А., д-р техн. наук, проф.

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

В настоящее время направление, связанное с разработкой и производством датчиков давления с пьезорезонансными чувствительными элементами (ЧЭ) интенсивно развивается в России и за рубежом [1]. Преимуществом резонансных датчиков перед датчиками с емкостными и пьезорезистивными ЧЭ является высокая точность и стабильность характеристик, малое изменение частоты колебаний при воздействии температуры в широком диапазоне от -60°C до $+150^{\circ}\text{C}$.

Внедрение микропроцессорных средств обработки первичных сигналов датчиков позволило создать новое поколение так называемых интеллектуальных датчиков (ИД), способных существенно повысить точность измерения за счёт автоматической настройки на нужный диапазон измеряемых давлений и температур, автокалибровки датчика и т.д.

Использование микропроцессоров позволяет так же повысить точность измерения пьезорезонансного датчика, применяя оптимальную обработку выходного сигнала по методу максимального правдоподобия, не применяя никакого дополнительного высокоточного оборудования.

В работе предлагается новый способ повышения точности измерения давления пьезорезонансным датчиком, основанный на использовании дискретного преобразования Фурье (ДПФ) [2] выходного сигнала и нахождении оптимальной оценки частоты данного сигнала по методу максимального правдоподобия.

На выходе пьезорезонансного ИД давления измеряются отсчёты сигнала неизвестной частоты. Задача заключается в оценивании именно этой частоты, которая связана с измеряемым давлением известным соотношением, зависящим от типа ЧЭ. Математическая модель выходного сигнала может быть представлена в виде:

$$u_j = u(t_j) = A \sin(2\pi f t_j + \varphi) + B + \xi_j, \quad j = \overline{1, N} \quad (1)$$

где A, f, φ – неизвестные амплитуда, мгновенная частота и фаза исследуемого сигнала соответственно; B – неизвестная паразитная

систематическая составляющая сигнала, обусловленная наличием постоянных смещений операционных усилителей и элементов измерительного устройства; ξ_i – погрешности измерений, вызванные шумами электронных компонентов и помехами, действующими на датчик; t_i – моменты дискретизации; N – количество отсчётов в выборке.

Целью цифровой обработки информации является получение оценки частоты f выходного сигнала датчика. Предполагается, что смещение B может быть принято постоянным по отношению к периоду сигнала, а погрешности ξ_i являются нормально распределёнными величинами с нулевым математическим ожиданием и неизвестной дисперсией σ^2 .

Если частота известна, то система (1) легко решаются совместно по методу максимального правдоподобия (ММП) [3], который при нормальных ошибках ξ_i совпадает с решением по методу наименьших квадратов (МНК). Это позволяет найти оптимальные в смысле минимума квадрата ошибки оценки параметров A и φ , а также отстроиться от паразитной систематической составляющей B .

Предлагается метод уточнения мгновенной частоты, основанный на ДПФ полученной последовательности отсчётов сигнала в канале датчика.

Пусть получено N отсчётов сигнала $u_i = u(t_i): U = (u_1, u_2, \dots, u_N)^T$, удовлетворяющих (1). Если вычислить ДПФ от данной последовательности, то в случае не кратности периодов исследуемого сигнала T_m и дискретизации T_s получится дискретный амплитудный спектр сигнала $u(t)$, вид которого схематично показан на рис. 1.

Истинная частота f^* не будет совпадать ни с одной из дискретных частот в спектре из-за известного явления растекания спектра [4]. Оценить значение истинной частоты на основании полученных отсчётов можно только приближённо.

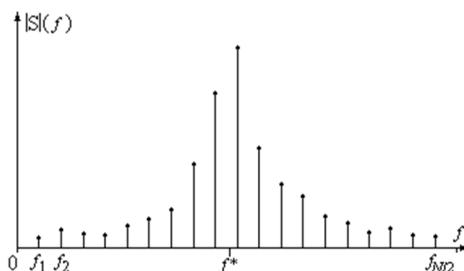


Рисунок 1 – Дискретный амплитудный спектр

Воспользуемся методикой уточнения данной оценки, описанной в [3].

Пусть в качестве начальной оценки мгновенной частоты было выбрано значение f_0 – частота спектрального отсчёта максимальной

амплитуды в дискретном спектре. Тогда истинное значение равно $f^* = f_0 + \nu$, при этом погрешность оценивания ν будет меньше одного дискрета по частоте. При достаточно большом количестве отсчётов

$N \geq 256$ можно считать, что $|\nu| \ll f^*$. В [3] показано, что в этом случае система (1) после замены переменных (2) может быть преобразована к виду (3). При этом новые неизвестные q_i удовлетворяют квадратичному ограничению (4).

$$\begin{cases} q_1 = A \cdot \cos \varphi, & \begin{cases} x_{1j} = \sin f_0 t_j, \\ x_{2j} = \cos f_0 t_j, \\ x_{3j} = t_j \cos f_0 t_j, \\ x_{4j} = -t_j \sin f_0 t_j, \\ x_{5j} = 1. \end{cases} \end{cases} \quad (j = \overline{1, N}). \quad (2)$$

$$u_j = q_1 x_{1j} + q_2 x_{2j} + q_3 x_{3j} + q_4 x_{4j} + q_5 x_{5j} + \xi_j, \quad (j = \overline{1, N}). \quad (3)$$

$$q_1 q_4 = q_2 q_3 \quad (4)$$

Оценка МП неизвестного вектора новых переменных $\mathbf{Q} = (q_1, \dots, q_5)^T$ находится с помощью следующей итерационной процедуры [3]:

$$\hat{\mathbf{Q}}^{(k+1)} = \hat{\mathbf{Q}}^{(k)} - \frac{0.5 \hat{\mathbf{Q}}^{(k)T} \mathbf{G} \hat{\mathbf{Q}}^{(k)}}{\hat{\mathbf{Q}}^{(k)T} \mathbf{G} (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{G}^T \hat{\mathbf{Q}}^{(k)}} (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{G}^T \hat{\mathbf{Q}}^{(k)},$$

$$\hat{\mathbf{Q}}^{(0)} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} (\mathbf{X}^T \mathbf{U}), \quad (5)$$

где: k – номер итерации; \mathbf{X} – матрица $N \times 5$ плана эксперимента, состоящая из элементов x_{ij} ; \mathbf{G} – матрица 5×5 квадратичной формы (4); \mathbf{U} – вектор измерений сигнала на выходе датчика.

После нахождения оценок \mathbf{Q} из (5) их можно подставить в (2) и рассчитать оценки всех параметров синусоиды (1):

$$\hat{A} = \sqrt{\hat{q}_1^2 + \hat{q}_2^2}, \quad \hat{\nu} = \sqrt{\frac{\hat{q}_3^2 + \hat{q}_4^2}{\hat{q}_1^2 + \hat{q}_2^2}}, \quad \hat{\varphi} = \begin{cases} \Theta, & \hat{q}_3 \geq 0, \hat{q}_4 \geq 0, \\ \Theta + \pi, & \hat{q}_3 < 0, \\ \Theta + 2 \cdot \pi, & \hat{q}_3 \geq 0, \hat{q}_4 < 0, \end{cases}; \quad \Theta = \arctg \left(\frac{\hat{q}_4}{\hat{q}_3} \right), \quad (6)$$

при этом оценка искомой мгновенной частоты сигнала равна:

$$\hat{f}^* = f_0 + \hat{\nu}.$$

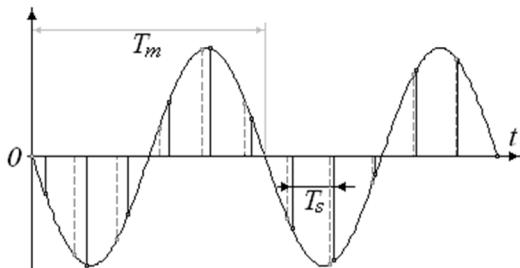


Рисунок 2 – Полученные (сплошные линии) и предсказанные (пунктирные линии) отсчёты

зондирующего сигнала $T_m = 1/f^*$ можно так изменить период дискретизации T_s , чтобы он T_m стал кратным T_m . Тогда за «новые отсчёты» сигнала $u(t)$ можно взять их предсказанные значения на восстановленной синусоиде (на рис. 2 – пунктирные линии). По данным предсказанным отсчётам можно ещё раз взять ДПФ. В полученном энергетическом спектре явление растекания уже проявится меньше, поскольку период синусоиды кратен периоду дискретизации. Здесь уже центральный (максимальный) отсчёт будет ближе к истинному значению оцениваемой частоты. Приведённые соображения позволяют предложить новый метод уточнения частоты выходного синусоидального тока пьезорезонансного датчика. Необходимо так изменять период дискретизации, чтобы он становился кратным периоду тока. Эта ситуация возникает, когда центральная спектральная составляющая имеет максимальную высоту относительно своих соседей. Поэтому, изменяя период дискретизации и оценивая параметры модели (1) по методике (5),(6), необходимо добиться максимальной относительной высоты центральной спектральной составляющей, что соответствует отсутствию растекания спектра, т.е. точной оценке частоты f .

В работе было проведено математическое моделирование описанного метода в среде MatLab 7.0. «Истинная» частота на выходе датчика была взята равной $f = 27$ кГц, его амплитуда $A = 0,7$ мА, смещение $B = 0$, отношение сигнал/шум равно 5 дБ по мощности. Частота дискретизации сигнала в АЦП выбрана $f_s = 675$ кГц. Результат построения амплитудного спектра с помощью программы быстрого преобразования Фурье (БПФ) из пакета MatLab показан на рис. 3.

Теперь из модели (1) можно восстановить синусоиду выходного сигнала, что схематично изображено на рис. 2, где сплошными вертикальными линиями показаны дискретные отсчёты $u(t_i)$. На основании данных отсчётов и полученного периода

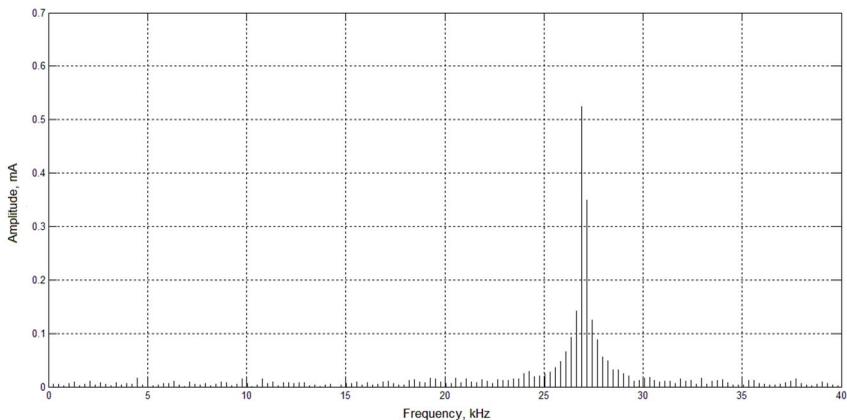


Рисунок 3 – Амплитудный спектр синусоидального сигнала частоты $f=27$ кГц

Частота дискретизации не кратна измеряемой частоте.

Из графика видно, что наблюдается растекание спектра. За оценку частоты f_0 выбрано максимальное значение спектрального отсчёта. По описанной методике была оценена частота сигнала. На рис. 4 показан результат вычисления амплитудного спектра после 5-и итераций.

Оценка частоты была равна $\hat{f}^* = 27,01$ кГц. Из полученного спектра видно, что явление растекания практически отсутствует, а точность оценки частоты значительно повышается.

Для более высоких отношений сигнал/шум требуется меньшее число итераций, для достижения той же точности.

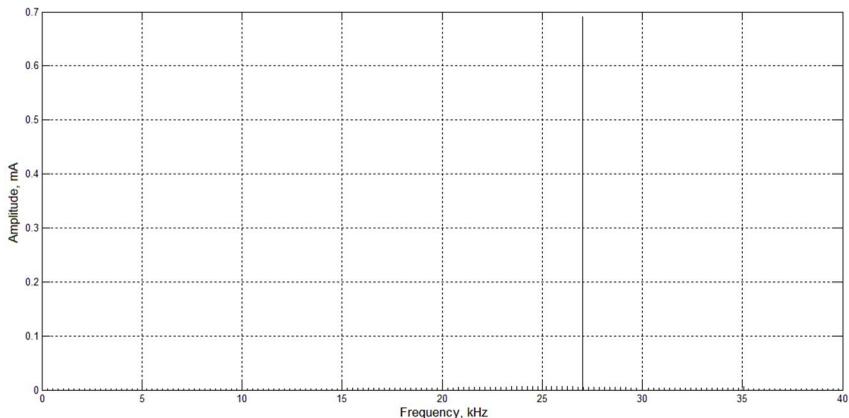


Рисунок 4 – Амплитудный спектр сигнала с рис. 4, после оценки частоты f^* по (5), (6)

Полученные результаты говорят о перспективности предлагаемого метода повышения точности интеллектуальных пьезорезонансных датчиков давления.

Список литературы:

1. Поляков А., Поляков В., Одинцов М. Перспективные кварцевые пьезорезонансные датчики давления // Компоненты и технологии. 2011. №1.
2. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. М.: «Вильмс», 2004. 992 с.
3. Gureyev V.V., L'vov A.A., Pylskiy V.A. Improvement of the Current Loop Circuit for AC and DC Applications Based on Digital Signal Processing // Proceedings of the IEEE Instrum. and Meas. Technol. Conf., Sorrento, Italy 24-27 April 2006, P. 1257-1261.
4. Витязев, В.В. Цифровая частотная селекция сигналов. М.: Радио и связь, 1993. 240 с.

РАЗРАБОТКА ОСНОВНОГО АЛГОРИТМА РАБОТЫ АДАПТИВНОЙ ТЕСТИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Крюков А.В., ст. преподаватель

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Процессы модернизации российской системы высшего образования предъявляют новые требования к содержанию образовательной деятельности школы, вуза. При этом существенно повышается роль электронного обучения в процессе подготовки школьников, студентов. Выделим несколько обстоятельств, подтверждающих этот факт.

Говоря о школьном образовании, необходимо отметить, что в настоящий момент основной формой итоговой государственной аттестации для всех выпускников школ Российской Федерации является единый государственный экзамен (ЕГЭ). При этом в настоящее время происходит постепенный переход к переводу всех процедур проведения ЕГЭ (проведение самого экзамена, осуществление его проверки) в электронную форму при помощи разработки специальной компьютерной системы тестирования.

При дистанционном образовании также возникает проблема контроля знаний учащихся и помощи им в самостоятельной оценке своих знаний. Важнейшим элементом контроля знаний становится система электронного дистанционного тестирования. Она должна разгрузить преподавателя от работы по промежуточной оценке знаний, обеспечить самотестирование учащихся и, возможно, помогать в ходе проведения экзаменов и зачетов.

Университеты России переходят на новые основные образовательные программы, реализующие Федеральные государственные стандарты для двухуровневой подготовки выпускников. Характерной особенностью таких стандартов, построенных на основе компетентностного подхода к образованию, является повышение требований к интерактивным формам обучения (не менее 10-20%) и к самостоятельной работе студентов (не менее 30-50%) в удельном весе трудоемкости дисциплин. Это обстоятельство также повышает роль электронного обучения в процессе подготовки студентов [1].

Получить объективную оценку качества подготовки специалиста позволяет проведение различных контрольных процедур. Традиционные методы контроля – контрольные работы, коллоквиумы,

собеседования – требуют значительных затрат времени, в определенной степени носят субъективный характер, имеют ограниченный набор решаемых или обсуждаемых вопросов.

Одним из способов повышения эффективности процесса обучения является применение компьютерных технологий. Использование их возможностей позволяет адаптировать учебный процесс к уровню развития мышления обучаемого и построить его с учетом требований, предъявляемых стандартами образования. В то же время компьютерные технологии можно использовать как форму контроля знаний. Именно поэтому в настоящее время одной из популярных форм контроля является проведение тестирования [2].

Под адаптивным тестовым контролем понимают компьютеризованную систему научно обоснованной проверки и оценки результатов обучения, обладающую высокой эффективностью за счет оптимизации процедур генерации, предъявления и оценки результатов выполнения тестов.

Эффективность контрольно-оценочных процедур повышается при использовании многошаговой стратегии отбора и предъявления заданий, основанной на алгоритмах с полной контекстной зависимостью, в которых очередной шаг совершается только после оценки результатов выполнения предыдущего шага.

Целесообразность адаптивного контроля вытекает из необходимости рационализации традиционного тестирования. Так, например, хорошо подготовленному ученику нет необходимости давать легкие и очень легкие задания, потому что слишком высока вероятность правильного решения. К тому же, легкие материалы не обладают заметным развивающим потенциалом. Нужно было найти сопоставимую, в одной шкале, меру трудности заданий и меру уровня знаний. Эта мера была найдена в теории педагогических измерений. Датский математик Г. Раск назвал эту меру словом "логит" [3]. Эта мера легла в основу методики адаптивного контроля знаний, где используются способы регулирования трудности и числа предъявляемых заданий, в зависимости от ответа учеников. При успешном ответе следующее задание ЭВМ подбирает более трудным, при неуспешном – легким. Естественно, этот алгоритм требует предварительного опробования всех заданий, определения их меры трудности, а также создания банка заданий и специальной программы. Использование заданий, соответствующих уровню подготовленности, существенно повышает точность измерений и минимизирует время индивидуального тестирования.

Для реализации адаптивного подхода к контролю знаний будем использовать модель обучаемого, содержащую информацию о текущем состоянии знаний обучаемого. Предлагаемая модель включает следующие атрибуты:

1) <Уникальный идентификатор обучаемого> (U) – является ссылкой на развернутую информацию об обучаемом. $U = \{U_1, \dots, U_k\}$, где U – множество обучаемых, k – общее число обучаемых.

2) <Курсы> (C) – содержит список курсов, назначенных для прохождения обучаемым: $C_{ui} = \{C_1, \dots, C_N\}$, где C_{ui} – множество учебных курсов, предназначенных для прохождения U_i обучаемым, N – общее число курсов.

3) <Модули> (M) – содержит список модулей (разделов) курса, по которым был осуществлен контроль знаний: $M_c = \{M_1, \dots, M_p\}$, где M_c – модули учебного курса C_{ui} , P – общее число модулей.

4) <Учебные элементы> (УЭ) – список УЭ, пройденных обучаемым: $E_{ui} = \{C_1, \dots, C_F\}$, где E_{ui} – множество УЭ, предназначенных для прохождения U_i обучаемым, F – общее число УЭ.

5) <Текущий уровень усвоения> (α) – уровень усвоения материала, принимающий значения $\alpha \in \{0, 1, 2, 3, 4\}$.

6) <Рейтинг> (r) – рейтинг в диапазоне от 0 до 1 на текущем уровне усвоения учебного материала, $r \in [0..1]$.

7) <Границы переходов> (τ) – задают верхнюю и нижнюю границу перехода с уровня на уровень, для каждого из уровней (например, для $\alpha = 1$, заданы $\tau_n = 0,14$; $\tau_b = 0,86$; это значит, что при текущем рейтинге на уровне усвоения 1 меньше 0,14 обучаемый переходит на 0-ой уровень, при превышении рейтинга значения 0,86, обучаемый переходит на 2-й уровень), $\tau \in [\tau_n, \tau_b]$.

8) <Ключевое слово> (КС) – список ключевых слов, относящихся к данному модулю (курсу), $КС = \{КС_1, \dots, КС_L\}$.

9) <Уникальный идентификатор вопроса> (Q) – вопрос, относящийся к данному курсу и модулю: $Q = \{Q_1, \dots, Q_o\}$, где Q – множество вопросов, O – общее число вопросов.

10) <Тип вопроса> (T) – отражает тип вопроса. $T \in \{\text{«Да»/«Нет»}, \text{«Одиночный выбор»}, \text{«Множественный выбор»}, \text{«На соответствие»}, \text{«Открытый вопрос»}\}$.

11) <Содержание вопроса> – отражает содержание вопроса, включая текст, графику, мультимедиа.

12) <Варианты ответов> – если они предполагаются типом.

13) <Правильность ответа> (a) – в диапазоне от 0% до 100%.

14) <Уровень усвоения>– показывает, на каком уровне α может задаваться данный вопрос.

15) <Сложность вопроса>– отражает трудность вопроса $d \in [0..5]$.

Опишем общий алгоритм тестирования.

Для каждого из модулей, случайным образом выбирается вопрос, начиная с нулевого уровня усвоения, со средним уровнем сложности. Если обучаемый, ответил на вопрос на i -ом уровне на оценку большую, чем 75%, то уровень усвоения материала увеличивается на 1. Иначе вопросы по данному модулю больше не задаются. Тест продолжается до тех пор, пока обучаемый не сможет перейти на следующий уровень по всем модулям курса.

Начальный рейтинг на i -ом уровне определяется следующей формулой:

$$r = \frac{d}{10} \cdot \frac{\alpha}{100\%}.$$

Уровень знаний по модулю оказывает существенное влияние на процесс дальнейшего обучения. Так, если обучаемый показал уровень 3, то следует обратить особое внимание на умение применения знаний в практических задачах, нахождения нестандартных решений, творческий подход. Если же уровень – нулевой, то следует начать обучения «с самых азов».

Первый вопрос выбирается из множества вопросов, того уровня α , который был определен при входном тестировании.

Новый вопрос выбирается следующим образом:

- если Δ (разница в изменении рейтинга) последних трех ответов не превысила 0,5, то заканчиваем тест;
- если исчерпаны все вопросы на данном уровне, то заканчиваем тест;
- если превышено максимальное число вопросов для теста, установленное инструктором, то заканчиваем тест.

Иначе, если правильность ответа на предыдущий вопрос находится в границах [75%..90%], то, для уточнения знаний выбирается вопрос с трудностью равной или близкой к предыдущему вопросу.

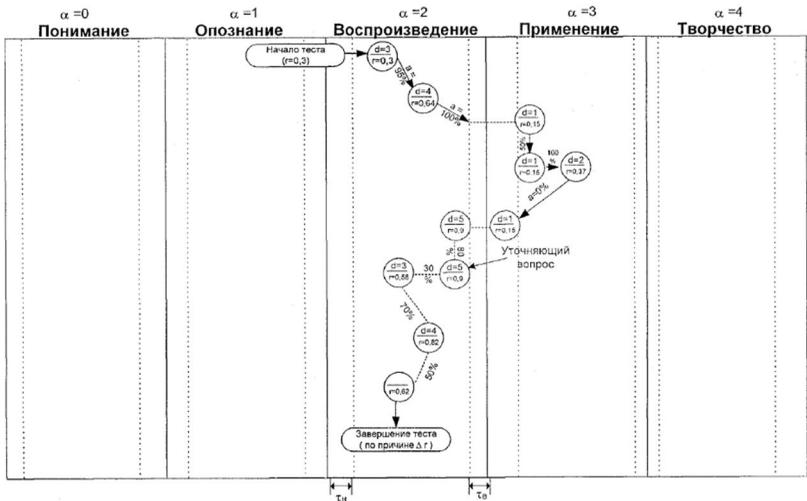


Рисунок 1 – Пример пошагового алгоритма генерации вопросов в системе адаптивного обучения

Тестирование такого алгоритм определения состояния уровня знаний пользователя системы решается достаточно точно. Вышеприведенный алгоритм позволяет оценить знания обучаемого наименьшим количеством вопросов, в отличие от стандартных подходов, где испытуемый должен отвечать на все вопросы теста.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № НК-14-41-08009/14p_офи_м.

Список литературы:

1. Шафоростова Е.Н., Лазарева Т.И. Проблемы внедрения информационной системы контроля качества обучения студентов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №3. С. 173-1763.
2. Андрущак С.В., Крюков А.В. Адаптивная система электронного обучения // Исследования и инновации в ВУЗе: Материалы Международ. науч.-техн. конф. молодых ученых. Белгород. 2012. Ч.4. С. 7-11.
3. Евтюхин Н.В. Технология разработки материалов тестов // Информатика и образование. 1999. №6. С. 37-41.

ЦИФРОВАЯ АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СУШКИ СОЛОДА

Кудряшов В.С., д-р техн. наук, проф.,

Иванов А.В., канд. техн. наук, доц.,

Тарабрина О.В., канд. техн. наук, ст. преп.

Воронежский государственный университет инженерных технологий

Солод – один из основных продуктов в хлебопечении, пивоварении, винокурении. Его производство осуществляется в несколько стадий, основной из которых является сушка, и преследует ряд технологических целей, таких как получение готового продукта с заданной регламентом влажностью и набором органолептических показателей.

Поскольку солодовая масса на протяжении всего процесса представляет собой «живой организм» с постоянно меняющимися параметрами, не подлежащими прямому измерению, было выявлено, что динамические характеристики процесса сушки носят нестационарный характер, обусловленный рядом физико-химических превращений в каждой из фаз сушки. Нестационарность параметров зачастую приводит к потере качества при управлении подобными технологическими процессами.

Предпосылкой для получения солода хорошего качества является равномерность сушки, которая обеспечивается, если распределение воздуха под сушильной решеткой, как в количественном, так и в температурном отношении подвергается только незначительным колебаниям (не более 2 °С).

В качестве управляющих воздействий в сушилках используется температура и расход сушильного агента. Это объясняется тем, что сушильный агент выполняет две функции: подводит тепло к высушиваемому материалу и одновременно удаляет испаренную влагу из солода, что позволяет сделать вывод о связанном влиянии на управляемые величины, в качестве которых рассматривается температура и влажность солода [1].

С учетом выявленных особенностей процесса сушки солода для обеспечения требуемого качества управления и получения продукта с заданными регламентом характеристиками разработаны структура (рис.1) и алгоритм функционирования цифровой адаптивной системы управления (АдСУ) [2].

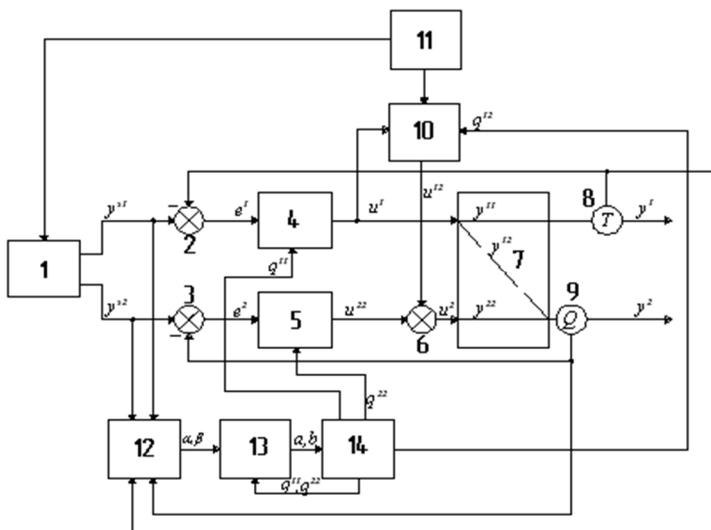


Рисунок 1 – Структура АдСУ:

1 – блок формирования задания, 2,3 – элементы сравнения, 4, 5 – цифровые регуляторы температуры и влажности солода соответственно, 6 – сумматор, 7 – объект управления, 8 – датчик температуры высушиваемого материала, 9 – датчик влажности высушиваемого материала, 10 – компенсатор перекрестной связи, 11 – функциональный блок, 12 – блок идентификации замкнутой системы, 13 – блок расчета параметров модели объекта, 14 – блок адаптации управления

Рассмотрим функционирование АдСУ на примере конкретных порядков каналов объекта управления (ОУ), регуляторов.

Сигналы с датчиков температуры и влажности солода поступают на элементы сравнения, на которые также приходят оптимальные значения в качестве задающих воздействий. Ошибка управления определяется как:

$$e_i^1 = y_i^{31} - y_i^1, \quad e_i^2 = y_i^{32} - y_i^2,$$

Регуляторы на основе рассогласования текущего и оптимального значения вырабатывают управляющие воздействия u_i^1, u_i^2 :

$$u_i^1 = u_{i-1}^1 + q_0^{11} \cdot e_i^1 + q_1^{11} \cdot e_{i-1}^1 + q_2^{11} \cdot e_{i-2}^1,$$

$$u_i^{22} = u_{i-1}^{22} + q_0^{22} \cdot e_i^2 + q_1^{22} \cdot e_{i-1}^2 + q_2^{22} \cdot e_{i-2}^2,$$

где q_0^{11} , q_1^{11} , q_2^{11} , q_0^{22} , q_1^{22} , q_2^{22} – настроечные параметры цифровых регуляторов.

С целью компенсации перекрестного влияния изменения расхода сушильного агента u_i^1 на влажность солода y_i^{12} компенсатор перекрестной связи вырабатывает компенсирующее воздействие:

$$u_i^{12} = p_1^{12} \cdot u_{i-1}^{12} + p_2^{12} \cdot u_{i-2}^{12} + q_0^{12} \cdot u_i^1 + q_1^{12} \cdot u_{i-1}^1 + q_2^{12} \cdot u_{i-2}^1,$$

где p_1^{12} , p_2^{12} , q_0^{12} , q_1^{12} , q_2^{12} – настроечные параметры компенсатора перекрестной связи, получаемые из условия автономности.

Адаптация системы в условиях нестационарности динамических характеристик процесса основана на уточнении параметров моделей каналов по результатам идентификации системы несвязного регулирования (СНР). Перед первым запуском системы определяют параметры каналов ОУ в первом приближении путем идентификации с помощью рекуррентного метода наименьших квадратов. Далее по разработанному алгоритму [3] проводится проверка достоверности результатов идентификации и делается вывод о наблюдаемости системы. Для определения вариаций параметров, вызванных нестационарностью, применяются метод, основанный на теории чувствительности [4].

Для этого отключается от работы компенсатор перекрестной связи. В блоке формирования задания последовательного ступенчато изменяются задающие воздействия y_i^{31} , y_i^{32} . При этом в блоке идентификации замкнутой системы осуществляется текущая идентификация параметров дискретной передаточной функции замкнутой СНР. Необходимо учитывать также, что в силу наличия перекрестной связи, измеряемые выходы являются реакцией на несколько входных воздействий, т.е. их изменение зависит от динамики нескольких нестационарных каналов.

Уравнения связи СНР, описывающие взаимосвязь параметров дискретных передаточных функций замкнутой СНР, цифровых регуляторов и каналов объекта управления:

$$y^1 = \frac{W_o^{11}(z) W_p^1(z)}{1 + W_o^{11}(z) W_p^1(z)} y^{s1} = W_c^{11}(z) y^{s1} \quad (1)$$

$$y^2 = \frac{W_o^{12}(z) W_p^1(z)}{1 + W_o^{12}(z) W_p^1(z)} y^{s1} + \frac{W_o^{22}(z) W_p^2(z)}{1 + W_o^{22}(z) W_p^2(z)} y^{s2} = W_c^{12}(z) y^{s1} + W_c^{22}(z) y^{s2} \quad (2)$$

$$W_c^{11}(z) = \frac{\sum_{j=1}^3 \beta_j^{11} z^{-j-d_c^{11}}}{1 + \sum_{i=1}^3 \alpha_i^{11} z^{-i}}$$

где

– дискретная передаточная функция

$$W_c^{22}(z) = \frac{\sum_{j=1}^3 \beta_j^{22} z^{-j-d_c^{22}}}{1 + \sum_{i=1}^3 \alpha_i^{22} z^{-i}}$$

замкнутой системы по первому основному каналу,

– дискретная передаточная функция замкнутой системы по второму

$$W_c^{12}(z) = \frac{\sum_{j=1}^3 \beta_j^{12} z^{-j-d_c^{12}}}{1 + \sum_{i=1}^3 \alpha_i^{12} z^{-i}}$$

основному каналу,

– дискретная передаточная

функция замкнутой системы по перекрестному каналу, $W_o^{11}(z) =$

$$\frac{b_1^{11} z^{-1-d_0^{11}}}{1 - \sum_{k=1}^2 a_k^{11} z^{-k}}$$

– дискретная передаточная функция первого основного

$$b_1^{22} z^{-1-d_0^{11}}$$

канала (рассмотрим на примере второго порядка), $W_o^{22}(z) = \frac{1 - \sum_{k=1}^2 a_k^{22} z^{-k}}{1 - \sum_{k=1}^2 a_k^{22} z^{-k}}$ –

дискретная передаточная функция второго основного канала (второго

$$b_1^{12} z^{-1-d_0^{11}}$$

порядка), $W_o^{12}(z) = \frac{1 - \sum_{k=1}^2 a_k^{12} z^{-k}}{1 - \sum_{k=1}^2 a_k^{12} z^{-k}}$ – дискретная передаточная функция

$$\sum_{u=0}^2 q_u^{11} \cdot z^{-u}$$

перекрестного канала (второго порядка), $W_p^1(z) = \frac{1 - \sum_{h=1}^2 p_h^{11} z^{-h}}{1 - \sum_{h=1}^2 p_h^{11} z^{-h}}$, $W_p^2(z) =$

$$\frac{\sum_{u=0}^2 q_u^{22} \cdot z^{-u}}{1 - \sum_{h=1}^2 p_h^{22} z^{-h}}$$

– дискретные передаточные функции цифровых ПИД-регуляторов температуры и влажности солода соответственно, z – оператор сдвига, α_i^{11} , α_i^{22} , α_i^{12} , β_j^{11} , β_j^{22} , β_j^{12} – параметры дискретной передаточной функции замкнутой СНР, определяемые в процессе текущей идентификации, $i=\overline{1,3+d}$, $j=\overline{1,3}$, d_0^{11} , d_0^{22} , d_0^{12} , d_c^{11} , d_c^{22} , d_c^{12} – число тактов запаздывания, a_k^{11} , b_1^{11} , a_k^{22} , b_1^{22} , a_k^{12} , b_1^{12} – параметры моделей первого основного, второго основного и перекрестного каналов соответственно, $k=\overline{1,2}$, q_u^{11} , q_u^{22} , p_h^{11} , p_h^{22} – настройки цифровых регуляторов 4, 5 температуры и влажности солода соответственно, $u=\overline{0,2}$, $h=\overline{1,2}$.

По результатам анализа зависимостей сформулированы этапы алгоритма текущей идентификации параметров моделей основных и перекрестного каналов связного ОУ в замкнутом контуре регулирования:

1. Последовательное (раздельное) ступенчатое изменение задающих воздействий по каждому регулятору обратной связи и измерение входов и выходов системы.

2. Идентификация параметров дискретных передаточных функций замкнутой системы по экспериментальным значениям входов и выходов.

3. Расчет параметров дискретных моделей основных и перекрестного каналов объекта.

При последовательном изменении задающих воздействий y^{s1} и y^{s2} в СНР выход y^2 , определяется соответственно:

$$y^2 = \frac{W_o^{2,2} W_p^2}{1 + W_o^{2,2} W_p^2(z)} y^{s2} = W^{c,2,2} y^{s2},$$

$$y^2 = \frac{W_o^{1,2} W_p^1}{\prod_{i=1}^2 (1 + W_o^{i,i} W_p^i)} y^{s1} = W^{c,1,2} y^{s1}$$

Согласно алгоритму косвенной идентификации сначала определяются параметры модели первого основного канала, затем

определяются параметры модели второго основного канала $W_o^{2,2}$ и параметры модели перекрестного канала $W_o^{1,2}$.

В блоке расчета параметров модели объекта на основе формул взаимосвязи параметров замкнутой системы $W^{c11}(z)$, регулятора $W_p^{11}(z)$ и объекта $W_o^{11}(z)$ (1), (2), по известным параметрам замкнутой системы и регулятора, определяются параметры передаточной функции $W_o^{11}(z)$. Далее из второго слагаемого (2), по известным параметрам передаточных функций $W^{c22}(z)$ и $W_p^{22}(z)$ рассчитываются параметры $W_o^{22}(z)$. С использованием рассчитанных параметров передаточных функции первого и второго основных каналов ОУ и известных параметрах $W^{c12}(z)$ из (2) определяются параметры передаточной функции перекрестного канала $W_o^{12}(z)$.

В блоке адаптации управления осуществляется расчет настроек P_1^{12} , P_2^{12} , q_0^{12} , q_1^{12} , q_2^{12} цифрового компенсатора перекрестной связи из условия автономности и расчет оптимальных настроек q_u^{11} , q_u^{22} , p_h^{11} , p_h^{22} цифровых регуляторов температуры и влажности солода численным методом оптимизации по критерию минимум интегральной квадратичной ошибки.

Рассчитанные значения настроек цифровых регуляторов и компенсатора поступают в соответствующие блоки 4, 5 и 10, где используются в качестве новых настроечных параметров. После этого с функционального блока поступает сигнал на включение компенсатора в работу.

Список литературы:

1. Федоренко Б.Н. Инженерия пивоваренного солода. СПб.: Профессия, 2004. 248 с.
2. Пат. 2422743 Рос. Федерация: МПК F26B 25/22. Цифровая адаптивная система управления процессом сушки сыпучих материалов: / Кудряшов В.С., Рязанцев С.В., Иванов А.В., Тарабрина О.В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Воронежская

- государственная технологическая академия (ГОУ ВПО ВГТА). № 2010102403/06; заявл. 25.01.10; опубл. 27.06.11, Бюл. № 18.
3. Алгоритм проверки результатов идентификации с использованием свойства наблюдаемости / В.С. Кудряшов, С.В. Рязанцев, О.В. Тарабрина, Д.А. Свиридов // Материалы IV междунар. науч. конф. «Современные проблемы прикладной математики, теории управления и математического моделирования». Воронеж, 2011. С. 158.
 4. Применение метода теории чувствительности к синтезу системы управления процессом сушки солода / В.С. Кудряшов, С.В. Рязанцев, О.В. Тарабрина, Д.А. Свиридов // Материалы IV междунар. науч. конф. «Современные проблемы прикладной математики, теории управления и математического моделирования». Воронеж, 2011. С. 162.

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ

Кудряшов В.С., д-р техн. наук, проф.,

Рязанцев С.В., канд. техн. наук, доц.,

Свиридов Д.А., аспирант

Воронежский государственный университет инженерных технологий

Наличие у объекта регулирования (ОР) перекрестных связей и нестационарных свойств как одних из основных отрицательных факторов должно учитываться проектировщиком при расчете системы управления. Наиболее эффективным способом обеспечения независимого регулирования выходных величин является использование связанных систем управления [1], рассчитываемых с использованием принципа автономности. В зависимости от степени нестационарности могут быть предложены различные способы расчета автономной системы автоматического регулирования (САР).

В качестве исходных данных предлагается использовать величины максимальных вариаций параметров передаточных функций каналов многосвязного объекта, а также скорость дрейфа каждого параметра, что зачастую доступно проектировщику [2]. Кроме того принимается допущение, что параметры претерпевают вариацию в течение всего времени функционирования САР.

Выделим несколько видов нестационарности. По критерию «степень воздействия дрейфа параметров на систему регулирования» она классифицируется на некритическую, докритическую и критическую:

1) максимальная вариация параметров модели объекта при некритической нестационарности незначительно ухудшает качество выпускаемого продукта. Так как параметры изменяются на малую величину, то объект регулирования можно считать условно стационарным;

2) в случае с докритической нестационарностью максимальная вариация параметров модели объекта может привести к существенному ухудшению качества регулирования технологического процесса;

3) при критической нестационарности параметров в САР в наибольшей степени ухудшается качество регулирования. Величина дрейфа параметров большая, что в совокупности с другими неблагоприятными факторами может привести к потере устойчивости САР.

В зависимости от величины вариаций параметров передаточных функций каналов объекта может быть предложено использование различных систем регулирования, учитывающих эту особенность (рис. 1).

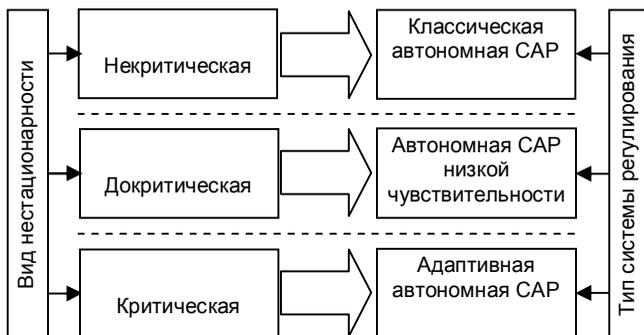


Рисунок 1 – Схема выбора типа автономной САР

Так как в случае с некритической нестационарностью объект является условно стационарным, то управляющую часть САР рассчитываем с помощью классических методов синтеза (относительно номинальных параметров ОР). Классическая автономная САР с обратными связями обладает некоторым запасом устойчивости, обеспечивающим компенсацию влияния небольших по величине аддитивных и параметрических возмущений.

Если нестационарность является докритической, то предлагается использование автономной системы регулирования низкой чувствительности. Такая система позволяет решать задачи получения требуемых динамических свойств многосвязной САР при одновременном выполнении принципа автономности за счет компенсации действия вариаций параметров объекта с помощью корректирующих звеньев.

При критической нестационарности используется адаптивная САР, призванная обеспечить устойчивость системы за счет текущей идентификации многосвязного объекта и перенастройки управляющей части САР, в том числе звеньев, обеспечивающих низкую чувствительность системы.

Каждый параметр ОР может претерпевать вариацию с различной скоростью, что затрудняет однозначный выбор типа системы регулирования. В этом случае предлагается включать отдельные звенья САР в течение времени ее функционирования в соответствии с

достижением величины суммы квадратов невязок автономной системы регулирования Ψ (1) одного из двух критических значений – $\Psi_1^{крит}$ или $\Psi_2^{крит}$:

$$\Psi = \sum_{j=1}^r \alpha^{[j]} \cdot \Psi^{[j]} \quad (1)$$

где $\Psi^{[j]} = \sum_{i=1}^N (y_i^{тек [j]} - y_i^{ном [j]})^2$ – значение суммы квадратов невязок j -й выходной величины САР; $j = \overline{1, r}$; r – размерность симметричного многосвязного ОР; $y_i^{тек [j]}$ – значения переходного процесса j -го выхода автономной САР текущего типа при текущих значениях параметров объекта; $y_i^{ном [j]}$ – значения переходного процесса j -й выходной величины автономной САР, рассчитанной с помощью классических методов при номинальных значениях параметров объекта; N – общее число тактов наиболее длительного из переходных процессов; $\alpha^{[j]}$ – весовой коэффициент выходной величины.

Значения $\Psi_1^{крит}$ и $\Psi_2^{крит}$, а также весовые коэффициенты $\alpha^{[j]}$ для каждого технологического процесса определяются исходя из его особенностей и факторов внешней среды. В случае $\Psi_1^{крит} \leq \Psi < \Psi_2^{крит}$ автономной САР включаются звенья обеспечения низкой чувствительности (корректирующие), при $\Psi \geq \Psi_2^{крит}$ дополнительно задействуются звенья контура адаптации.

На основании приведенного выше описания предлагается подход, заключающийся в изменении структуры автономной САР в зависимости от величины критерия (1). На основе данного подхода разработан алгоритм функционирования автономной САР в условиях нестационарности (рис. 2), позволяющий обеспечить высокое качество выпускаемого продукта в течение всего времени функционирования системы регулирования.

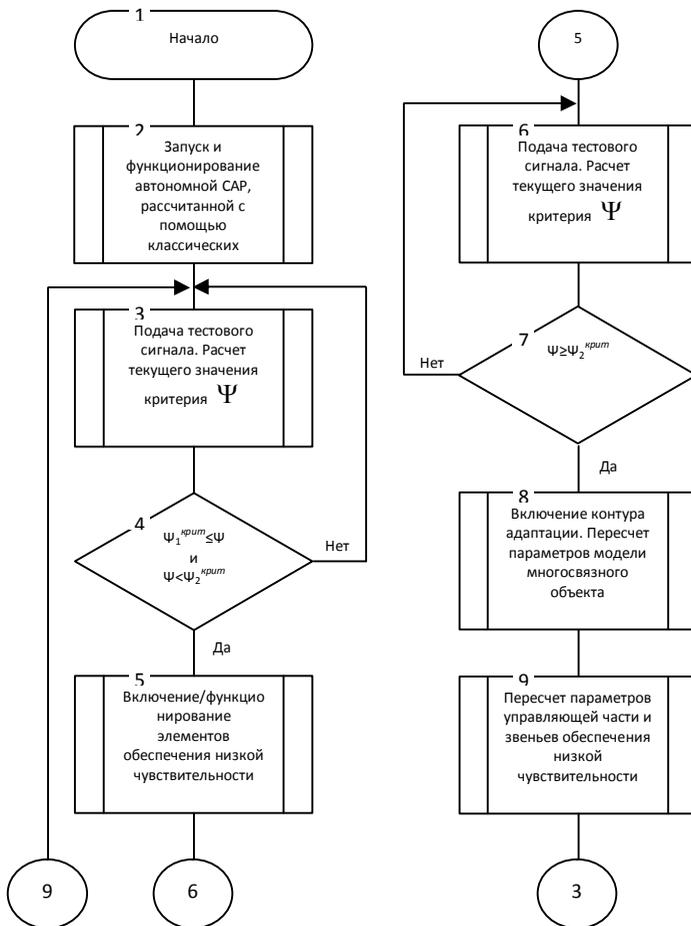


Рисунок 2 – Алгоритм функционирования САР в условиях нестационарности

Список литературы:

1. Кудряшов В.С., Битюков В.К., Алексеев М.В., Рязанцев С.В. Синтез цифровых систем управления технологическими объектами. Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2005. 336 с.
2. Ермаченко А.И. Методы синтеза линейных систем управления низкой чувствительности. М.: Радио и связь, 1981. 104 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОСВЯЗНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кудряшов В.С., д-р техн.наук, проф.,
Рязанцев С.В., канд. техн. наук, доц.,
Хромых Е.А., канд. техн. наук, доц.,
Козенко И.А., ассистент

Воронежский государственный университет инженерных технологий

Предлагается метод машинного расчета выходов автономных и инвариантных компенсаторов, эквивалентных объектов и многосвязных автономно-инвариантных цифровых систем управления высокой размерности в целом, обеспечивающий высокую точность вычислений, адаптацию компенсаторов и регуляторов.

В работе [2] предложен способ синтеза структуры передаточных функций (ПФ) автономных компенсаторов систем произвольной размерности, конечным результатом работы которого являются дискретные ПФ вида:

$$W_k^u [i][j](z) = \frac{\sum_{\mu=1}^{(r \cdot (r-1))!} \left(\prod_{v=1}^{(r \cdot (r-1))} W^{u[\alpha^{\mu,v}][\beta^{\mu,v}]}(z) \right)}{\sum_{\mu'=1}^{(r \cdot (r-1))!} \left(\prod_{v'=1}^{(r \cdot (r-1))} W^{u[\lambda^{\mu',v'}][\gamma^{\mu',v'}]}(z) \right)} = \frac{W'(z)}{W''(z)} \quad (1)$$

где $W^{u[\alpha^{\mu,v}][\beta^{\mu,v}]}(z)$, $W^{u[\lambda^{\mu',v'}][\gamma^{\mu',v'}]}(z)$ – ПФ основных и перекрестных каналов многосвязного объекта; $\alpha^{\mu,v}$, $\beta^{\mu,v}$, $\lambda^{\mu',v'}$, $\gamma^{\mu',v'}$ – индексы, определяющие каналы объекта, связывающие соответствующие входы и выходы, изменяются в диапазоне $\overline{1, r}$; μ, v – номер слагаемого и номер множителя в числителе; μ', v' – номер слагаемого и номер множителя в знаменателе; z – оператор сдвига; r – размерность системы; i, j – индексы, определяющие номер компенсатора перекрестной связей.

Алгоритм расчета выхода динамического звена с ПФ, имеющей дробно-рациональную структуру (1), исключаящий получение результирующей ПФ путем перемножения полиномов и приведения

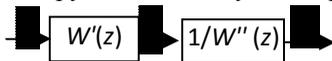


Рисунок 1 – Схема звена с ПФ (1): u – вход компенсатора; f – выход звена с ПФ $W'(z)$; y – выход компенсатора

подобных, на примере автономных компенсаторов перекрестных связей описан в

работе [1]. Идея алгоритма заключается в декомпозиции, т.е. в представлении звена (1) в виде последовательного соединения звеньев с ПФ числителя $W'(z)$ и ПФ знаменателя $W''(z)$ (рис. 1).

Расчет элемента с ПФ числителя компенсатора $W'(z)$, осуществляется на основе его представления в виде последовательно-параллельного соединения элементов с ПФ каналов объекта (рис. 2) с последующим расчетом их выходов.

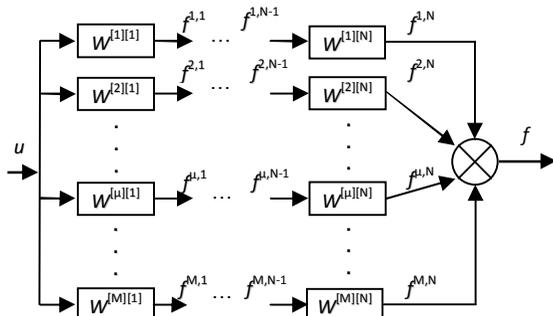


Рисунок 2 – Структурная схема представления элемента с ПФ числителя $W'(z)$: u, f – вход и выход числителя соответственно; $W^{iM}[1]$ – ПФ каналов объекта; M, N – количество цепочек и элементов в каждой из них соответственно

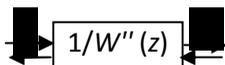


Рисунок 3 – Схема подхода к расчету выхода звена с ПФ $1/W''(z)$ путем изменения направления сигналов взаимосвязь в виде последовательно-параллельного соединения. На основе предложенного подхода в работе [1] получена формула расчета входа сигнала u на основе сигнала f :

$$y_i = \left(\sum_{c=1}^{\rho} f_i^{c,N} - \sum_{c=1}^{\rho} \sum_{j=N}^2 \left(\sum_{t=1}^{n^{c,j}} a_t^{c,j} \cdot f_{i-t}^{c,j} + \sum_{t=1}^{k^{c,j}} b_t^{c,j} \cdot f_{i-t}^{c,j-1} \right) \cdot \prod_{q=N}^{j+1} b_1^{c,q} \right) + \left(\sum_{t=1}^{n^{c,1}} a_t^{c,1} \cdot f_{i-t}^{c,1} + \sum_{t=2}^{k^{c,1}} b_t^{c,1} \cdot f_{i-t+1}^{c,1} \right) \cdot \prod_{q=N}^2 b_1^{c,q} \Bigg) / \sum_{c=1}^{\rho} \left(\prod_{q=N}^2 b_1^{c,q} \right), \quad (2)$$

$$\sum_{c=1}^{\rho} f_i^{c,N} = f_i - \sum_{s=1}^l f_i^{s,N}, \quad (3)$$

где ρ – количество цепочек, суммарное запаздывание которых не равно

нулю; $a_i^{c,j}$, $b_i^{c,j}$ – параметры моделей каналов объекта; $\sum_{c=1}^{\rho} f_i^{c,N}$ – суммарный выход цепочек без запаздывания.

На основе описанной методики разработаны алгоритмы и программное обеспечение (ПО) численного расчета (моделирования) автономных и инвариантных компенсаторов, эквивалентных объектов, а также АВИНЦСУ в целом.

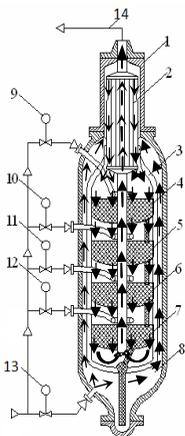


Рисунок 4 – Четырехполочный реактор синтеза аммиака мощностью 1360 т/сут:

1 – корпус колонны; 2 – внутренний теплообменник; 3 – корпус катализаторной коробки; 4, 5, 6, 7 – I, II, III, IV катализаторные слои соответственно; 8 – пространство между корпусом колонны и катализаторной коробки; 9, 10, 11, 12 – клапаны подачи холодного газа на полки колонны; 13 – основной клапан подачи смеси по основному ходу колонны; 14 – выход колонны (смесь газообразного аммиака, водорода и азота)

Состоятельно предложены подходы и алгоритмы, а также эффективность ПО подтверждены результатами машинного моделирования. В качестве объекта управления рассмотрен процесс синтеза аммиака (рис. 4).

Для описания каналов объекта использовались дискретные модели второго порядка с запаздыванием:

$$W_o^{u[i][j]}(z) = \frac{y^{u[i][j]}(z)}{u^{[i]}(z)} = \frac{b_0^{u[i][j]} \cdot z^{-1} - d_o^{u[i][j]}}{1 - a_1^{u[i][j]} \cdot z^{-1} - a_2^{u[i][j]} \cdot z^{-2}},$$

где $a_k^{u[i][j]}$, $b_0^{u[i][j]}$ – параметры дискретных моделей каналов объекта; $d_o^{u[i][j]}$ – число тактов запаздывания; $k = \overline{1,2}$.

В качестве регуляторов по основным каналам приняты ПИД – регуляторы:

$$W_p^{u[j][j]}(z) = \frac{u^{u[j][j]}(z)}{e^{[j]}(z)} = \frac{q_0^{u[j][j]} + q_1^{u[j][j]} \cdot z^{-1} + q_2^{u[j][j]} \cdot z^{-2}}{1 - p_0^{u[j][j]} \cdot z^{-1}},$$

где $q_m^{u[j][j]}$, $p_0^{u[j][j]}$ – параметры числителя и знаменателя дискретной ПФ регулятора; $m = 0, 2$.

Оптимизация настроек регуляторов выполнена методом градиента по критерию минимума интегрально-квадратичной ошибки по эквивалентным объектам.

При моделировании системы автономный компенсатор (1) рассчитывался на основе классического подхода (рис. 5а) (получение ПФ в явном виде) и по предложенной методике (рис. 5б).

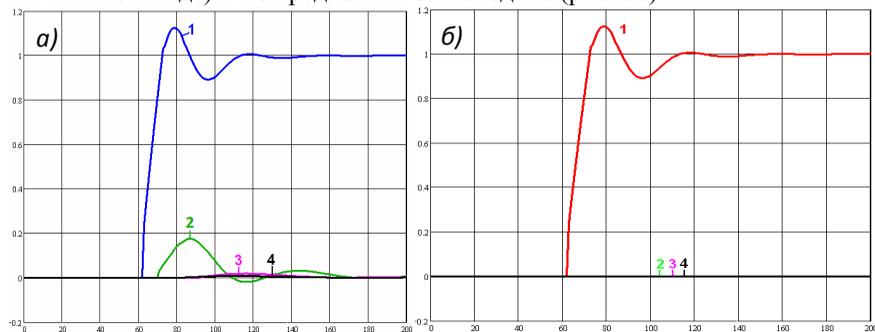


Рисунок 5– Переходные процессы системы управления синтезом аммиака при изменении задания по первому выходу: а) рассчитанные классическим способом; б) рассчитанные по предложенной методике; 1, 2, 3, 4 – температура катализатора в соответствующих слоях

Анализ динамических характеристик показал, что использование первого способа не позволяет полностью компенсировать влияние перекрестных связей на температуру во втором, третьем и четвертом слоях катализатора, что свидетельствует о низкой точности расчетов. Применение предложенного способа моделирования компенсаторов

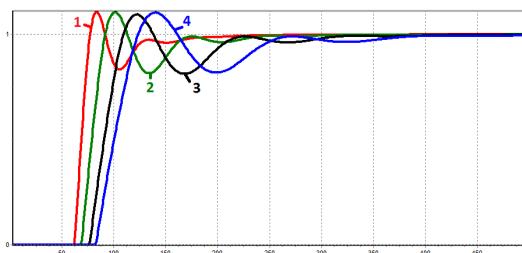


Рисунок 6 – Динамические характеристики процесса синтеза аммиака при изменении заданий по температурам на всех слоях катализатора при наличии возмущений; 1, 2, 3, 4 –температура в каждом слое

обеспечивает выполнение принципа автономности за счет высокой точности вычислительной процедуры.

Расчет динамических характеристик

многосвязной автономно-инвариантной системы при наличии возмущающих воздействий по предложенной методике представлен на (рис. 6). Совпадение с переходными процессами в автономной системе без возмущений показывают выполнение принципа инвариантности и свидетельствуют о высокой точности расчета компенсаторов возмущений по предложенной методике.

Таким образом предложенная методика, разработанные алгоритмы и ПО, не требующая получения ПФ элементов управляющей части в явном виде и обеспечивая требуемую точность вычислений в отличие от известного подхода, позволяют моделировать и автоматизировать расчет многосвязных АвИИЦСУ.

Список литературы:

1. Кудряшов В.С., Рязанцев С.В., Козенко И.А. Алгоритм расчета выходов автономных компенсаторов многосвязной цифровой системы управления // Вестник ВГТА. Серия: информационные технологии, моделирование и управление. 2010. №2. С. 21-26.
2. Способ автоматизированного синтеза структуры передаточных функций автономных компенсаторов многосвязной цифровой системы управления / В.С. Кудряшов, С.В. Рязанцев, А.В. Иванов, И.А. Козенко // Вестник ВГТА. Серия: информационные технологии, моделирование и управление. 2011. №2. С. 16-20.

**СИНТЕЗ ВЕКТОРНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ
ХИМИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕАКЦИИ
ТИПА: A+B→P**

**Кукушкин А.В., аспирант,
Лабутин А.Н., д-р техн. наук, проф.,
Волкова Г.В., канд. техн. наук, доц.,
Семенов Ю.В., аспирант**

Ивановский государственный химико-технологический университет

Типовые химические реакции имеют широкое распространение в химической промышленности и часто осуществляются в реакторах идеального смешения (РИС) или каскаде реакторов идеального смешения (КРИС) [1]. Ранее был рассмотрен вопрос синтеза векторного алгоритма управления методами синергетической теории управления для типовых реакций первого порядка [2]. Особенностью реакций второго порядка, является нелинейность их кинетики, что накладывает дополнительные сложности на синтез системы управления.

В настоящей работе решается задача синтеза векторного алгоритма управления в РИС для проведения реакции второго порядка: A+B→P. Для случая, когда полезным компонентом является вещество P, математическая модель РИС для политропического процесса в предположении постоянства объема реакционной массы ($V = \text{const}$) представляет собой систему из 5 нелинейных ОДУ:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= \frac{vx_1^{\text{BX}}}{V} - \frac{vx_1}{V} - R_1; & \frac{dx_2}{dt} &= \frac{vx_2^{\text{BX}}}{V} - \frac{vx_2}{V} - R_1; & \frac{dx_3}{dt} &= R_1 - \frac{vx_3}{V}; \\ \frac{dx_4}{dt} &= \frac{vx_4^{\text{BX}}}{V} - \frac{vx_4}{V} + \frac{R_1 \Delta H}{\rho C} - \frac{K_T F_T (x_4 - x_5)}{V \rho C}; \\ \frac{dx_5}{dt} &= \frac{v_{\text{хл}} x_5^{\text{BX}}}{V_{\text{хл}}} - \frac{v_{\text{хл}} x_5}{V_{\text{хл}}} + \frac{K_T F_T (x_4 - x_5)}{V_{\text{хл}} \rho_{\text{хл}} C_{\text{хл}}}; & x_i \Big|_{t=0} &= x_i^0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $R_1 = k_1 x_1 x_2$; $k_1 = k_{10} \cdot e^{-\frac{E_1}{R \cdot (x_1 + 273.15)}}$, k_1 – константа скорости реакции, k_{10} – предэкспоненциальный множитель константы скорости; E_1 – энергии активации, R – универсальная газовая постоянная, x_1, x_2, x_3 – концентрации веществ А, В, Р; x_4 – температура в реакторе, x_5 – температура хладоагента в рубашке; $x_1^{\text{BX}}, x_2^{\text{BX}}$ – концентрации исходных реагентов; v – расход смеси в аппарате; x_4^{BX} – температура потока исходного реагента; $v_{\text{хл}}$ – расход хладоагента в рубашке; x_5^{BX} –

температура хладагента на входе в рубашку; V – объем аппарата, $V_{\text{хл}}$ – объем рубашки.

Важным технологическим требованием для РИС является стабилизация конечной концентрации целевого продукта и температуры в аппарате в условиях действия внутренних и внешних возмущений.

Химический реактор является многомерным, нелинейным и многосвязным объектом управления. Поэтому синтез закона управления предлагается осуществлять с использованием методов синергетической теории управления, а именно: метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов на основе процедуры рассмотрения параллельно-последовательной совокупности инвариантных многообразий [3].

В качестве управляющих воздействий u_1 и u_2 целесообразно выбрать отклонения расхода смеси в аппарате v и расхода хладагента от значений в статике [4]:

$$v = v^0 + u_1, v_{\text{хл}} = v_{\text{хл}}^0 + u_2$$

Для проведения процедуры синтеза закона стабилизации концентрации целевого компонента и температуры модель (1) приведена к виду (2):

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= \frac{(v^0 + u_1)x_1^{\text{вх}}}{V} - \frac{(v^0 + u_1)x_1}{V} - R_1; \quad \frac{dx_2}{dt} = \frac{(v^0 + u_1)x_2^{\text{вх}}}{V} - \frac{(v^0 + u_1)x_2}{V} - R_1; \\ \frac{dx_3}{dt} &= R_1 - \frac{(v^0 + u_1)x_3}{V}; \quad \frac{dx_4}{dt} = \frac{(v^0 + u_1)x_4^{\text{вх}}}{V} - \frac{(v^0 + u_1)x_4}{V} + \frac{R_1 \Delta H}{\rho C} - \frac{K_T F_T (x_4 - x_5)}{V \rho C}; \\ \frac{dx_5}{dt} &= \frac{(v_{\text{хл}}^0 + u_2)x_5^{\text{вх}}}{V_{\text{хл}}} - \frac{(v_{\text{хл}}^0 + u_2)x_5}{V_{\text{хл}}} + \frac{K_T F_T (x_4 - x_5)}{V_{\text{хл}} \rho_{\text{хл}} C_{\text{хл}}}; \quad x_1|_{t=0} = x_1^0, \end{aligned} \quad (2)$$

С учетом того факта, что управление u_1 непосредственно входит в уравнение для концентрации x_3 , а управление u_2 не присутствует непосредственно в уравнении для температуры, а входит в правую часть уравнения для x_5 , то на первом этапе процедуры синергетического синтеза можно ввести в рассмотрение макропеременные следующего типа:

$$\psi_1 = \overline{x_3 - x_3}; \quad \psi_2 = x_5 + v(x_4); \quad (3)$$

где x_3 – заданное значение концентрации компонента B , $v(x_4)$ – некоторая функция определяемая в дальнейшем.

Изменение макропеременных ψ_i при переходе изображающей точки системы в фазовом пространстве из произвольного начального положения в окрестность многообразий $\psi_1 = 0$ и $\psi_2 = 0$ под

воздействием управлений u_1 и u_2 подчиняется функциональному уравнению: $T_i \cdot \dot{\psi}_i(\tau) + \psi_i(\tau) = 0$, $i = 1, 2$. (4)

где T_i – настроечный параметр.

Известно [3], что при $T_i > 0$ движение устойчиво и через время $\tau_p = (3 \div 5) T$ значение $\psi_i \approx 0$. С учётом (3) система (4) примет вид:

$$\begin{aligned} T_1 \frac{dx_3}{d\tau} + (x_3 - \bar{x}_3) &= 0; \\ T_2 \left[\frac{dx_5}{d\tau} + \frac{\partial v(x_4)}{\partial x_4} \frac{dx_4}{d\tau} \right] + x_5 + v(x_4) &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

В силу уравнений модели объекта (2), система (5) запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} R_1 - \frac{v^0 x_3}{V} - \frac{u_1 x_3}{V} &= -\frac{(x_3 - \bar{x}_3)}{T_1}; \\ f_5 + bu_2 + \frac{\partial v(x_4)}{\partial x_4} (f_4 + \alpha_1 x_5) &= -\frac{x_5 + v(x_4)}{T_2}, \end{aligned} \quad (6)$$

где:

$$\begin{aligned} f_4 &= \frac{(v^0 + u_1)(x_4^{bx} - x_4)}{V} + \frac{R_1 \Delta H}{\rho C} - \alpha_1 x_4; \quad f_5 = \alpha_2 x_5 - \alpha_2 x_4 + v_{x_4}^0 b; \\ \alpha_1 &= \frac{K_T F_T}{V \rho C}; \quad \alpha_2 = \frac{K_T F_T}{V_{x_4} \rho_{x_4} C_{x_4}}; \quad b = \frac{(x_5^{bx} - x_5)}{V_{x_4}}. \end{aligned}$$

Из (6) получим выражения для законов управления концентрацией и температурой:

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{VR_1 - v^0 + V(x_3 - \bar{x}_3)}{x_3 T_1}; \quad (7) \\ u_2 &= -\frac{f_5}{b} - \frac{1}{b} \frac{\partial v(x_4)}{\partial x_4} [f_4 + \alpha_1 x_5] - \frac{x_5 + v(x_4)}{b T_2}. \end{aligned}$$

Управления u_1 и u_2 переводят изображающую точку в окрестность пересечения многообразий $\psi_1 = \psi_2 = 0$. При этом реализуется связь $x_3 = \bar{x}_3$, $x_5 = -v(x_4)$, и наблюдается эффект «сжатия фазового пространства» [3] – снижения размерности системы. В результате уравнения декомпозированной системы примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= \frac{(v^0 + u_1)(x_1^{nx} - x_1)}{V} - R_1; & \frac{dx_2}{dt} &= \frac{(v^0 + u_1)(x_2^{nx} - x_2)}{V} - R_1; \\ \frac{dx_4}{dt} &= \frac{(v^0 + u_1)(x_4^{nx} - x_4)}{V} + \frac{R_1 \Delta H}{\rho C} - \frac{K_T F_T (x_5 + v(x_4))}{V \rho C}, \\ x_i \Big|_{t=0} &= x_i^0, \end{aligned} \quad (8)$$

Под воздействием внутреннего управления $v(x_4)$ происходит движение декомпозированной системы вдоль пересечения многообразий $\psi_1 = \psi_2 = 0$. На втором шаге синтеза закона управления необходимо найти выражение для $v(x_4)$. Для этого сформируем макропеременную ψ_3 с учётом цели управления: $\psi_3 = (x_4 - \bar{x}_4)$

Используя функциональное уравнение типа (3), формула для внутреннего управления запишется следующим образом:

$$v = \rho C \frac{(v^0 + u_1)(x_4^{nx} - x_4)}{K_T F_T} + V \frac{R_1 \Delta H}{K_T F_T} - x_4 + \frac{V \rho C}{K_T F_T} \frac{x_4 - \bar{x}_4}{T_3} \quad (9)$$

Используя (9), получено выражения для частной производной $\partial v / \partial x_5$

Методами имитационного моделирования проведено исследование замкнутой системы «объект – управляющее устройство. Исследованы два варианта реализации алгоритма управления (7):

I вариант. Осуществляется измерение всех переменных состояния объекта, текущие значения которых используются для расчёта управляющего воздействия.

II вариант. Измеряются только концентрация целевого вещества и температура в реакторе и рубашке. Остальные переменные состояния, входящие в закон управления (6), считаются не наблюдаемыми. Их значения при расчете управляющего воздействия принимаются постоянными и равными их значениям в статике.

Исследовались инвариантность системы к возмущениям, ковариантность с заданием.

При реализации первого варианта алгоритма управления, система инвариантна к возмущениям заданной величины, ковариантна с задающим воздействием, асимптотически устойчива. Так же отсутствует статическая ошибка управления.

Результаты моделирования показали, что система характеризуется наличием существенной статической ошибки, т.е. не обладает достаточной точностью при реализации II варианта алгоритма

управления. В связи с этим, синтезирован астатический закон стабилизации концентрации целевого вещества Р и температуры в реакторе. Для этой цели модель объекта (2) дополняется уравнениями, характеризующими введение интегральной составляющей:

$$\frac{dz_1}{dt} = x_3 - \bar{x}_3, \quad \frac{dz_2}{dt} = x_4 - \bar{x}_4, \quad (10)$$

где \bar{x}_3 – заданное значение концентрации компонента Р, \bar{x}_4 – заданное значение температуры в реакторе,

$$z_1 = \int_0^{\infty} (x_3 - \bar{x}_3) dt,$$

$$z_2 = \int_0^{\infty} (x_4 - \bar{x}_4) dt,$$

Используя метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов [3], получено выражение для закона управления:

$$u_1 = \frac{VR_1 - v^0 + \frac{V(T_1\gamma_1 + 1)(x_3 - \bar{x}_3) + \gamma_1 z_1 V}{T_1 x_3}}{x_3};$$

$$u_2 = -\frac{(x_5 - v(x_4))}{T_2 b} - \frac{\partial v(x_4)}{\partial x_4} \left(\frac{f_4 + \alpha_1 x_5}{b} \right) - \frac{f_5}{b};$$

$$v(x_5) = \frac{f_4}{\alpha_1} + \frac{(x_4 - \bar{x}_4)(T_3\gamma_2 + 1) + \gamma_2 z_2}{\alpha_1 T_3}. \quad (11)$$

Для нахождения алгоритма управления, была использована процедура рассмотрения параллельно-последовательной совокупности инвариантных многообразий: $\Psi_1 = (x_3 - \bar{x}_3) + \gamma_1 z_1$, $\Psi_2 = x_5 + v(x_4)$, $\Psi_3 = (x_4 - \bar{x}_4) + \gamma_2 z_2$, где γ_1, γ_2 – настроечные параметры, отвечающие за вклад интегральной составляющей, \bar{x}_3 – заданное значение концентрации вещества В, \bar{x}_4 – заданное значение температуры в реакторе, $v(x_4)$ – некоторая функция определяемая в дальнейшем.

С целью исследования работоспособности алгоритма векторного управления проведено имитационное моделирование замкнутой системы “объект – управляющее устройство”. При моделировании использовали значения технологических и конструктивных параметров объекта, приведённые ранее. Настройки регуляторов: $T_1=30$, $T_2=30$, $T_3=30$, $\gamma_1 = \gamma_2 = 0.2$.

Результаты моделирования показали, что при I и II вариантах реализации алгоритма управления, система асимптотически устойчива, инвариантна к возмущениям, ковариантна с задающим воздействием по каналам управления и характеризуется отсутствием статической ошибки.

Ниже приведены переходные процессы в системе для рассматриваемой реакции для астатического закона управления при реализации I-ого и II-ого вариантов реализации алгоритма управления:

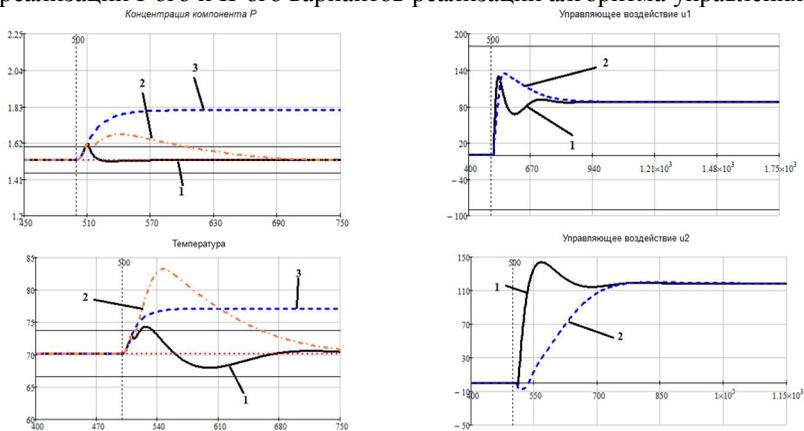


Рисунок 1 – Переходные процессы регулируемых переменных и управлений при ступенчатом изменении концентрации компонента А на входе $\Delta x_{lin} = 0.15 \cdot x_{lin}^0$, 1 – I вариант реализации алгоритма управления; 2 – II вариант реализации алгоритма управления; 3 – отклик объекта управления на ступенчатое изменение концентрации компонента А на входе

Список литературы:

1. Лебедев Н.Н., Манаков Н.М., Швец В.Ф. Теория технологических процессов основного органического и нефтехимического синтеза. М.: Химия. 1984. 376 с.
2. Кукушкин А.В., Семёнов Ю.В., Лабутин А.Н. Векторное управление реактором идеального смешения при проведении реакций различных типов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2014. Т.57. №3. С. 119-124.
3. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. М.: Энергоатомиздат. 1994. 344 с.
4. Дудников Е.Г. и др. Автоматическое управление в химической промышленности. М.: Химия. 1987. 368 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРВАЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ

Левин В.И., д-р техн. наук, проф.

Пензенский государственный технологический университет

Большинство современных задач оптимизации систем решается в предположении детерминированных параметров оптимизируемой системы. Но на практике крупномасштабные системы в технике, экономике, социологии и т.д. имеют, как правило, недетерминированные параметры. Оптимизация такого рода систем выдвигает новые трудные проблемы: сравнение недетерминированных величин, обобщение понятия оптимума на недетерминированный случай, выяснение условий его существования, конструирование алгоритмов его отыскания. В докладе дан обзор некоторых работ в данной области. Изучается наиболее простой и естественный случай, когда недетерминированность системы выражается в том, что ее параметры заданы с точностью до интервалов возможных значений. Интервальные оценки параметров находятся экспертным путем либо с помощью приближенных измерений или измерений. Сформулируем общую задачу оптимизации систем в интервальной постановке. Задана некоторая функция

$$y = f(\tilde{a}, x), \quad (1)$$

где $\tilde{a} = (\tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n)$ – вектор интервальных параметров, при этом \tilde{a}_i – замкнутые интервалы $\tilde{a}_i = [a_{i1}, a_{i2}]$, в которых находятся все возможные значения этих параметров; $x = (x_1, \dots, x_n)$ – вектор аргументов, $x_i \in X$, $i = 1, \dots, n$ и X – числовое множество. Каждому значению аргумента $x, x \in X$, согласно (1) соответствует одно значение функции в виде некоторого интервала $\tilde{y} = f(\tilde{a}, x)$. Необходимо найти значение аргумента $x^*, x^* \in X$, для которого соответствующее значение функции $\tilde{y} = f(\tilde{a}, x^*)$ экстремально (максимально или минимально). Мы ограничимся задачами оптимизации, где множество X дискретно.

Для решения сформулированной задачи необходимо уметь сравнивать величины интервалов и выделять экстремальные из них. Сначала мы введем детерминированные операции непрерывной логики: $\vee = \max$ (дизъюнкция), $\wedge = \min$ (конъюнкция), а затем – соответствующие им недетерминированные (в частности, интервальные) операции этой логики:

$$\tilde{a} \vee \tilde{b} = \{a \vee b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}, \quad \tilde{a} \wedge \tilde{b} = \{a \wedge b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}, \quad (2)$$

где \tilde{a} и \tilde{b} – любые числовые множества (в частности, интервалы). Как видно из формул (2), дизъюнкция (конъюнкция) двух числовых множеств определяется как множество возможных значений дизъюнкции (конъюнкции) двух чисел в условиях, когда эти числа пробегает независимо друг от друга все возможные значения внутри соответствующих интервалов. Согласно [1], введем теперь отношение неравенства интервалов в виде следующей эквивалентности:

$$(\tilde{a} \geq \tilde{b}) \Leftrightarrow (\tilde{a} \vee \tilde{b} = \tilde{a}, \tilde{a} \wedge \tilde{b} = \tilde{b}) \quad (3)$$

Как известно [1], два интервала \tilde{a} и \tilde{b} , такие, что $\tilde{a} \geq \tilde{b}$ или $\tilde{b} \geq \tilde{a}$, называются сравнимыми по отношению \geq , другие \tilde{a} и \tilde{b} называются несравнимыми по данному отношению. В системе интервалов $\tilde{a}_k, k=1, \dots, n$ интервал \tilde{a}_i называется максимальным (минимальным), если он является сравнимым с интервалами $\tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_k$ по отношению \geq и верны неравенства $\tilde{a}_1 \geq \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_1 \geq \tilde{a}_k$ ($\tilde{a}_1 \leq \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_1 \leq \tilde{a}_k$).

Теорема 1. Для того чтобы два интервала $\tilde{a} = [a_1, a_2]$ и $\tilde{b} = [b_1, b_2]$ были сравнимы в отношении $\tilde{a} \geq \tilde{b}$ (несравнимы), необходимо и достаточно, чтобы выполнялась система неравенств $(a_1 \geq b_1, a_2 \geq b_2)$ (системы неравенств $(a_1 < b_1, a_2 > b_2)$ или $(b_1 < a_1, b_2 > a_2)$).

Теорема 2. Для того чтобы в системе интервалов $\tilde{a}_k = [a_{k1}, a_{k2}], k=1, \dots, n$, интервал \tilde{a}_1 являлся максимальным по величине, необходимо и достаточно выполнения условий

$a_{11} = \bigvee_{k=1}^n a_{k1}, a_{12} = \bigvee_{k=1}^n a_{k2}$, а для того чтобы интервал \tilde{a}_1 был минимальным, выполнения условий

$$a_{11} = \bigwedge_{k=1}^n a_{k1}, a_{12} = \bigwedge_{k=1}^n a_{k2}$$

Результаты теоремы 1 позволяют сравнивать интервалы, распространять понятие оптимума на интервалы и выяснять условие существования такого оптимума. Результаты теоремы 2 позволяют строить алгоритмы выделения экстремальных интервалов, сводя их к алгоритмам выделения экстремальных точечных величин. Это позволяет сводить интервальные задачи оптимизации к детерминированным, что и составляет основу для решения интервальных задач.

Более подробные сведения о теории и методах оптимизации систем в условиях интервальной неопределенности можно найти в литературе [2,3].

Список литературы:

1. Левин В.И. Сравнение интервальных величин и оптимизация неопределенных систем // Информационные технологии. 1998. № 7. С. 22-32.
2. Левин В.И. Дискретная оптимизация в условиях интервальной неопределенности // Автоматика и телемеханика. 1992. № 7. С. 97-106.
3. Левин В.И. Интервальные методы оптимизации систем в условиях неопределенности. Пенза: Изд-во Пензенского технологического института, 1999. 95 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРВАЛЬНО- ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ

Левин В.И., д-р техн. наук, проф.

Пензенский государственный технологический университет

Встречающиеся на практике системы характеризуются той или иной степенью неопределенности. Для построения и исследования таких систем чаще всего применяют математический аппарат теории вероятностей [1], нечетких множеств [2] и интервальной математики [3]. В нашей работе впервые предлагается новый математический аппарат для изучения недетерминированных систем – интервально-дифференциальное исчисление. Этот аппарат, в отличие от названных выше, нацеленных на исследование статических систем, применим и к изучению динамических систем. Он является аналогом классического дифференциального исчисления для систем с неопределенными параметрами интервального вида.

Будем использовать интервальную алгебру [3,4]. Операнды в ней – замкнутые вещественные интервалы, определяемые как множества

$$\tilde{a} \equiv [a_1, a_2] \equiv \{a \mid a_1 \leq a \leq a_2\}. \quad (1)$$

Указанные операнды можно назвать интервальными числами.

Операции \circ над такими числами $\tilde{a} = [a_1, a_2]$, $\tilde{b} = [b_1, b_2]$ можно ввести как теоретико-множественные обобщения алгебраических операций над вещественными числами a, b :

$$\tilde{a} \circ \tilde{b} = \{a \circ b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}. \quad (2)$$

Таким образом, основные операции над интервальными числами

$$\begin{aligned} \tilde{a} + \tilde{b} &= \{a + b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}, & \tilde{a} - \tilde{b} &= \{a - b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}, \\ k \cdot \tilde{a} &= \{k \cdot a \mid a \in \tilde{a}\}, \\ \tilde{a} \cdot \tilde{b} &= \{a \cdot b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}, & \tilde{a} / \tilde{b} &= \{a / b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}. \end{aligned} \quad (3)$$

На основе определений (3) операций над интервальными числами можно вывести формулы для вычисления результатов этих операций [3]

$$\begin{aligned}
\tilde{a} + \tilde{b} &\equiv [a_1, a_2] + [b_1, b_2] = [a_1 + b_1, a_2 + b_2], \\
\tilde{a} - \tilde{b} &\equiv [a_1, a_2] - [b_1, b_2] = [a_1 - b_2, a_2 - b_1], \\
k \cdot \tilde{a} &\equiv k \cdot [a_1, a_2] = \begin{cases} [ka_1, ka_2], & k > 0, \\ [ka_2, ka_1], & k < 0, \end{cases} \\
\tilde{a} \cdot \tilde{b} &\equiv [a_1, a_2] \cdot [b_1, b_2] = [\min_{i,j}(a_i \cdot b_j), \max_{i,j}(a_i \cdot b_j)], \\
\tilde{a} / \tilde{b} &\equiv [a_1, a_2] / [b_1, b_2] = [a_1, a_2] \cdot [1/b_2, 1/b_1]. \quad (4)
\end{aligned}$$

Интервальная функция [5] вводится как однозначное отображение множества вещественных интервалов $\{\tilde{x}\}, \tilde{x} = [x_1, x_2]$ вида (1) на такого же типа множество

$$\{\tilde{y}\}, \tilde{y} = [y_1, y_2]. \quad \tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x}), \quad (5)$$

где \tilde{x} называется интервальной независимой переменной, \tilde{y} – интервальной зависимой переменной, \tilde{f} – интервальной функцией.

Введем понятие предела интервальной функции (5). Рассмотрим независимую переменную $\tilde{x} = [x_1, x_2]$ этой функции. Будем говорить, что \tilde{x} в процессе своего изменения неограниченно приближается к предельному интервалу $\tilde{x}_0 = [x_{01}, x_{02}]$, если в указанном процессе x_1 неограниченно приближается к x_{01} , а x_2 – к x_{02} . Символически это неограниченное приближение интервального аргумента \tilde{x} к пределу \tilde{x}_0 показывается следующим образом:

$$(\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0) \equiv (x_1 \rightarrow x_{01}, x_2 \rightarrow x_{02}) \equiv (\lim x_1 = x_{01}, \lim x_2 = x_{02}). \quad (6)$$

Зависимая переменная \tilde{y} интервальной функции (5) в процессе своего изменения может неограниченно приближаться к предельному интервалу $\tilde{y}_0 = [y_{01}, y_{02}]$, т.е.

$$(\tilde{y} \rightarrow \tilde{y}_0) \equiv (y_1 \rightarrow y_{01}, y_2 \rightarrow y_{02}). \quad (7)$$

Если неограниченное приближение переменной \tilde{y} интервальной функции (5) к интервалу \tilde{y}_0 вызвано неограниченным приближением переменной \tilde{x} к \tilde{x}_0 , будем говорить, что предел интервальной функции (5) при $x \rightarrow \tilde{x}_0$, равен \tilde{y}_0 . Символически $\lim_{\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0} \tilde{y} = \tilde{y}_0$ или, по-другому, $\lim_{\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0} \tilde{f}(\tilde{x}) = \tilde{y}_0$ (8)

Если интервальная функция (5) непрерывна, т.е. как нижняя, так и верхняя границы интервала \tilde{y} (т.е. зависимой переменной) являются непрерывными функциями нижней и верхней границ интервала \tilde{x} , то предел функции (5) равен значению функции от предельного значения аргумента:

$$\lim_{\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0} \tilde{f}(\tilde{x}) = \tilde{f}(\tilde{x}_0) \quad (9)$$

Рассмотрим произвольную интервальную функцию вида (5). Будем считать ее непрерывной. Зафиксируем некоторое значение $\tilde{x}_0 = [x_{01}, x_{02}]$ независимой переменной. Этому значению, в силу непрерывности интервальной функции, будет соответствовать фиксированное значение функции $\tilde{y}_0 = \tilde{f}(\tilde{x}_0)$. Определим теперь приращения независимой и зависимой переменных нашей функции относительно их указанных фиксированных значений

$$\Delta \tilde{x} = \tilde{x} - \tilde{x}_0, \quad \Delta \tilde{y} = \tilde{y} - \tilde{y}_0 = \tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x}_0) \quad (10)$$

и составим отношение второго приращения к первому

$$\Delta \tilde{y} / \Delta \tilde{x} = (\tilde{y} - \tilde{y}_0) / (\tilde{x} - \tilde{x}_0) = (\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x}_0)) / (\tilde{x} - \tilde{x}_0) \quad (11)$$

Возьмем предел отношения (11) при неограниченном приближении независимой переменной \tilde{x} к ее фиксированному значению \tilde{x}_0 :

$$\lim_{\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0} \Delta \tilde{y} / \Delta \tilde{x} \quad (12)$$

Предел (12), если он существует, мы будем называть интервальной производной от функции (5) и обозначать $\tilde{y}'_{\tilde{x}_0}$ или же $\tilde{f}'_{\tilde{x}_0}(\tilde{x})$. Таким образом,

$$\tilde{y}'_{\tilde{x}_0} = \tilde{f}'_{\tilde{x}_0}(\tilde{x}) = \lim_{\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0} \Delta \tilde{y} / \Delta \tilde{x} \quad (13)$$

Теорема 1. Для того чтобы в точке \tilde{x}_0 существовала интервальная производная от интервальной функции (5), определяемая формулами (10)–(13), необходимо и достаточно, чтобы в некоторой окрестности этой точки, включая ее саму, все значения независимой переменной \tilde{x} были невырожденными интервалами (т.е. интервалами с несовпадающими нижней и верхней границами).

Теорема 2. Интервальная производная от непрерывной интервальной функции (5), определяемая для произвольной точки \tilde{x}_0 формулами (10)–(13) в виде предела, может быть выражена в конечном виде:

$$\tilde{y}'_{\tilde{x}_0} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}_0}(\tilde{x}) = (\tilde{f}(\tilde{x}_0) - \tilde{f}(\tilde{x}_0)) / (\tilde{x}_0 - \tilde{x}_0) \quad (14)$$

С первого взгляда выражение (14) выглядит как неопределенность вида $0/0$, но это неверно: по теореме 1 у любой существующей в точке \tilde{x}_0 интервальной производной интервал \tilde{x}_0 невырожден и потому, по (4), разности $\tilde{x}_0 - \tilde{x}_0$ и $\tilde{f}(\tilde{x}_0) - \tilde{f}(\tilde{x}_0)$ не равны нулю (интервалу $[0,0]$).

Производная $\tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ от интервальной функции $\tilde{f}(\tilde{x})$ также является интервальной функцией, зависящей от того же самого аргумента \tilde{x} . Это позволяет продолжить процесс нахождения интервальных производных функций, получив сначала 2-ю производную $\tilde{f}''_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ (производную от $\tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x})$), 3-ю производную $\tilde{f}'''_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ (производную от $\tilde{f}''_{\tilde{x}}(\tilde{x})$) и т.д., вплоть до производной любого n -го порядка.

Список литературы:

1. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. М.: Наука, 2004.

2. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976.
3. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. М.: Мир, 1987.
4. Левин В.И. Интервальные методы оптимизации систем в условиях неопределенности. Пенза: Изд-во ПензТИ, 1999.
5. Левин В.И. Оптимизация в условиях интервальной неопределенности. Метод детерминизации // Автоматика и вычислительная техника. 2012. № 4.

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ НОМЕРОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Лесунов М.Е., студент,

Фролов С.В., студент,

Юдин Д.А., мл. научн. сотрудник

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Рассматривается система технического зрения, основной задачей которой является распознавание государственных регистрационных знаков транспортных средств – автомобильных номеров. Такие системы должны обладать универсальностью и масштабируемостью и позволять решать следующие задачи:

- контроль присутствия и перемещения транспортных средств на территории любого размера;
- интеграция системы с паркинговым биллингом, которая позволяет автоматизировать платежно-пропускные операции парковки;
- интеграция с комплексами видеофиксации нарушений ПДД, что обеспечивает надежный контроль над транспортными магистралями;
- идентификация нарушителей по номеру, позволяющая автоматически подготавливать квитанции для оплаты штрафов, а также выявлять в потоке автомобили, представляющие интерес для правоохранительных органов.

При разработке систем видеоаналитики, слежения или мониторинга дорожного движения необходимо использовать эффективные алгоритмы обработки изображений и распознавания образов, позволяющих анализировать обстановку без прямого участия человека. Проектирование систем интеллектуального видеонаблюдения больших территорий или нескольких объектов связано с применением большого количества видеос камер, а следовательно с затратами большого количества вычислительных мощностей. Снизить стоимость таких решений позволяет правильный выбор структуры системы. С точки зрения аппаратно-программной архитектуры, различают следующие структуры систем:

1. Серверная (рис. 1а) – предполагает централизованную обработку видеоданных на сервере, например, реализация такой структуры предложена в [1]. Главный недостаток такого решения – необходимость непрерывной передачи видео от источника видеоданных на сервер, что создает нагрузку на каналы связи.

2. Встроенная (рис. 1б) – обработка изображений реализуется непосредственно в источнике видеоданных, то есть в камерах. Такая система работает на выделенном процессоре устройства и передает результаты (метаданные) вместе с видеопотоком. Главное преимущество встроенной видеоаналитики состоит в уменьшении нагрузки на каналы связи и на сервер обработки видеоданных.

3. Распределенная (рис. 1в) – является гибридным решением между серверной и встроенной. Обработка распределена между источником видеоданных и центральным оборудованием. Например, обнаружение объектов производится в источнике видеоданных, а сопоставление результатов между несколькими источниками – на сервере [2].

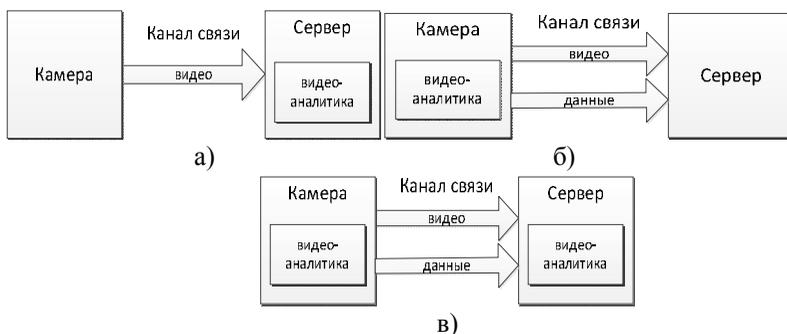


Рисунок 1 – Структуры систем технического зрения: а) серверная, б) встроенная, в) распределённая

Система с распределенная структурой при минимальных затратах позволяет решить весь спектр задач, связанных с распознаванием автомобильных номеров. При проектировании системы особое внимание необходимо уделить выбору программно-аппаратной платформы. От выбора аппаратных средств зависит точность работы системы, кроме того при подборе аппаратных решений необходимо учитывать территорию мониторинга, протяженность линий связи, а так же погодные условия. Программное обеспечение используемое в такой системе работает по следующему алгоритму:

1. Обнаружение автомобиля в видеопотоке.
2. Предварительный поиск регистрационного номерного знака на изображении автомобиля.

3. Нормализация номера (определение точных границ, нормализация контраста).

4. Распознавание символов номерного знака.

Первые два пункта алгоритма выполняются в источнике видеоданных, затем полученное в результате предварительной обработки изображение передается на сервер, где происходит дальнейшая обработка и распознавание символов.

Точность работы системы в большей степени зависит от алгоритма применяемого на последнем этапе (распознавания символов). Для определения символов могут применяться различные подходы. В [3-4] рассмотрены методы выявления объектов на изображении на основе сегментации с использованием текстурных характеристик. Данный метод является недостаточно эффективным для рассмотрения поставленной задачи, так как требует больших вычислительных мощностей.

В методе перебора [5] производится сравнение с базой данных, где для каждого вида объектов представлены всевозможные модификации отображения: под различными углами, масштабами, смещениями, деформациями и т.д. Данный метод требует большого количества ресурсов, кроме того, время его выполнения, при большом количестве объектов будет недопустимо велико.

Использование методов теории искусственных нейронных сетей [6] требует либо большого количества примеров задачи распознавания при обучении, либо специальной структуры нейронной сети, учитывающей специфику задачи. Тем не менее, их отличает более высокая эффективность и производительность по сравнению с методом перебора. Системы на базе нейронных сетей могут самообучаться и генерировать новые знания, что позволяет проводить распознавание объектов с заранее неизвестными характеристиками.

Метод контурного анализа [7] позволяет описывать, хранить, сравнивать и производить поиск объектов, на основе их внешних очертаний – контуров. Предполагается, что контур содержит всю необходимую информацию о форме объекта. Внутренние точки объекта во внимание не принимаются. Это ограничивает область применимости контурного анализа, но рассмотрение только контуров позволяет перейти от двумерного пространства изображения – к пространству контуров, и тем самым снизить вычислительную и алгоритмическую сложность и обеспечить инвариантность метода распознавания формы к масштабированию и повороту объекта. Эти факторы явились определяющими при выборе метода контурного анализа для

распознавания символов государственных регистрационных знаков транспортных средств.

Общий алгоритм распознавания символов номерного знака, реализуемый в составе распределенной системы технического зрения, включает следующие шаги:

- 1) предварительная обработка изображения – сглаживание, фильтрация помех, повышение контраста;
- 2) бинаризация изображения и нахождение контуров объектов;
- 3) приведение контуров к единой длине и их сглаживание;
- 4) вычисление параметров контура;
- 5) перебор всех найденных контуров, поиск шаблона, максимально похожего на данный контур.

Для реализации данного метода разработан программный комплекс, структура которого показана на рис. 2.

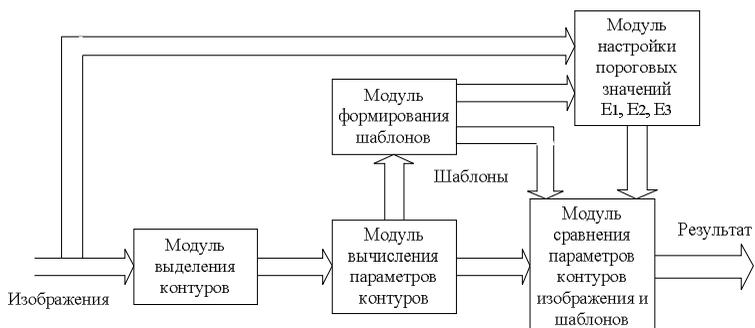


Рисунок 2 – Структура программного комплекса

Разработанный программный комплекс является достаточно универсальным и может быть применен, для распознавания любых геометрических форм и образов на изображении. Результаты работы комплекса для распознавания автомобильных номеров приведены на рис. 3. При этом в качестве шаблонов используются символы шрифта для автомобильных номеров [8] (рис. 4).

Относительно легкая масштабируемость и небольшая стоимость распределенных систем технического зрения позволяет применять их помимо задачи распознавания автомобильных номеров в самых разных сферах: общественный транспорт (подсчет пассажиров, обнаружение оставленного предмета, распознавание разыскиваемых лиц, регистрация транспортных средств [9]), системы «Безопасного города»

(обнаружение нарушений правил дорожного движения, обнаружение скопления людей), промышленное производство и сфера обслуживания (обнаружение огня и дыма, мониторинг активности персонала, автоматизированные пропускные системы, видеомониторинг.



Рисунок 3 – Примеры работы программного комплекса

1234567890

АВСДЕНКМОПТХУ

Рисунок 4 – Шаблоны символов, используемых в автомобильных номерах

мероприятий [10]), робототехника (управление стационарными и мобильными роботами [11] различного назначения), компьютерные системы распознавания текстов [1].

Исследования выполнены в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Пинт Э.М., Романенко И.И., Петровнина И.Н., Еличев К.А. Полный алгоритм рационального метода распознавания компьютером печатных знаков разных шрифтов и других символов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №1. С. 145-148.
2. Таненбаум Э., Ван Стеен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. СПб.: Питер, 2003. 880 с.
3. Юдин Д.А., Магергут В.З. Сегментация изображений процесса обжига с применением текстурного анализа на основе самоорганизующихся карт // Информационные технологии. 2013. №5. С. 65-70.
4. Юдин Д.А., Магергут В.З. Программный комплекс системы технического зрения для оценки состояния процесса обжига // Программные продукты и системы. 2013. № 2. С. 257-262.
5. Савченко А.В. Распознавание образов, метод направленного перебора для задач классификации с большим количеством альтернатив / Saarbrücken (Германия): LAPLAMBERT Academic Publishing, 2011. 148 с.
6. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. 2-е изд. М.: Изд-во «Вильямс», 2006. 1102 с.
7. Фурман Я.А., Юрьев А.Н., Яншин В.В. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений. Красноярск: Изд-во Красноярского университета, 1992. 250 с.
8. ГОСТ Р 50577-93. Знаки Государственные регистрационные транспортных средств. Введ. 01.01.1994 / М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2002. 27 с.
9. Казанский Н.Л., Попов С.Б. Распределённая система технического зрения регистрации железнодорожных составов // Компьютерная оптика. 2012. Т.36. №3. С. 419-428.
10. Юсупов Р.М., Ронжин А.Л. От умных приборов к интеллектуальному пространству // Вестник Российской Академии Наук: научный и общественно-политический журнал. 2010. Том 80. Вып. 1. С. 45-51.
11. Yudin D.A., Postolsky G.G., Kizhuk A.S., Magergut V.Z. Mobile robot navigation based on artificial landmarks with machine vision system // World Applied Sciences Journal. 2013. V. 24. № 11. P. 1467-1472.

КИНЕМАТИКА ДВУРУКОГО МАНИПУЛЯТОРА МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Логвинов В.И., канд. техн. наук, доц.,

Гальченко Г.А., канд. физ.-мат. наук, доц.

Донской государственный технический университет

В настоящее время в мире работают 436 ядерных реакторов, из которых 42% эксплуатируются более 30 лет и должны быть выведены из эксплуатации [1]. Ввиду технической сложности, высокой стоимости и экологической опасности проводимых при этом работ применяют специальную робототехнику, в том числе мобильные гидравлические многоманипуляторные роботы. Для выполнения разнообразных технологических задач они оснащаются сменным инструментом и развитой манипуляционной системой. Разработка систем управления гидравлическими двурукими манипуляторами таких роботов, скоординировано выполняющими рабочие операции подобно человеку, представляет актуальную задачу. Для этого, прежде всего, необходимо решить прямую и обратную задачи кинематики. В данной работе рассматривается решение прямой задачи кинематики двурукого манипулятора.

На рис. 1 приведена структурная схема двурукого гидравлического манипулятора мобильного робота, разрабатываемого в Донском государственном техническом университете [2,3]. Левая рука манипулятора L имеет грузоподъемность 50 кг и предназначена для работы с легкими инструментами и деталями, такими как винтоверт, резак, ножницы по металлу, винты, болты, гайки и имеет число степеней подвижности $W=7$. Правая рука R имеет грузоподъемность 150 кг, $W=6$ и предназначена для работы с контейнерами с ядерными отходами, тяжелыми инструментами, такими как ковш, бетонолом, гидромолот, стальные ножницы. Руки выполнены с возможностью выполнения скоординированных операций открывания – закрывания вентилей, переноса и обрезки длинных труб, сгибания стальных прутьев или труб, демонтажа трубных соединений и кабельных коммуникаций.

Для определения положений схватов в соответствии с правилами Денавита – Хартенберга [4] введены базовая система координат $O_oX_oY_oZ_o$ и совокупность подвижных систем координат, связанных со звеньями (рис.2-4). Для левого манипулятора это системы координат $O_{1л}X_{1л}Y_{1л}Z_{1л}$, $O_{2л}X_{2л}Y_{2л}Z_{2л}$, $O_{3л}X_{3л}Y_{3л}Z_{3л}$, $O_{4л}X_{4л}Y_{4л}Z_{4л}$, $O_{5л}X_{5л}Y_{5л}Z_{5л}$, $O_{6л}X_{6л}Y_{6л}Z_{6л}$, $O_{7л}X_{7л}Y_{7л}Z_{7л}$, $O_{8л}X_{8л}Y_{8л}Z_{8л}$.

Для правого манипулятора – соответственно O1пX1пY1пZ1п, O2пX2пY2пZ2п, O3пX3пY3пZ2п, O4пX4пY4пZ4п, O5пX5пYп5Z5п, O6пX6пY6пZ6п, O7пX7пY7пZ7п, O8пX8пY8пZ8п.

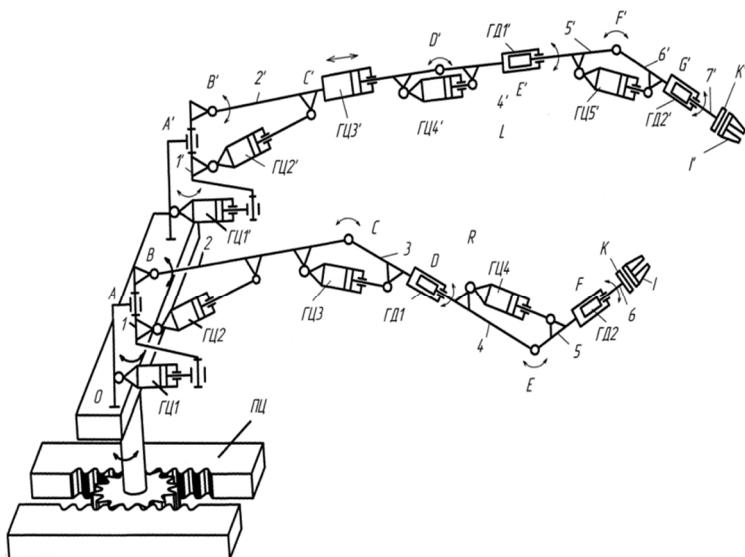


Рисунок 1 – Структурная схема двурукого манипулятора: L– левый манипулятор; R– правый манипулятор; ПЦ – поворотный гидроцилиндр; О– поворотная платформа; 1,2,3,4,5,6 – подвижные звенья R; 1',2',3',4',5', 6' – подвижные звенья L; А,В,С,Д,Е,Ф– шарниры R; А',В',С',Д',Е',Ф',Г' – шарниры L; ГЦ1', ГЦ2', ГЦ3', ГЦ4', ГЦ5' – гидроцилиндры привода звеньев L; ГД1', ГД2' – гидродвигатели привода звеньев L; ГЦ1, ГЦ2, ГЦ3, ГЦ4, ГЦ5 – гидроцилиндры привода звеньев R; ГД1, ГД2 – гидродвигатели привода звеньев R; К, К'– кисти для крепления схватов L и R; I, I' –сменный инструмент

Параметры кинематических пар левого манипулятора приведены в таблице 1, для правого манипулятора - в таблице 2. Эти параметры $\Theta_i, a_i, S_i, \phi_i$ используются для перехода от (i-1) системы координат к i-системе. Положение схвата левого манипулятора определится из векторного уравнения $\bar{r}_{мл}^0 = T_{8л}^0 * \bar{r}_{мл}^8$, (1)

где $T_{8л}^0$ – матрица перехода от системы координат $O8лX8лY8лZ8л$ к базовой системе $OoXoYoZo$, $\vec{r}_{мл}^8$ – вектор центра схвата в системе координат $O8лX8лY8лZ8л$.

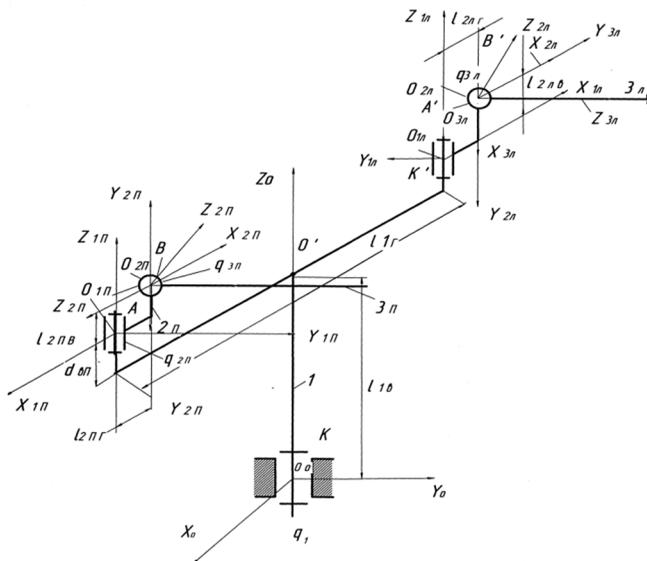


Рисунок 2 – Основание двурукого манипулятора: К, А, В, А', В' – кинематические пары; 1, 2п, 2л, 3п, 3л – подвижные звенья; $q_1, q_{2п}, q_{3п}, q_{2л}, q_{3л}$ – обобщенные координаты

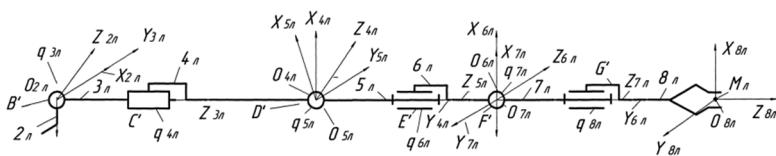


Рисунок 3 – Левый манипулятор: 2л, 3л, 4л, 5л, 6л, 7л, 8л – подвижные звенья; $q_{3л}, q_{4л}, q_{5л}, q_{6л}, q_{7л}, q_{8л}$ – обобщенные координаты; Мл – центр левого схвата

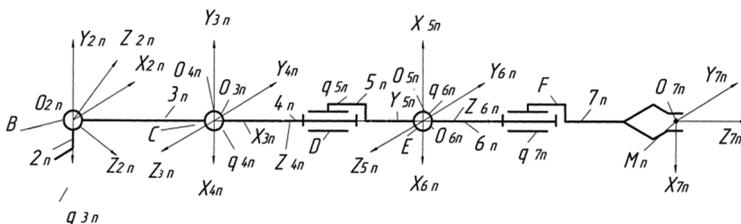


Рисунок 4 – Правый манипулятор: 2п,3п,4п,5п,6п,7п – подвижные звенья; q3п, q4п, q5п, q6п, q7п – обобщенные координаты; Мп – центр правого схвата

Таблица 1 – Параметры кинематических пар левого манипулятора

пара	звенье	параметры			
		Θ_i	α_i	S_i	Φ_i
К	0-1	0	$-l_{1r}/2$	$-(l_{1в} + d_{вл})$	$-q_{1л}$
А'	1-2л	0	$-l_{2лr}$	$-l_{2лв}$	$-q_{2л}$
В'	2л-3л	-90^0	0	0	$-(90^0 + q_{3л})$
С'	3л-4л	90^0	0	$-(l_{4л} + q_{4л})$	-180^0
Д'	4л-5л	90^0	0	0	$-q_{5л}$
Е'	5л-6л	90^0	0	$-(l_{6л} + l_{5л})$	$-q_{6л}$
Ф'	6л-7л	90^0	0	0	$-q_{7л}$
Г'	7л-8л	0	0	$-(l_{8л} + l_{7л})$	$-q_{8л}$

Таблица 2 – Параметры кинематических пар правого манипулятора

пара	звенье	параметры			
		Θ_i	α_i	S_i	Φ_i
К	0-1	0	$-l_{1r}/2$	$-(l_{1в} + d_{вп})$	$-q_1$
А	1-2п	90^0	$-l_{2пr}$	$-l_{2пв}$	$q_{2п}$
В	2п-3п	0	$-l_{3п}$	0	$180 - q_3$
С	3п-4п	90^0	0	0	$90^0 - q_4$
Д	4п-5п	90^0	0	$-(l_4 + l_5)$	$-q_5$
Е	5п-6п	90^0	0	0	$-q_6$
Ф	6п-7п	0	0	$-(l_6 + l_7)$	$-q_7$

Матрица $T^0_{8л}$ равна произведению матриц перехода М:

$$T^0_{8л} = M^0_1 * M^1_2 * M^2_3 * M^3_4 * M^4_5 * M^5_6 * M^6_7 * M^7_8 =$$

$$= \begin{bmatrix} cq_{1л} & sq_{1л} & 0 & -\frac{l_{1г}}{2} * cq_{1л} \\ -sq_{1л} & cq_{1л} & 0 & \frac{l_{1г}}{2} * sq_{1л} \\ 0 & 0 & 1 & -(l_{1в} + d_{вл}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} cq_{2л} & sq_{2л} & 0 & -l_{2г} * cq_{2л} \\ -sq_{2л} & cq_{2л} & 0 & l_{2г} * sq_{2л} \\ 0 & 0 & 1 & -l_{2лв} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} sq_{3л} & 0 & cq_{3л} & 0 \\ -cq_{3л} & 0 & -sq_{3л} & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -(l_{4л} + q_{4л}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} cq_{5л} & 0 & -sq_{5л} & 0 \\ -sq_{5л} & 0 & -cq_{5л} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} cq_{6л} & 0 & -sq_{6л} & 0 \\ -sq_{6л} & 0 & -cq_{6л} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -(l_{6л} + l_{5л}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} cq_{7л} & 0 & -sq_{7л} & 0 \\ -sq_{7л} & 0 & -cq_{7л} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} cq_{8л} & sq_{8л} & 0 & 0 \\ -sq_{8л} & -sq_{8л} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -(l_{8л} + l_{7л}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

В формуле (2) li и di – геометрические параметры манипулятора, sq и cq – это $\sin q$ и $\cos q$.

Преобразование матриц приведёт к выражению матрицы перехода от системы координат, связанной с левым схватом, к базовой системе координат:

$$T^0_{8л} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где: $m_{11} = cq_{8л} * \{sq_{7л} * \{cq_{5л} * (cq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л})) + sq_{5л} * \{cq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л})\}\} + cq_{6л} * cq_{7л} * \{cq_{5л} * (cq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л})) - sq_{5л} * \{cq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л})\}\}\} + sq_{6л} * sq_{8л} * \{cq_{5л} * (cq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л})) - sq_{5л} * \{cq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л})\}\}\};$

$m_{12} = sq_{8л} * \{sq_{7л} * \{cq_{5л} * (cq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л})) + sq_{5л} * \{cq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л})\}\} + cq_{6л} * cq_{7л} * \{cq_{5л} * (cq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л})) - sq_{5л} * \{cq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л})\}\}\} + cq_{7л} * \{cq_{5л} * (cq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л})) + sq_{5л} * \{cq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л})\}\}\} - sq_{5л} * \{cq_{3л} * (cq_{1л} * sq_{2л} + cq_{2л} * sq_{1л}) - sq_{3л} * (cq_{1л} * cq_{2л} - sq_{1л} * sq_{2л})\}\};$

$$\begin{aligned}
& cq_{6n} \cdot sq_{7n} \cdot \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})) - \\
& sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})\}\} + \\
& sq_{6n} \cdot sq_{8n} \cdot \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})) - \\
& sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})\}\};
\end{aligned}$$

$$m_{13} = m_{23} = m_{31} = m_{32} = m_{33} = m_{41} = m_{42} = m_{43} = 0; m_{34} = -d_{B1} - l_{1B} - l_{2nB};$$

$$m_{44} = 1;$$

$$\begin{aligned}
& m_{14} = \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})) + \\
& sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})\}\} \cdot (l_{5n} + l_{6n}) - (l_{4n} \\
& + q_{4n}) \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})\} - (cq_{1n} \cdot l_{1r})/2 - \\
& (l_{7n} + l_{8n}) \cdot \{cq_{7n} \cdot \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + \\
& cq_{2n} \cdot sq_{1n})) + sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})\} - \\
& cq_{6n} \cdot sq_{7n} \cdot \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})) - \\
& sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})\}\} - cq_{1n} \cdot cq_{2n} \cdot l_{2nr} \\
& + l_{2nr} \cdot sq_{1n} \cdot sq_{2n};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& m_{21} = sq_{6n} \cdot sq_{8n} \cdot \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + \\
& cq_{2n} \cdot sq_{1n})) + sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})\} - \\
& cq_{8n} \cdot \{sq_{7n} \cdot \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})) - \\
& sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})\}\} - \\
& cq_{6n} \cdot cq_{7n} \cdot \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})) + \\
& sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})\}\};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& m_{22} = sq_{6n} \cdot sq_{8n} \cdot \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + \\
& cq_{2n} \cdot sq_{1n})) + sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})\} - \\
& cq_{7n} \cdot \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})) - \\
& sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})\}\} - \\
& cq_{6n} \cdot sq_{7n} \cdot \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})) + \\
& sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})\} - \\
& sq_{8n} \cdot \{sq_{7n} \cdot \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})) - \\
& sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})\}\} - \\
& cq_{6n} \cdot cq_{7n} \cdot \{cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})) + \\
& sq_{5n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})\}\};
\end{aligned}$$

Определим положение схвата правого манипулятора в общем виде:

$$\vec{r}_{mn}^0 = T_{7n}^0 * \vec{r}_{mn}^7, \quad (4)$$

$$\text{где } T_{7n}^0 = M_1^0 * M_2^1 * M_3^2 * M_4^3 * M_5^4 * M_6^5 * M_7^6 =$$

$$= \begin{bmatrix} cq_1 & sq_1 & 0 & -l_{1r}/2 * cq_1 \\ -sq_1 & cq_1 & 0 & l_{1r}/2 * sq_1 \\ 0 & 0 & 1 & -(l_{1B} + d_{BП}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} cq_{2n} & 0 & -sq_1 & -l_{1r}/2 * cq_1 \\ sq_{2n} & cq_{2n} & cq_{2n} & -l_{2Пr} * sq_{2n} \\ 0 & 1 & 0 & -l_{2ПB} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -cq_{3n} & -sq_{3n} & 0 & l_{3n} * cq_{3n} \\ sq_{3n} & -cq_{3n} & 0 & -l_{3n} * sq_{3n} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} sq_{4n} & 0 & cq_{4n} & 0 \\ cq_{4n} & 0 & -sq_{4n} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} cq_{5n} & 0 & -sq_{5n} & 0 \\ -sq_{5n} & 0 & -cq_{5n} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -(l_{4n} + l_{5n}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} cq_{6n} & 0 & -sq_{6n} & 0 \\ -sq_{6n} & 0 & -cq_{6n} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} cq_{7n} & sq_{7n} & 0 & 0 \\ -sq_{7n} & cq_{7n} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -(l_{6n} + l_{7n}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Преобразование матриц приведёт к выражению матрицы перехода от системы координат, связанной с правым схватом, к базовой системе координат:

$$T^0_{7n} = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & n_{14} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & n_{24} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} & n_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

где: $n_{11} = cq_{7n} * \{cq_{6n} * \{sq_{5n} * (cq_1 * sq_1 - cq_{2n} * sq_1) - cq_{5n} * \{cq_{4n} * (sq_{3n} * (cq_1 * cq_{2n} + sq_1 * sq_{2n}) + cq_{2n} * cq_{3n} * sq_1) + sq_{4n} * \{cq_{3n} * (cq_1 * cq_{2n} + sq_1 * sq_{2n}) - cq_{2n} * sq_1 * sq_{3n}\}\}\} + sq_{6n} * \{cq_{4n} * (cq_{3n} * (cq_1 * cq_{2n} + sq_1 * sq_{2n}) - cq_{2n} * sq_1 * sq_{3n}) - sq_{4n} * \{sq_{3n} * (cq_1 * cq_{2n} + sq_1 * sq_{2n}) + cq_{2n} * cq_{3n} * sq_1\}\}\} - sq_{7n} * \{cq_{5n} * (cq_1 * sq_1 - cq_{2n} * sq_1) + sq_{5n} * \{cq_{4n} * (sq_{3n} * (cq_1 * cq_{2n} + sq_1 * sq_{2n}) + cq_{2n} * cq_{3n} * sq_1) + sq_{4n} * \{cq_{3n} * (cq_1 * cq_{2n} + sq_1 * sq_{2n}) - cq_{2n} * sq_1 * sq_{3n}\}\}\}$;

$n_{12} = cq_{7n} * \{cq_{5n} * (cq_1 * sq_1 - cq_{2n} * sq_1) + sq_{5n} * \{cq_{4n} * (sq_{3n} * (cq_1 * cq_{2n} + sq_1 * sq_{2n}) + cq_{2n} * cq_{3n} * sq_1) + sq_{4n} * \{cq_{3n} * (cq_1 * cq_{2n} + sq_1 * sq_{2n}) - cq_{2n} * sq_1 * sq_{3n}\}\}\} + sq_{7n} * \{cq_{6n} * \{sq_{5n} * (cq_1 * sq_1 - cq_{2n} * sq_1) - cq_{5n} * \{cq_{4n} * (sq_{3n} * (cq_1 * cq_{2n} + sq_1 * sq_{2n})$

$$n_{32} = cq_{7n} \cdot sq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot cq_{4n} - sq_{3n} \cdot sq_{4n}) - sq_{7n} \cdot sq_{6n} \cdot (cq_{3n} \cdot sq_{4n} + cq_{4n} \cdot sq_{3n}) + cq_{5n} \cdot cq_{6n} \cdot (cq_{3n} \cdot cq_{4n} - sq_{3n} \cdot sq_{4n});$$

$$n_{33} = cq_{5n} \cdot sq_{6n} \cdot (cq_{3n} \cdot cq_{4n} - sq_{3n} \cdot sq_{4n}) - cq_{6n} \cdot (cq_{3n} \cdot sq_{4n} + cq_{4n} \cdot sq_{3n});$$

$$n_{34} = (l_{6n} + l_{7n}) \cdot cq_{6n} \cdot (cq_{3n} \cdot sq_{4n} + cq_{4n} \cdot sq_{3n}) - cq_{5n} \cdot sq_{6n} \cdot (cq_{3n} \cdot cq_{4n} - sq_{3n} \cdot sq_{4n}) - l_{1B} - l_{2nB} - l_{3n} \cdot sq_{3n} - (l_{4n} + l_{5n}) \cdot (cq_{3n} \cdot sq_{4n} + cq_{4n} \cdot sq_{3n}) - d_{вн}; \quad n_{41} = n_{42} = n_{43} = 0; \quad n_{44} = 1.$$

$$\text{Векторы } \bar{r}_{ml}^8 = [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T \text{ и } \bar{r}_{mn}^7 = [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T.$$

Тогда для левого манипулятора вектор, определяющий положение центра схвата в базовой системе координат:

$$\bar{r}_{ml}^0 = T_{8l}^0 * \bar{r}_{ml}^8 = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11}^j \\ r_{21}^j \\ r_{31}^j \\ 1 \end{bmatrix} =$$

$$= [r_{11}^j \ r_{12}^j \ r_{13}^j \ 1]^T,$$

$$\text{где: } r_{11}^j = cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})) + sq_{5n} \cdot cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) \cdot (l_{5n} + l_{6n}) - (l_{4n} + q_{4n}) \cdot cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) - (cq_{1n} \cdot l_{1r})/2 - (l_{7n} + l_{8n}) \cdot cq_{7n} \cdot cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})) + sq_{5n} \cdot cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) - cq_{6n} \cdot sq_{7n} \cdot cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})) - sq_{5n} \cdot cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) - sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) - cq_{1n} \cdot cq_{2n} \cdot l_{2nr} + l_{2nr} \cdot sq_{1n} \cdot sq_{2n};$$

$$r_{12}^j = (l_{7n} + l_{8n}) \cdot cq_{7n} \cdot cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})) - sq_{5n} \cdot cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + cq_{6n} \cdot sq_{7n} \cdot cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n})) + sq_{5n} \cdot cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + (l_{4n} + q_{4n}) \cdot cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + (l_{1r} \cdot sq_{1n})/2 - cq_{5n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n})) - sq_{5n} \cdot cq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot cq_{2n} - sq_{1n} \cdot sq_{2n}) + sq_{3n} \cdot (cq_{1n} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot sq_{1n}) \cdot (l_{5n} + l_{6n}) + cq_{1n} \cdot l_{2nr} \cdot sq_{2n} + cq_{2n} \cdot l_{2nr} \cdot sq_{1n}; \quad r_{13}^j = -d_{вл} - l_{1B} - l_{2nB}; \quad r_{14}^j = 1.$$

Для правого манипулятора вектор, определяющий положение центра схвата в базовой системе координат:

$$\bar{r}^0_{\text{МП}} = T^0_{7\Pi} * \bar{r}^7_{\text{МП}} = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & n_{14} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & n_{24} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} & n_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} *$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11}^{\Pi} \\ r_{21}^{\Pi} \\ r_{31}^{\Pi} \\ 1 \end{bmatrix} = [r_{11}^{\Pi} \quad r_{12}^{\Pi} \quad r_{13}^{\Pi} \quad 1]^T, \quad \text{где:}$$

$$r_{11}^{\Pi} = \{sq_{6n} \cdot \{sq_{5n} \cdot (cq_1 \cdot sq_1 - cq_{2n} \cdot sq_1) - cq_{5n} \cdot \{cq_{4n} \cdot (sq_{3n} \cdot (cq_1 \cdot cq_{2n} + sq_1 \cdot sq_{2n}) + cq_{2n} \cdot cq_{3n} \cdot sq_1) + sq_{4n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_1 \cdot cq_{2n} + sq_1 \cdot sq_{2n}) - cq_{2n} \cdot sq_1 \cdot sq_{3n}\} - cq_{6n} \cdot \{cq_{4n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_1 \cdot cq_{2n} + sq_1 \cdot sq_{2n}) - cq_{2n} \cdot sq_1 \cdot sq_{3n}) - sq_{4n} \cdot \{sq_{3n} \cdot (cq_1 \cdot cq_{2n} + sq_1 \cdot sq_{2n}) + cq_{2n} \cdot cq_{3n} \cdot sq_1\}\} \cdot (l_{6n} + l_{7n}) - (cq_1^2 \cdot l_{1r})/2 - (cq_1 \cdot l_{1r})/2 + \{cq_{4n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_1 \cdot cq_{2n} + sq_1 \cdot sq_{2n}) - cq_{2n} \cdot sq_1 \cdot sq_{3n}) - sq_{4n} \cdot \{sq_{3n} \cdot (cq_1 \cdot cq_{2n} + sq_1 \cdot sq_{2n}) + cq_{2n} \cdot cq_{3n} \cdot sq_1\}\} \cdot (l_{4n} + l_{5n}) - l_{2nr} \cdot sq_1 \cdot sq_{2n} + cq_{3n} \cdot l_{3n} \cdot (cq_1 \cdot cq_{2n} + sq_1 \cdot sq_{2n}) - cq_{2n} \cdot l_{3n} \cdot sq_1 \cdot sq_{3n}\};$$

$$r_{12}^{\Pi} = (l_{1r} \cdot sq_1)/2 + \{cq_{4n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_1 \cdot sq_{2n} - cq_{2n} \cdot sq_1) - cq_1 \cdot cq_{2n} \cdot sq_{3n}) - sq_{4n} \cdot \{sq_{3n} \cdot (cq_1 \cdot sq_{2n} - cq_{2n} \cdot sq_1) + cq_1 \cdot cq_{2n} \cdot cq_{3n}\} \cdot (l_{4n} + l_{5n}) - (l_{6n} + l_{7n}) \cdot \{sq_{6n} \cdot \{sq_{5n} \cdot (sq_1^2 + cq_1 \cdot cq_{2n}) + cq_{5n} \cdot \{cq_{4n} \cdot (sq_{3n} \cdot (cq_1 \cdot sq_{2n} - cq_{2n} \cdot sq_1) + cq_1 \cdot cq_{2n} \cdot cq_{3n}) + sq_{4n} \cdot \{cq_{3n} \cdot (cq_1 \cdot sq_{2n} - cq_{2n} \cdot sq_1) - cq_1 \cdot cq_{2n} \cdot sq_{3n}\}\} + cq_{6n} \cdot \{cq_{4n} \cdot (cq_{3n} \cdot (cq_1 \cdot sq_{2n} - cq_{2n} \cdot sq_1) - cq_1 \cdot cq_{2n} \cdot sq_{3n}) - sq_{4n} \cdot \{sq_{3n} \cdot (cq_1 \cdot sq_{2n} - cq_{2n} \cdot sq_1) + cq_1 \cdot cq_{2n} \cdot cq_{3n}\}\} - cq_1 \cdot l_{2nr} \cdot sq_{2n} + (cq_1 \cdot l_{1r} \cdot sq_1)/2 + cq_{3n} \cdot l_{3n} \cdot (cq_1 \cdot sq_{2n} - cq_{2n} \cdot sq_1) - cq_1 \cdot cq_{2n} \cdot l_{3n} \cdot sq_{3n}\};$$

$$r_{13}^{\Pi} = (l_{6n} + l_{7n}) \cdot \{cq_{6n} \cdot (cq_{3n} \cdot sq_{4n} + cq_{4n} \cdot sq_{3n}) - cq_{5n} \cdot sq_{6n} \cdot (cq_{3n} \cdot cq_{4n} - sq_{3n} \cdot sq_{4n})\} - l_{1b} - l_{2пв} - l_{3n} \cdot sq_{3n} - (l_{4n} + l_{5n}) \cdot (cq_{3n} \cdot sq_{4n} + cq_{4n} \cdot sq_{3n}) - d_{вп}; \quad r_{14}^{\Pi} = 1.$$

Таким образом, прямая задача кинематики решена и положения схватов левого и правого манипуляторов могут быть определены для любой точки рабочего пространства.

Список литературы:

1. The Database on Nuclear Power Reactors. 2011- <http://www.iaea.org/pris/>.
2. Пат. 129041 РФ, МПК5 В25J 1/00 Двухрукый манипулятор / Логвинов В.И., заявитель и патентообладатель Логвинов В.И. - № 2012150667/02; заявл. 12.11.12; опубл. 20.06.13, Бюл. № 17. 2 с.
3. Логвинов В.И., Овсянников А.Ю. Анализ технологических и технических требований к мобильному роботу для атомной промышленности // Современные направления теоретических и прикладных исследований: Сб. трудов междунар. науч.- практ. конф. (Одесса, 19-30 марта 2013 г.). Т.3. Изд. Купrienko СВ, 2013.
4. Хомченко В.Г., Соломин В.Ю. Мехатронные и робототехнические системы. Уч. пособ. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008.

СИНТЕЗ РОБАСТНОЙ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОЙ СИСТЕМЫ С НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ НА ВХОДЕ РЕГУЛЯТОРА

Лубенцова Е.В., канд. техн. наук, доц.

Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ

Промышленный стандартный ПИД-регулятор достаточно просто настраивается для работы с конкретным объектом и обеспечивает удовлетворительную стабилизацию регулируемого параметра при незначительных его отклонениях от заданной величины. Однако при наличии внешних помех (возмущений) и погрешностей измерения процесс настройки ПИД-регулятора становится более трудоемким. Настройка регулятора на высокую чувствительность к помехам часто приводит к необоснованным перемещениям регулирующего органа и, как следствие, к недопустимым колебаниям регулируемой величины с возможным выходом за границу устойчивости. С другой стороны, настройка регулятора на высокую чувствительность к заданию может приводить к замедлению реакции на возникающие помехи. Если на входе регулятора установить зону нечувствительности (ЗН), то чувствительность к заданию практически не изменится, а чувствительность к помехам уменьшится без влияния на чувствительность к заданию. Для того, чтобы с вводом ЗН точность регулирования не снижалась, предлагается аппроксимировать ЗН непрерывной нелинейной функцией [1].

В данной работе рассмотрена задача ослабления внешней помехи, содержащейся в измеряемом сигнале, с помощью корректирующего звена с нелинейной функцией, аппроксимирующей релейную характеристику с ЗН [1]:

$$\varepsilon^*(\varepsilon, \lambda) = \frac{M}{1 + \exp[-\lambda(\varepsilon - a)]} - \frac{M}{1 + \exp[\lambda(\varepsilon + a)]}, \quad (1)$$

где ε^* – сигнал на выходе корректирующего звена; M – максимальная величина выходного сигнала звена; λ – коэффициент усиления линейного участка аппроксимирующей характеристики; $2a$ – зона нечувствительности; ε – сигнал рассогласования между измеряемым сигналом и сигналом задания.

Как видно из рис. 1, имеет место совпадение линейных зон характеристик и уровней насыщения сигналов на выходе НЗ при асимптотической сходимости сигналов к нулю с темпами, задаваемыми коэффициентами аппроксимированного (линеаризованного) звена. Используя идею линеаризации, получим выражения для коэффициентов

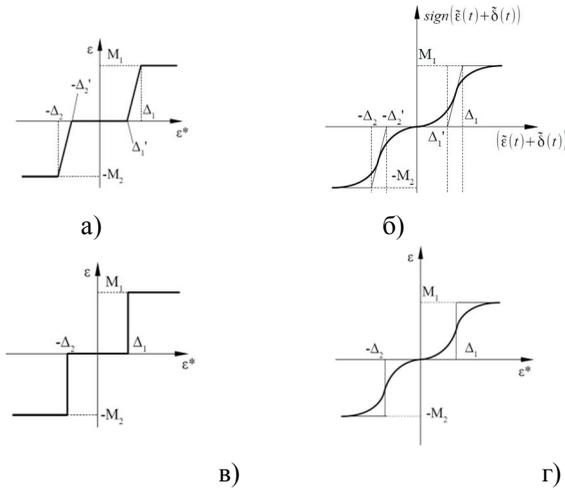


Рисунок 1 – Характеристики нелинейного звена с зоной нечувствительности: а), в) исходная; б), г) аппроксимированная

усиления линейных зон аппроксимирующей функции. Для этого рассмотрим вычисление средней составляющей сигнала рассогласования $\varepsilon_c(t)$ на выходе нелинейного звена. Предполагаем, что измеряемый сигнал на входе НЗ имеет вид $\varepsilon^*(t) = (\varepsilon(t) + \delta(t))$ ($\varepsilon(t)$ – сигнал рассогласования между заданным значением $g(t)$ и текущим значением переменной $x(t)$, $\delta(t)$ – сигнал помехи).

Параметры нелинейного звена, а также переменные $g(t)$ и $x(t)$, предполагаются постоянными либо медленно меняющимися во времени, поэтому при вычислении $\varepsilon_c(t)$ их можно считать, по аналогии с [2], постоянными на периоде колебания помехи. Предположим, что действующая помеха $\delta(t)$ на одном периоде колебаний, имеет треугольную форму сигнала:

$$\delta(t) = \begin{cases} \frac{2h\omega}{\pi}t, & 0 \leq t \leq \frac{\pi}{2\omega}; \\ 2h - \frac{2h_1\omega}{\pi}t, & \frac{\pi}{2\omega} \leq t \leq \frac{3\pi}{2\omega}; \\ 4h + \frac{2h_1\omega}{\pi}t, & \frac{3\pi}{2\omega} \leq t \leq \frac{2\pi}{\omega}, \quad i = \overline{1, p}. \end{cases} \quad (1)$$

где ω – частота колебаний сигнала; $h = const = 2\Delta$ ($\Delta = \max(\Delta_1, \Delta_2)$), Δ_1, Δ_2 – амплитуды сигналов на входе АНФ, при которых выходной сигнал U выходит на границы M_1, M_2 .

Для решения поставленной задачи воспользуемся аппроксимацией релейных функций (рис.1) нелинейными аппроксимирующими непрерывными функциями (АНФ), имеющими вид, показанный на рис. 1, б, г. Рассмотрим вычисление средней составляющей сигнала $\varepsilon_c(t)$ на выходе звена с АНФ для нелинейности «усилитель с зоной нечувствительности», представленной на рис. 2. Для данного вида нелинейности и сигнала помехи $\delta(t)$ треугольной формы на периоде колебаний получим

$$\varepsilon_c(t) = -\frac{\omega}{2\pi} \int_t^{t+\frac{2\pi}{\omega}} \text{sign}(\tilde{g}(t) - \tilde{x}(t) + \delta(\tau)) d\tau = -\frac{M_1 - M_2}{2} - \frac{k_1}{4h} (\Delta_1'^2 - \Delta_1^2) - \frac{k_2}{4h} (\Delta_2'^2 - \Delta_2^2) + \frac{M_1 \Delta_1'}{2h} - \frac{M_2 \Delta_2'}{2h} - \frac{M_1 + M_2}{2h} (\tilde{g}(t) - \tilde{x}(t)), \quad (2)$$

где $k_1 = \frac{M_1}{\Delta_1' - \Delta_1}$, $k_2 = \frac{M_2}{\Delta_2' - \Delta_2}$ – коэффициенты усиления линейных зон;

$M_1, M_2 = const > 0$ – максимальные значения выходного сигнала звена;

$\tilde{g}(t), \tilde{x}(t)$ – медленно меняющиеся переменные.

На рис. 2 показана качественная картина составляющих при треугольной форме сигнала помехи.

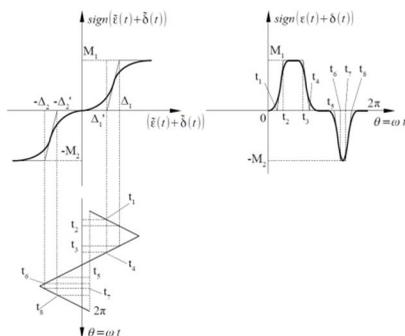


Рисунок 2 – Качественная картина выходного сигнала АНФ-звена при действии помехи треугольной формы

Значение средней составляющей сигнала $\varepsilon_c(t)$ для другого вида нелинейности – «зона нечувствительности», изображенной на рис. 1, в, и сигнала треугольной формы (1) получено в виде

$$\varepsilon_c(t) = -\frac{M_1 - M_2}{2} - \frac{\Delta_2}{2h} M_2 + \frac{\Delta_1}{2h} M_1 - k(\tilde{g}(t) - \tilde{x}(t)), \quad (3)$$

где $k = \frac{M_1 + M_2}{2h}$ – коэффициент усиления линейных зон.

Согласно (2) и (3) средняя составляющая сигнала $\varepsilon_c(t)$ для медленно меняющегося сигнала в данной нелинейной системе с АНФ имеет плавный вид вместо первоначального скачкообразного за счет сглаживающего влияния АНФ, включающей участок с ЗН. Это является положительным эффектом для дальнейшей обработки сигнала. Так, например, взятие производной для настройки регулятора после аппроксимированной ЗН не обнуляет постоянную составляющую сигнала и дает возможность оценивать производную во всей области изменения сигнала даже при медленно меняющихся возмущающих и задающих сигналах.

Если принять для ослабления помехи в качестве корректируемых настроечных параметров коэффициенты усиления линейных зон k_1, k_2, k и величину зоны нечувствительности Δ_1, Δ_2 , то необходимо учитывать, что для идеальной зоны нечувствительности k_i и Δ_i не связаны между собой. Для нелинейности «усилитель с зоной нечувствительности» k_1, k_2, Δ_1 и Δ_2 взаимосвязаны. Увеличение ЗН в случае увеличения дисперсии помех (шума) на входе НЗ обеспечивает, как показано результатами эксперимента (рис. 4), ослабление помехи. Но при этом увеличивается время регулирования и не устраняется статическая ошибка в течение приемлемого времени регулирования.

Исследования проведены в системе автоматической стабилизации температуры в биореакторе со стандартным ПИД-регулятором. Настройка параметров регулятора производится, исходя из соотношений максимальной степени устойчивости системы [3]. Исследования проводились при следующих значениях параметров АНФ: $M = 10$; $\lambda = 0,4$; $\alpha = 0$; 5 ; 10 ; 15 .

Результаты экспериментальных исследований по оценке возможностей ПИД-регулятора ($K_n = 5,95$; $K_n = 0,16 \text{ мин}^{-1}$; $K_d = 126,59 \text{ мин}$) в САУ с различной зоной нечувствительности и коэффициенте $\lambda = 0,4$ при действии возмущения на регулируемую величину (дисперсия помехи $\sigma_{\text{вх}}^2 = 5$) представлены на рис. 3. Установлено, что область помехозащищенной работы системы стабилизации с

аппроксимированной ЗН на входе регулятора расширяется. Так, при изменении дисперсии помехи в измеряемом сигнале от 0,2 до 5 среднее квадратическое отклонение (СКО) на выходе системы находится в пределах от 0,04 до 0,007. В то время как в системе с жесткой ЗН СКО находится в пределах от 0,04 до 0,2, т.е. робастность системы с жесткой ЗН к действию возмущений в 28,5 раза ниже. Казалось бы, при увеличении зоны нечувствительности расширяется диапазон помехозащищенной работы нелинейной системы.

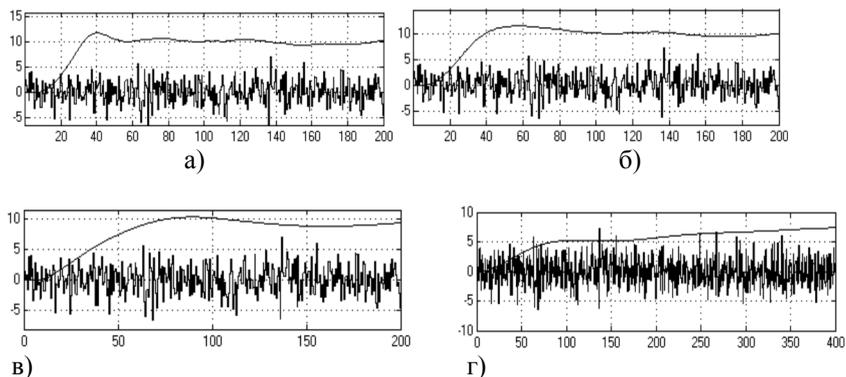


Рисунок 3 – Переходные процессы в САУ с нелинейным звеном на входе ПИД-регулятора при дисперсии помехи $\sigma_{вх}^2 = 5$ и коэффициенте $\lambda = 0,4$: а) $\alpha = 0$, $\sigma_{вых} = 0,22$; б) $\alpha = 5$, $\sigma_{вых} = 0,17$; в) $\alpha = 10$, $\sigma_{вых} = 0,05$; г) $\alpha = 15$, $\sigma_{вых} = 0,01$

При большой ЗН образовавшееся рассогласование не всегда достаточно быстро может устранить интегральное звено ПИД-регулятора. Выходной сигнал регулятора при наличии рассогласования на входе регулятора нарастает со временем пропорционально коэффициенту $K_{и}$. Но значение этого коэффициента мало, так как его значение, как и другие коэффициенты регулятора, выбирается, исходя из соображений устойчивости. Это приводит к тому, что регулятор стремится кустранению образовавшегося рассогласования, однако скорость уменьшения рассогласования настроенного ПИД-регулятора недостаточна, поэтому время переходного процесса недопустимо затягивается (рис. 3в,г). Так как значение коэффициента $K_{и}$ недостаточно для быстрого возвращения объекта управления в заданное состояние, в определенных моменты времени необходимо увеличивать его значение. Переходный процесс в системе с ПИД-регулятором

с алгоритмом дополнительной компенсации рассогласования, вызванного большой зоной нечувствительности, спомощью параметров интегрирующего звена, показан на рис. 4.

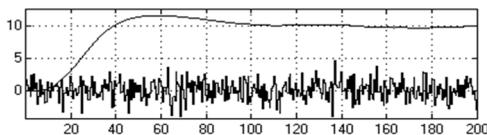


Рисунок 4 – Переходный процесс в системе с ПИД-регулятором при использовании алгоритма дополнительной компенсации интегрирующим звеном при $K_u = 1,08 \text{ мин}^{-1}$

Таким образом, в данной работе предложен новый метод подавления шумов, основанный на включении на входе регулятора динамического звена с характеристикой, аппроксимирующей характеристику «зона нечувствительности». Практическая польза полученных результатов заключается в том, что нелинейность типа «нечувствительность», реализуемая на основе АНФ, обеспечивает исключение влияния помех в измеряемых полезных сигналах на качество переходного процесса на уровне $\Delta < (1 \dots 25) \% \max[g(t)]$ и ослабление помех при $\Delta \geq 25 \% \max[g(t)]$ (скачкообразное задающее воздействие) и сходимостью ошибки к нулю в переходном

процессе, т.е. $\lim_{t \rightarrow \infty} \epsilon(t) \rightarrow 0$. Качественный анализ процессов в системе с нелинейностью на входе ПИД-регулятора позволил провести анализ соотношения коэффициентов аппроксимирующего звена, что облегчает процедуру настройки, обеспечивающей помехозащищенность системы.

Список литературы:

1. Лубенцов В.Ф. Исследование динамики систем с непрерывными аппроксимирующими функциями управления // Наука и технологии. М.: РАН, 2005. С. 469-476.
2. Кочетков С.А., Уткин В.А. Инвариантность в системах с неидеальными релейными элементами // Управление большими системами. 2009. 27. С. 117-168.
3. Загарий Г.И., Шубладзе А.М. Синтез систем управления на основе критерия максимальной степени устойчивости: Библиотека по автоматике. М.: Энергоатомиздат, 1988. Вып. 669. 104 с.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ АПЕРИОДИЧЕСКИМ ЗВЕНОМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С ЗАПАЗДЫВНИЕМ

Магергут В.З., д-р техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Ширяев В.К., технический директор

ЗАО «Краснов»,

г. Новомосковск, Тульской области

При решении многих задач автоматизации промышленных объектов требуется знание их параметров. Это необходимо, например, для расчета оптимальных настроек регуляторов, автоподстройки регуляторов в работающих АСР, расчета качественных показателей работы систем, расчета разомкнутых систем управления по выводу объектов на заданный технологический режим работы и др. Известно достаточно много методов идентификации параметров промышленных объектов, см., например, [1-5], но, к сожалению, методы разбросаны по многочисленным литературным источникам, отсутствует их систематизация по тем или иным видам аппроксимации объектов, не проанализированы их достоинства и недостатки. В этом плане в докладе сделана попытка восполнить этот пробел, причем, решение задачи сделано для случая аппроксимации объекта апериодическим звеном первого порядка с запаздывающим аргументом. В качестве исходной информации для идентификации параметров объекта используется его кривая разгона, или ее часть, в том числе полученная, например, в процессе эксплуатации позиционных систем регулирования, либо амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) объекта по интересующему каналу.

Иначе, идентифицируются параметры: коэффициент передачи объекта – K , постоянная времени объекта – T и запаздывание – τ при аппроксимации объекта звеном с передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{K}{1+Ts} e^{-\tau s}. \quad (1)$$

Идентификация параметров объекта по АФЧХ

1. Имеется АФЧХ объекта, представляющая собой полуокружность в четвертом квадранте комплексной плоскости (рис.1). В этом случае коэффициент передачи объекта K равен диаметру полуокружности, а постоянную времени объекта T удобно находить при фазе равной

$-\pi/4 = -45^\circ$ поскольку в этом случае $T = 1/\omega_2$, где ω_2 – частота при данной фазе [1, С.53-54].

Для любой частоты, зная значения модуля мнимой части АФЧХ и ее действительную часть, постоянная времени объекта определяется как [5, С.134-136]:

$$T = \frac{|Im(\omega)|}{\omega Re(\omega)} \quad (2)$$

Поскольку при фазе равной $-\pi/4 = -45^\circ$ $|Im(\omega_2)| = Re(\omega_2) = K/2$, то T определяется по названной выше формуле:

$$T = 1/\omega_2. \quad (3)$$

В данном случае запаздывание в объекте $\tau = 0$.

2. Если звено содержит запаздывающий аргумент τ , то это приводит к тому, что каждый вектор АФЧХ звена без запаздывания при частоте ω_i поворачивается по часовой стрелке на угол α_i равный:

$$\alpha_i = \tau \omega_i. \quad (3)$$

Тогда, на полученной экспериментально АФЧХ берем точку с частотой ω_i и поворачиваем вектор амплитуды в этой точке до полуокружности, определяя тем самым угол α_i и частоту ω_i на АФЧХ без запаздывания (рис. 1).

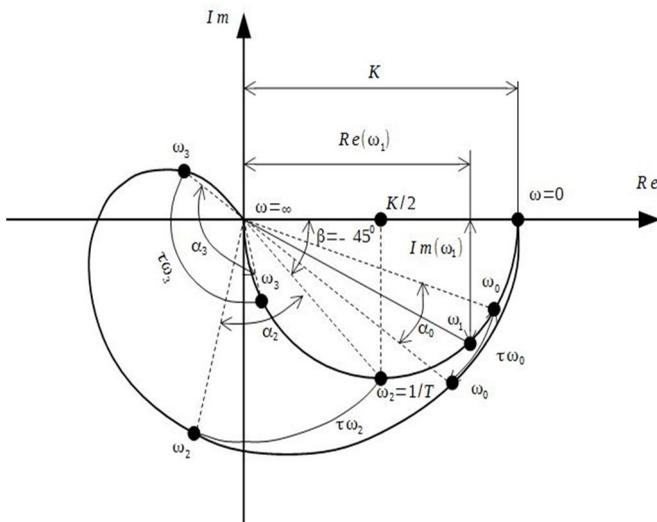


Рисунок 1 – К определению параметров объекта: K , T и τ по АФЧХ для звена с передаточной функцией вида (1)

Отсюда, зная угол поворота и текущую частоту, находим запаздывание τ . Если эта точка с частотой ω_2 при фазе $-\pi/4 = -45^\circ$, то

$$\begin{aligned} T &= 1/\omega_2, \text{ а} \\ \tau &= \alpha_2/\omega_2 = \alpha_2 T \end{aligned} \quad (4)$$

Для уточнения значения τ делаем ряд расчетов, например три, для различных значений ω_i . Если $\tau_1 \neq \tau_2 \neq \tau_3$, то принимаем за τ их среднее значение, то есть (рис. 1):

$$\tau = \frac{1}{3}(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3).$$

Идентификация параметров объекта по кривой разгона

Как известно, для звена с передаточной функцией вида (1) кривая разгона описывается уравнением вида:

$$y(t) = K \left(1 - e^{-\frac{(t-\tau)}{T}} \right) a(t), \quad t \geq \tau, \quad (7)$$

где $a(t)$ – скачкообразное воздействие величиной a .

Имея кривую разгона такого звена можно непосредственно определить значения интересующих нас параметров [3]. Время запаздывания τ – это интервал времени от момента подачи скачка до момента, когда начинает нарастать сигнал $y(t)$ (рис.2). Следовательно, в течение этого интервала времени $y(t) = 0$. Постоянная времени T – это величина подкасательной для касательной, проведенной из точки начала нарастания сигнал $y(t)$ до пересечения с потенциальным значением кривой разгона, то есть до пересечения с $y(\infty)$. Это время приблизительно равно времени достижения кривой разгона 63,2% от её установившегося значения $y(\infty)$.

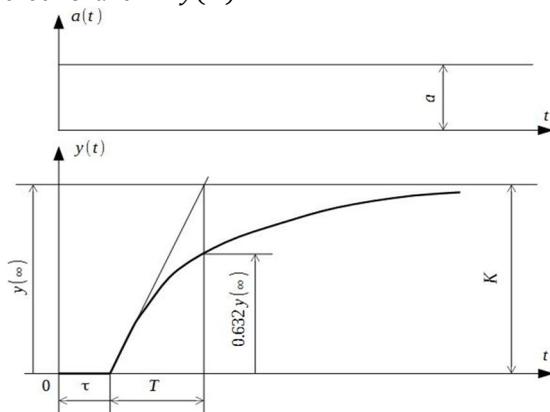


Рисунок 2 – Идентификация по кривой разгона звена (1)

Кроме того, легко показать, что постоянная времени T звена (1) определяется как подкасательная для касательной, проведенной в любой точке кривой разгона (7), от точки касания до точки пересечения касательной с потенциальным значением кривой разгона $y(\infty)$. Из сказанного следует, что все значения таких подкасательных для касательных, проведенных из любой точки кривой разгона (7), имеют одно и то же значение равное постоянной времени T .

Последнее свойство кривой разгона (7) позволяет определять постоянную времени T по фрагменту кривой разгона, зная значения $y(t)$ в двух точках кривой разгона и скорость изменения $y(t)$ в этих точках (рис.3) по формуле [6]:

$$T = \frac{y_0^2 - y_0^1}{y'(A_1) - y'(A_2)}, \quad (8)$$

где значения y_0^1 и y_0^2 понятны из рисунка 3, а в знаменателе стоят соответствующие скорости в точках A_1 и A_2 , равные, соответственно, тангенсам углов α_1 и α_2 наклона подкасательных в точках A_1 и A_2 .

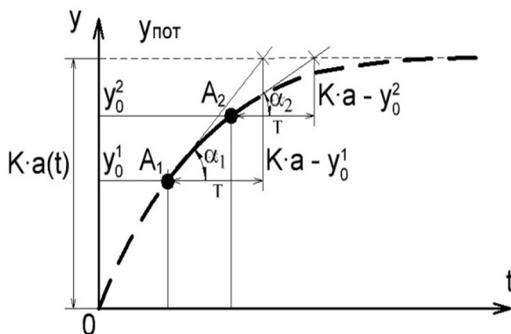


Рисунок 3 – Фрагмент кривой разгона с выделением характеристик точек A_1 и A_2

Такая идентификация особенно полезна, поскольку может проводиться в процессе эксплуатации объекта, а не в результате предварительно снятых его АФЧХ или кривых разгона. В частности, ее можно использовать при создании регуляторов с автоподстройкой и при создании адаптивных АСР. На такую же идентификацию были нацелены и другие работы с участием первого соавтора данного доклада [7,8], однако, там это процедура была более сложной и затратной.

Если имеем S -образную кривую разгона (а это говорит о том, что мы имеем дело с объектом выше первого порядка), то для его аппроксимации звеном вида (1) проводят касательную через точку перегиба этой кривой (рис.4). Далее принимают за время запаздывания τ интервал времени от момента подачи скачка $a(t)$ до момента пересечения касательной с временной осью (при этом общее запаздывание τ складывается из транспортного запаздывания τ_T и переходного – τ_n). За постоянную времени T принимают величину подкасательной между точками пересечения кривой разгона с временной осью и потенциальным значением кривой разгона $y(\infty)$. При этом точность аппроксимации во многом зависит от правильности проведения касательной через точку перегиба S -образной кривой разгона. Для уточнения значения T целесообразно проверить его значение, взяв 63,2% от установившегося значения $y(\infty)$ кривой разгона, и скорректировав при этом наклон касательной.

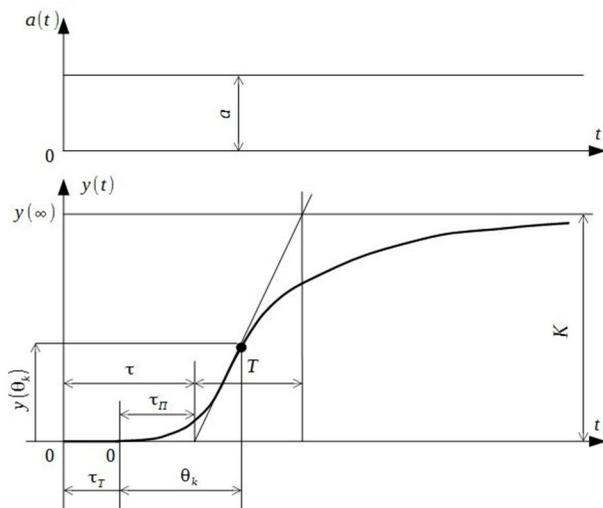


Рисунок 4 – Идентификация звеном (1) S -образной кривой разгона

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 14-41-08016 «Разработка интеллектуальных систем управления сложными технологическими процессами на основе советующих систем с техническим зрением».

Список литературы:

1. Красовский А.А., Поспелов Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. 600 с.
2. Балакирев В.С., Дудников Е.Г., Цирлин А.М. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. М.: Энергия, 1967. 232 с.
3. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. Пер. с польского. М.: Машиностроение, 1974. 328 с.
4. Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами. Под.ред. А.С. Клюева. М.: Энергия, 1977. 400 с.
5. Кубрак А.І., Жученко А.І., Кваско М.З. Комп'ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем: Навч. посіб. К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2004. 424 с.
6. Магергут В.З., Игнатенко В.А. Идентификация параметров апериодического звена по характерным точкам фрагмента кривой разгона // Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Инновационные материалы и технологии». Ч.2. Белгород: Изд-во БГТУ. 2011. С. 6-8.
7. Магергут В.З., Рыбин И.А., Кирюшина О.И. Идентификация параметров объектов позиционного регулирования. Сб. Трудов XXI Междун. научн. конф. «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-21). Т.6. Саратов: СГТУ, 2008. С. 214-217.
8. Кирюшина О.И., Игнатенко В.А., Магергут В.З. Повышение качества позиционного регулирования для нестационарных объектов. Сб. трудов XXII Междун. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-22). Т. 11: Летняя Школа молодых ученых / под общ. ред. д.т.н., проф. В.С. Балакирева; Иваново: изд-во Ивановского гос. хим.-технол. ун-та, 2009. С. 149-151.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ КОЛОННОЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОЛИФЫ

Магергут В.З., д-р техн. наук, проф.,
Шевцов М.Ю., аспирант,
Саблин А.В., студент

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Дубовик Н.С., коммерческий директор
ООО «Ямщик», г. Шебекино

Процесс получения олифы на предприятии ООО «Ямщик» (г. Шебекино Белгородской области) поводится в окислительной колонне (рис.1), представляющей собой цилиндрический вертикальный аппарат диаметром 0,8 метра и высотой порядка 6 метров. Внизу аппарата размещено 14 тепловых электрических нагревательных элемента (ТЭНов), расположенных двумя группами по 7 штук в горизонтальной плоскости друг над другом, а группы перпендикулярны друг к другу. ТЭНы предназначены для первоначального разогрева исходного сырья, как правило, растительного масла, до температуры активного протекания реакции его окисления в кислороде воздуха. Мощность каждого нагревательного элемента составляет 1 кВт. Воздух нагнетается снизу колонны через слой сырья, а его точка подвода расположена несколько выше ТЭНов. Реакция окисления является экзотермической, причем, для удержания требуемого температурного режима в колонне используется внешняя рубашка, расположенная в верхней части колонны, куда подается хладагент. В этом плане, имеет место распределение температуры по высоте колонны, то есть колонна является объектом с распределёнными тепловыми параметрами. Процесс, проводимый в колонне, является периодическим.

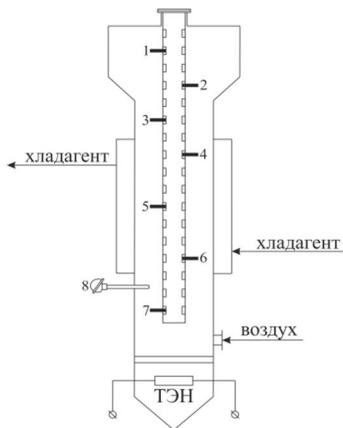


Рисунок 1 – Окислительная колонна

Для производства олифы используют: растительное сырьё – масло, уайт-спирит (нефрас), в

качестве растворителя, и сиккатив (металл переменной валентности) в качестве катализатора. Указанные продукты поступают в бочках, автоцистернах или полиэтиленовых контейнерах, разгружаются на складе и по мере необходимости подаются из накопительных емкостей через мерники на колонну.

Олифа представляет собой продукт окисления растительных масел [1-4], полученный путем продувания воздуха через слой нагретого до температуры 130°С масла с последующим добавлением растворителя и сиккатива. Процесс проводится в две основные стадии: нагрева, когда сырье нагревают от исходной температуры до температуры активного хода реакции, и окисления. В процессе окисления растительных масел кислородом происходят химические реакции, в результате которых вязкость масла повышается в сотни раз. Это явление называют также «уплотнением масла».

В настоящее время полагают, что процесс полимеризации при термическом уплотнении масел протекает по схеме так называемого диенового синтеза Дильса и Альдера, характерного для веществ, имеющих сопряженные двойные связи [1]. Кроме того, следует отметить своеобразный характер протекания кинетики этого процесса. Совершенно неокисленные жиры трудно поддаются действию кислорода [1, стр. 263-264]. В начале контакта кислорода с такими жирами окисление протекает с весьма незначительной скоростью. Этот период действия кислорода, в разных случаях имеющий разную продолжительность, называется индукционным. Его длительность зависит от температуры процесса, наличия специфических веществ, которые могут удлинять его или укорачивать до полного уничтожения.

По истечении некоторого времени скорость окисления масла возрастает. Интенсивность этого процесса может быть разной. Например, подъем кривой тем круче, чем более ненасыщенные жирные кислоты с изолированными двойными связями, входящие в состав ацилглицеринов. В дальнейшем темп окисления начинает замедляться и наконец, скорость процесса достигает максимума. Это второй этап стадии окисления, типичный для автоокисления. Особенно характерна для этого периода неравномерность ускорения окисления. Таким образом, окисление ацилглицеринов масел сначала самоускоряется и, следовательно, этот процесс является автокаталитическим. Поэтому окисление масел часто называют автоокислением. В результате кинетическая кривая скорости окисления приобретает характерную форму более или менее круто расположенной латинской буквы S.

В третьем периоде действия кислорода на ацилглицерины жиров скорость автоокисления некоторое время держится на постоянном уровне, а затем снижается. О достижении заданной вязкости, а она, как говорилось выше, повышается в сотни раз, судят именно по снижению скорости реакции и снижению температуры масла. Этот момент может служить признаком окончания стадии окисления и окончания процесса.

После этого оксидат охлаждают и смешивают с растворителем и сиккативом – вспомогательным веществом, которое вводится для ускорения процесса высыхания. Химически, сиккативы являются катализаторами окислительной полимеризации растительных масел. В качестве сиккативов могут использоваться соли кобальта, марганца, циркония, бария, свинца, кальция и другие. Затем оценивают качество продукта в лаборатории и доводят готовый продукт до необходимого качества.

Технологический процесс на предприятии ООО «Ямщик» проводился в окислительной колонне по показаниям датчика температуры 8 – термометра сопротивления. Последний располагается внизу колонны выше ТЭНов и выше точки подачи воздуха в колонну для проведения автоокисления, но ниже рубашки охлаждения (рис. 1).

С целью повышения производительности производства и качества получаемой олифы путем автоматизации основного процесса, протекающего в колонне – реакторе, были проведены исследования температурных режимов в колонне.

Задачи исследований состояли в: 1) выявлении температурного профиля процесса по высоте реактора, в том числе, в различные моменты времени; 2) нахождении наиболее информативной точки на профиле для ведения процесса; 3) получении временных графиков процесса и его особенностей в зависимости от той или иной информационной температурной точки по высоте колонны, в том числе, при использовании их для его проведения; 4) недопущении перегрева растительного масла при проведении процесса в любой из точек по высоте колонны и, как следствие, получения из-за этого бракованной продукции; 5) возможности автоматического ведения процесса, в том числе, лишь по одной информативной точке, для поддержания требуемого температурного профиля в колонне на стадии ведения реакции, как определяющем факторе получения качественной продукции.

Для реализации цели и задач исследований была взята перфорированная труба, длиной равной высоте окислительной колонны, которую поместили по ее центральной оси (рис.1). В трубу были

опущены и выведены через отверстия на равноудалённом расстоянии друг от друга семь термопар типа ТХА с диапазоном измеряемых температур от -50 до $+300^{\circ}\text{C}$ в чехле с наружным диаметром $1,5$ мм из материала стойкого к продуктам реакции. Номера термопар указаны на рис.1. Внизу трубы были приварены радиальные стержни, доходящие до стенки колонны, для предотвращения ее колебаний внутри аппарата при проведении процесса (особенно при продувке смеси воздухом), а сверху труба имеет фланец для ее крепления на люке колонны. При высоте колонны 6 метров датчики 1-7 располагались с интервалом порядка $0,5$ метра.

Для проведения эксперимента была разработана, смонтирована и запущена на объекте в постоянную эксплуатацию информационная система сбора с каждого установленного датчика внутри колонны. Система позволила отслеживать значения температур реактора в реальном времени на мнемосхеме, а также сохранять значения в базе данных с заданным промежутком времени и предоставлять их в виде таблицы EXCEL.

На протяжении всего технологического процесса снимались показания со всех датчиков с периодичностью 10 минут при длительности процесса нагрева 8 часов и длительности стадии окисления 10 часов. Длительность проведения стадий зависит как от вида используемого сырья, так и, во многом, от рационального управления процессом. Как видно, процесс проводится в достаточно широких временных интервалах (от 15 часов минимум до 21 часа), что говорит о возможностях по его временной оптимизации. Взятая периодичность измерения температуры вполне приемлема при данных длительностях проведения процесса и достаточна для построения температурного профиля реактора и определения наиболее горячего его участка.

Реальные и предлагаемые температурные кривые ведения процесса показаны на рис.2. Кривая синего цвета с пометками характерных точек цифрами без штрихов это кривая ведения процесса по датчику 8. Кривая черного цвета с характерными точками с цифрами со штрихами отражает предлагаемое желаемое ведение процесса после проведенных исследований температурных режимов в колонне.

Стадию окисления масла в реакторе желательно вести в диапазоне $125-140^{\circ}\text{C}$ (в этом коридоре располагается желаемая кривая), хотя реальный коридор берется $120-150^{\circ}\text{C}$. Это обусловлено тем, что только при таких температурах возможно получение выходного продукта требуемого качества с наиболее рациональным проведением процесса

по времени. Перегрев сырья влияет на цветность олифы, то есть получение некондиционной продукции – брака, а его недогрев – на удлинение проведения процесса, то есть на производительность агрегата и, соответственно, экономические показатели производства.

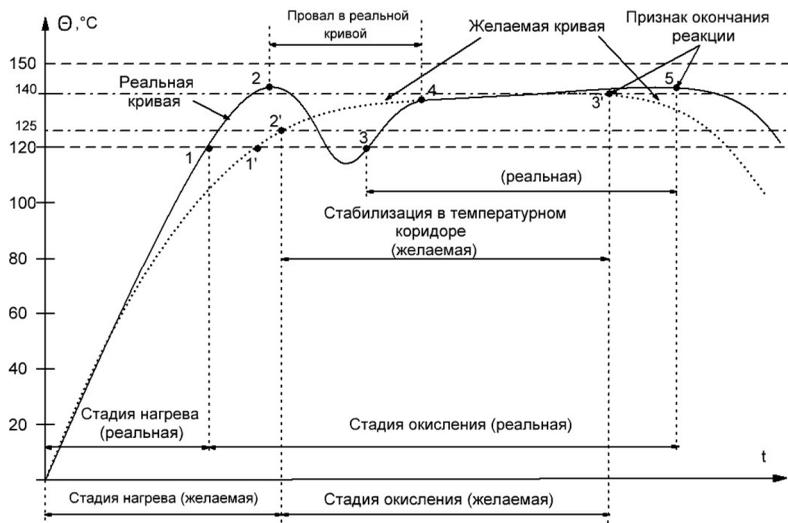


Рисунок 2 – Температурные кривые проведения процесса в окислительной колонне

Управлять температурой на стадии окисления (стабилизации) можно либо меняя подачу хладагента в рубашку реактора, либо изменяя подачу воздуха на окисление. Для правильного вхождения в температурный коридор и невыхода из него на начальном этапе стадии окисления необходимо своевременное отключение ТЭНов или управление ими (например, предварительное отключение части ТЭНов, а затем их полное отключение, поскольку далее идет автокаталитическая реакция). Недостаточная подача воздуха влияет на процесс полимеризации [1,2] и, соответственно, на время этого процесса и производительность агрегата и, следовательно, необходимо находить компромиссное решение задачи по управлению посредством трех воздействий на температурный режим: ТЭНами, подачей хладагента и воздуха.

Проанализировав графики реальной (по датчику 8) и желаемой температурных кривых (рис.2), можно увидеть потенциальную

опасность перегрева масла на участке 1-2 и последующий провал температуры в реальной кривой. Провал температуры (участок 2-3 реальной кривой) объясняется тем, что датчик температуры 8, по которому велся процесс, установлен в нерациональном месте. На стадии нагрева, реализуемой включением на полную мощность ТЭНов, температура на реальной кривой достигает нижнего значения коридора в точке 1. В то время температура датчиков 3 и 4 (рис.2 и рис.3) еще не достигла нижнего значения коридора. Эта температура достигается в них позже (точка 1' на желаемой кривой). В районе температур этих датчиков имеет место так называемая «горячая точка», то есть точка с наиболее высокой температурой в колонне на стадии окисления в температурном профиле реактора. Именно по температуре «горячей точки», как наиболее информативной, следует вести желаемый процесс, то есть фактически по показаниям датчика 3 или 4.

Возможность перегрева на участке 1-2 исключают путем полного отключения ТЭНов на стадии нагрева и одновременной подачи воздуха на окисление, однако, это приводит к названному провалу температуры, то есть к охлаждению продукта реакции, выхода температуры из коридора за нижнюю границу и фактического начала процесса окисления лишь в точке 4. Для желаемой кривой процесс окисления начинается раньше (точка 2'), что позволяет закончить стадию окисления раньше (точка 3' вместо точки 5), чем при ведении процесса по датчику 8. Таким образом, кажущееся удлинение стадии нагрева по желаемой кривой (от точки 1 до точки 1') в силу ведения процесса по более высокому датчику «горячей точки», например, по датчику 3 или 4 (рис.1), приводит к укорочению стадии окисления и фактическому сокращению всего процесса в целом.

На основании полученных данных в среде EXCEL были построены графики температуры ($\Theta, ^\circ\text{C}$) по каждому датчику на протяжении всего эксперимента. Результат эксперимента изображён на рис.3.

Из полученных графиков видно, что в среднем сечении колонны (показания датчиков 3-5) они близки к графику, предоставленному на рис.3 (реальная кривая). Показания датчика 8 лежат между показаниями датчиков 6 и 7 и практически сливаются с ними (в силу этого график по этому датчику не показан).

Провал в температурном графике свидетельствует о начале подачи воздуха в колонну и отключении ТЭНов. Скачки температур, которые особо хорошо просматриваются с момента времени 7:35 и до конца процесса, обусловлены тем, что в процессе добавления воздуха, масса в колонне начала бурление. Таким образом, полученные графики

поведения температур по высоте колонны характеризуют ход протекания процессов в ней, позволяют определить начало и ход протекания стадии окисления и другие особенности процесса.

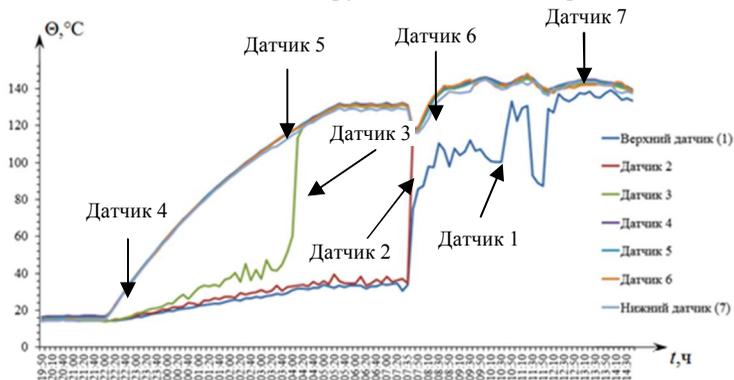


Рисунок 3 – Температурные кривые реакционной массы, полученные в результате эксперимента, при ведении процесса по датчику 8

Отметим, что при ведении процесса по ранее установленному датчику температуры 8 зачастую происходил перегрев растительного масла в зонах, где температура отлична от значения этого датчика. В этом плане также сделан вывод о необходимости ведения процесса по более информативному датчику – датчику 3 или 4.

Для нахождения «горячей точки» в реакторе были построены графики распределения температур по вертикальному профилю окислительной колонны в различные моменты времени (рис.4) с интервалом в один час.

На их основании можно сделать вывод о существовании на стадии окисления «горячей точки». Эта точка находится в районе 4-го датчика температуры. Как видно эта точка может дрейфовать как по высоте колонны, так и по значению температуры в ней.

Для обеспечения желаемой кривой ведения процесса в реакторе, естественно используя для этого информацию с датчика 3 или 4, необходимо решить две задачи, в чем-то аналогичные тем, которые решались для реактора в производстве ВТС-60 (Воронеж-Тамбов стабилизатор) [5].

Первая задача это задача оптимального быстрогодействия в разомкнутой системе управления [6, С. 51-95], то есть задача

наискорейшего нагрева массы в колонне и вхождения ее температуры в заданный коридор и последующего не выхода из него.

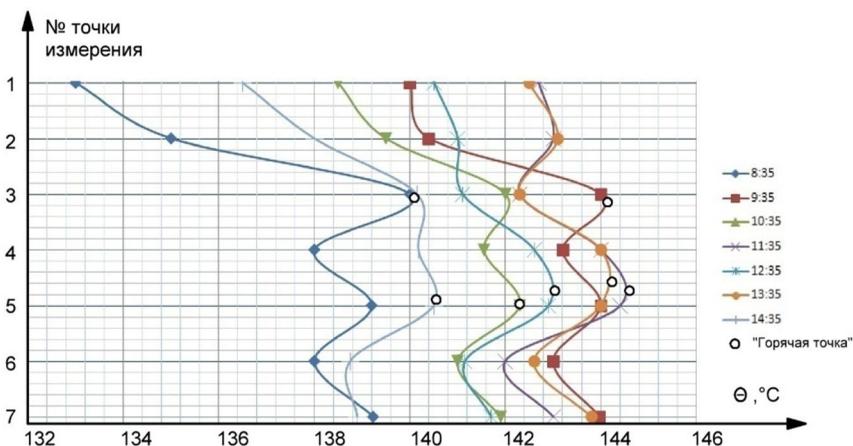


Рисунок 4 – Температурный профиль для фиксированного времени проведения процесса

Для решения задачи оптимального быстродействия имеется два управляющих воздействия. Такими воздействиями являются: управление ТЭНами и момент подачи воздуха на окисление. Особенность решения задачи заключается в нестационарности параметров объекта от цикла к циклу процесса и квазистационарности внутри цикла из-за периодичности ведения процесса в колонне.

Вторая задача – задача стабилизации температуры массы в заданном коридоре на стадии окисления. Высказано предположение (гипотеза) о возможности поддержания заданного температурного профиля в колонне на стадии окисления по «горячей точке», путем ее удержания в заданном месте, как по высоте колонны, так и по ее температурному значению, по аналогии с тем, как это делалось для реактора в производстве малеинового ангидрида [7]. Такая стабилизация температурного профиля позволит стабилизировать качество получаемой олифы и оптимальность проведения процесса во времени. Для удержания «горячей точки» имеется два управляющих воздействия – подача хладагента в рубашку реактора и изменение подачи воздуха на окисление.

Решив поставленные задачи по автоматизации процесса, можно добиться повышения производительности производства, в силу более

быстрого проведения процесса путем решения задачи оптимального быстродействия, и качества выпускаемого продукта, за счет стабилизации температурного профиля по «горячей точке» на стадии окисления по высоте колонны, с одновременным уменьшением энергозатрат и не получения брака из-за недопущения перегрева реакционной массы.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 14-41-08016 «Разработка интеллектуальных систем управления сложными технологическими процессами на основе советующих систем с техническим зрением».

Список литературы:

1. Тютюнников Б.Н. Химия жиров. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос. 1992. 448 с.
2. Савельянов В.П. Общая химическая технология полимеров. М.: Академкнига. 2007. 336 с.
3. Карцова А.А. Покорение вещества. Органическая химия. СПб.: Химиздат, 1999. 270 с.
4. Новиков А.Я. Химические товары бытового назначения. Справочник. М.: Легкая индустрия, 1968. 264 с.
5. Магергут В.З., Егоров А.Ф. Система оптимального вывода реактора на режим с последующей его стабилизацией на основе адаптивного трехпозиционного регулятора // Химическая технология. 2001. №3. С.30-33.
6. Олейников В.А., Зотов Н.С., Пришвин А.М. Основы оптимального и экстремального управления. М.: Высшая школа, 1969. 296 с.
7. Магергут В.З., Халифа Амер. К управлению реактором по «горячей точке» // Сб. трудов XX Междунар. науч. конф. Математические методы в технике и технологиях - ММТГ-20. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2007. С. 301-303.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ АДАПТИВНОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ
МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA168PA МОДУЛЯ
УПРАВЛЕНИЯ E60C-M1 ХОЛОДИЛЬНИКА «АТЛАНТ»**

Мамышев Д.Е., студент,

Рыбин И.А., аспирант,

Магергут В.З., д-р техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Системы автоматического регулирования таких промышленных и бытовых объектов как холодильные установки, газовые горелки, электрические плиты часто представляют собой позиционные системы, работающие по принципу «включено/выключено», в силу того, что обычно в таких объектах не требуется высокой точности поддержания регулируемой технологической величины. Эти системы получили широкое распространение за счёт своей низкой стоимости, простоты создания и высокой надёжности при условии достаточности качества регулирования.

Так как позиционные системы автоматического регулирования не имеют явно выраженных параметров настройки и органов управления ими и работают в автоколебательном режиме, то обычные методы, известные из теории автоматического управления для линейных непрерывных систем, неприменимы для оптимизации таких процессов. Однако, как показали теоретические исследования в данной области, в таких системах могут быть оптимизированы и адаптированы как параметры настройки, так и их структура для достижения лучшей точности регулирования технологической величины и уменьшения энергетических затрат. В связи с этим, необходимо исследование и внедрение оптимизации и адаптации в позиционные системы регулирования вышеперечисленных объектов [2].

В качестве объекта исследования был взят бытовой холодильник фирмы «АТЛАНТ» ХМ-6016-50. Он представляет собой двухкамерную (холодильная и морозильная), двухкомпрессорную холодильную установку с блоком управления E60C-M1. В качестве управляющего устройства используется микроконтроллер ATmega168PA фирмы ATMEL, который реализует двухпозиционный с зоной неоднозначности закон регулирования температуры в холодильной (ХК) и морозильной (МК) камерах. Задача состоит в том, чтобы реализовать на данном

микроконтроллере адаптивное позиционное регулирование температуры в соответствии с техническими требованиями к работе холодильника и провести сравнительный анализ по точности и энергопотреблению двух способов: с адаптацией и без неё.

При экспериментальном исследовании объекта по снятию импульсных характеристик в окрестности рабочей точки холодильной камеры (7°C) и дальнейшей обработки полученных данных была построена переходная характеристика объекта, приведённая на рис. 1.

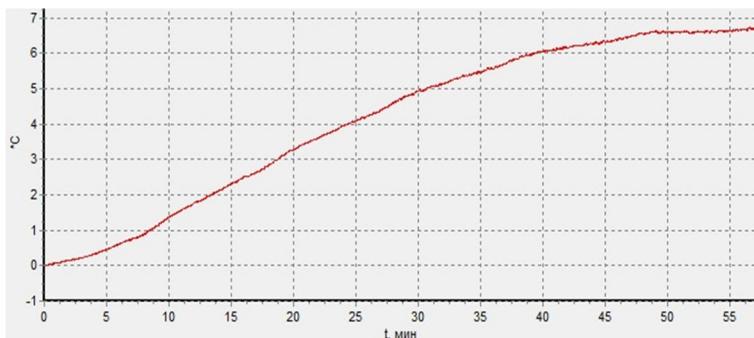


Рисунок 1 – Переходная характеристика объекта управления

При описании объекта в виде апериодического звена второго порядка с запаздыванием по методике, предложенной в [1] была определена его передаточная функция в виде:

$$W(s) = \frac{-6,75}{(9s + 1)(17s + 1)} e^{-3,5s}$$

Суть адаптации данного двухпозиционного закона регулирования состоит в том, что в процессе работы значения крайних позиций переключения изменяются таким образом, что значение температуры остаётся в пределах зоны неоднозначности, не совершая заметных выбегов, что имело место в случае обычного двухпозиционного способа регулирования. Иначе говоря, адаптируются как время включения компрессора холодильной камеры, так и паузы между импульсами. Такая адаптация основана на известной информации о времени включения или паузы компрессора и достигнутых при этом импульсе (паузе) значений температуры в предыдущий период времени работы. На основе этой информации вычисляется длительность импульса (паузы) включения компрессора для достижения требуемых значений

температуры. Этот алгоритм можно выразить рекуррентными формулами длительностей включения и паузы работы компрессора в текущем периоде работы [3]:

$$\square t_1^i = \frac{X_{start}^i - X_{min}}{X_{start}^{i-1} - X_{min}^{i-1}} \square t_1^{i-1};$$

– длительность включения –

$$\square t_0^i = \frac{X_{max} - X_{stop}^i}{X_{max}^{i-1} - X_{stop}^{i-1}} \square t_0^{i-1},$$

– длительность паузы –

где $\square t_1^{i-1}, \square t_0^{i-1}$ – длительности импульса и паузы в предыдущем периоде работы; X_{min}, X_{max} – значения крайних позиций переключения регулятора; X_{start}^i, X_{stop}^i – текущие значения температуры; $X_{start}^{i-1}, X_{stop}^{i-1}$ – значения температуры в момент подачи импульса, паузы в предыдущем периоде работы; $X_{min}^{i-1}, X_{max}^{i-1}$ – минимальное, максимальное достигнутое значение температуры в предыдущем периоде.

Алгоритм, описывающий работу адаптивного позиционного регулирования, был написан на языке Си и запрограммирован в микроконтроллер блока управления. На рис. 2 показана общая блок-схема программы управления температурой в холодильнике «АТЛАНТ».

В результате экспериментального исследования были получены графики изменения температуры и состояния работы компрессора в холодильной камере при обычном и адаптивном способах регулирования, которые представлены на рис. 3.

При обычном способе регулирования размах колебаний температуры составил $2,5^{\circ}C$, установившееся отклонение – $7,8\%$ от задания ($7^{\circ}C$). Аналогичные показатели при адаптивном способе регулирования: размах колебаний – $1,5^{\circ}C$, установившееся отклонение – $3,6\%$. Затраты электроэнергии на работу компрессора холодильной камеры уменьшились на 14% по сравнению с обычным способом.

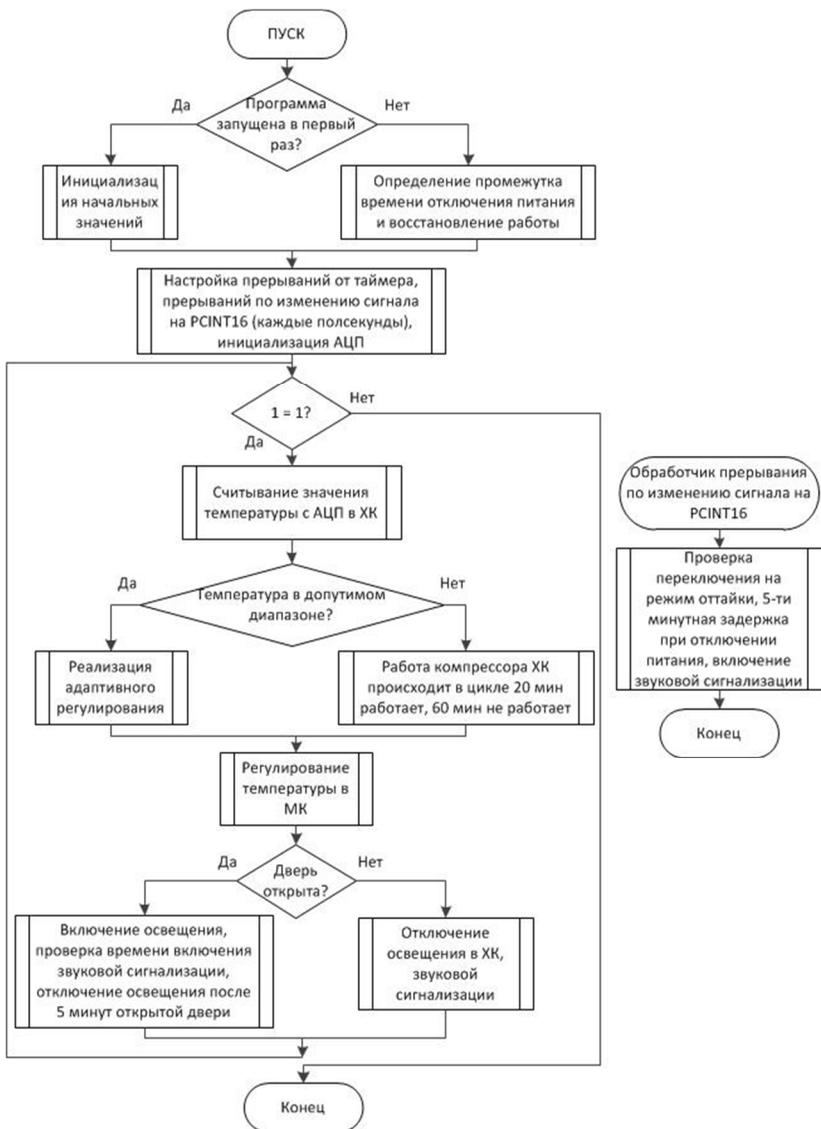


Рисунок 2 – Общая блок-схема программы управления температурой в холодильнике «АТЛАНТ»

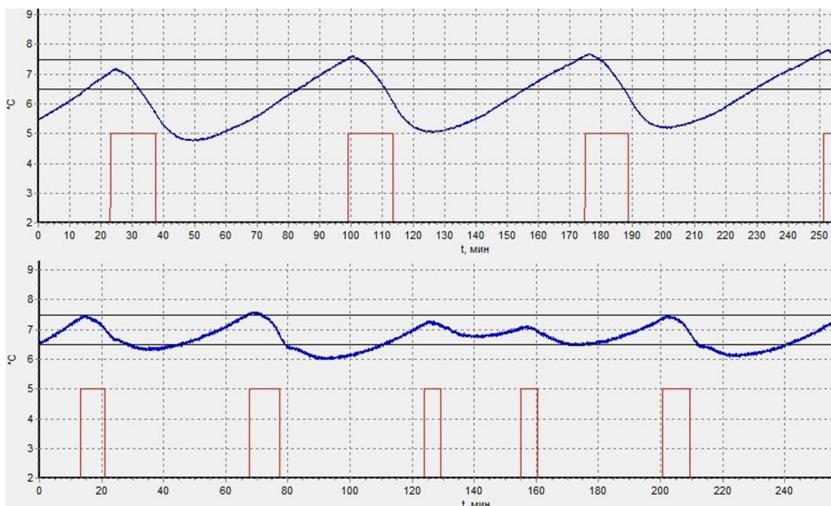


Рисунок 3 – Графики изменения температуры и состояния работы компрессора в холодильной камере при обычном и адаптивном способах регулирования

Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Мамышев Д.Е., Рыбин И.А. Параметрическая идентификация объекта управления в виде аperiodического звена 2-го порядка // Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Исследования и инновации в ВУЗе»: избранное. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. Ч.1. С. 181-185.
2. Магергут В.З., Вент Д.П., Кацер И.А. Выбор промышленных регуляторов и расчет их оптимальных настроек. Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. С. 143-145.
3. Пат. 2474856 Российская Федерация, МПК G05B 11/18. Способ адаптивного трехпозиционного регулирования [текст] / Рыбин И.А., Магергут В.З., Кижук А.С., Яхно Б.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». - № 2012105484/08; заявл. 16.02.12, опубл. 10.02.2013, бюл. № 4. 13 с.

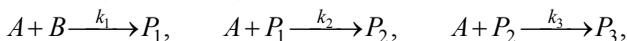
ОПТИМИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РЕАКТОРНЫМ УЗЛОМ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПОДАЧЕЙ ИСХОДНОГО РЕАГЕНТА

**Невиницын В.Ю., канд. техн. наук,
Лабутин А.Н., д-р техн. наук, проф.,
Волкова Г.В., канд. техн. наук, доц.**

Ивановский государственный химико-технологический университет

Современным, научно обоснованным подходом к проектированию реакторных систем является интегрированный подход, предполагающий совместное проектирование непосредственно аппаратно-технологического оформления реакторного узла и системы управления узлом. Согласно этой концепции, на стадии проектирования химического производства решается задача оптимального синтеза реакторного узла и задача синтеза алгоритмов управления процессом, а на стадии эксплуатации подзадача организации оптимального функционирования объекта в условиях действия параметрических и сигнальных возмущений.

В работе решается задача оптимизации и синтеза нелинейной векторной системы управления температурным режимом и концентрацией целевого компонента в каскаде химических реакторов идеального смешения с секционированной подачей общего реагента в аппараты (рис. 1). В реакторном узле реализуется многостадийная последовательно-параллельная реакция:



где A и B – исходные реагенты, P_1 , P_2 , P_3 – продукты реакции (P_2 – целевой компонент), k_1 , k_2 , k_3 – константы скоростей стадий.

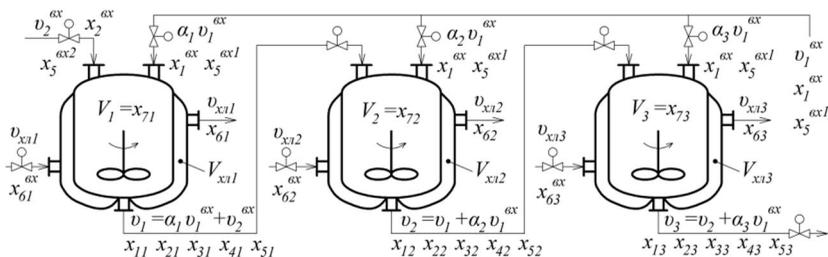


Рисунок 1 – Принципиальная схема реакторного узла с секционированной подачей общего реагента

На рис. 1 введены следующие обозначения: x_1^{ex}, x_2^{ex} – концентрации исходных реагентов A и B ; v_1^{ex}, v_2^{ex} – расходы исходных реагентов на входе в реакторную систему; x_5^{ex1}, x_5^{ex2} – температуры потоков исходных реагентов; $\alpha_i, i=1, \dots, 3$ – доля потока исходного реагента A на входе в i -й реактор; $\alpha_i v_i^{ex}, i=1, \dots, 3$ – поток реагента A на входе в i -й реактор; $v_i, i=1, \dots, 3$ – расход реакционной смеси на выходе из i -го аппарата; $x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, x_{4i}, i=1, \dots, 3$ – концентрации компонентов A, B, P_1, P_2 в i -м реакторе; $x_{5i}, i=1, \dots, 3$ – температура реакционной смеси в i -м реакторе; $v_{xli}, i=1, \dots, 3$ – расход хладагента на входе и выходе из i -го аппарата; $x_{6i}^{ex}, x_{6i}, i=1, \dots, 3$ – температуры хладагента на входе и выходе из i -го аппарата; $V_i = x_{7i}, i=1, \dots, 3$ – объем реакционной смеси в i -м аппарате; $V_{xli}, i=1, \dots, 3$ – объем хладагента в рубашке i -го аппарата.

Целью функционирования реакторного узла является обеспечение на его выходе заданного оптимального значения концентрации целевого вещества (продукт P_2).

Математическая модель последнего аппарата реакторного узла при постоянном объеме смеси в аппарате имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dx_{13}}{d\tau} &= R_{13} + \frac{(x_{12} - x_{13})}{V_3} v_2 + \frac{(x_1^{ex} - x_{13})}{V_3} \alpha_3 v_1^{ex}, \quad \frac{dx_{23}}{d\tau} = R_{23} + \frac{(x_{22} - x_{23})}{V_3} v_2 - \\ &- \frac{x_{23}}{V_3} \alpha_3 v_1^{ex}, \quad \frac{dx_{33}}{d\tau} = R_{33} + \frac{(x_{32} - x_{33})}{V_3} v_2 - \frac{x_{33}}{V_3} \alpha_3 v_1^{ex}, \quad \frac{dx_{43}}{d\tau} = R_{43} + \\ &+ \frac{(x_{42} - x_{43})}{V_3} v_2 - \frac{x_{43}}{V_3} \alpha_3 v_1^{ex}, \quad \frac{dx_{53}}{d\tau} = \frac{(x_{52} - x_{53})}{V_3} v_2 + \frac{(x_5^{ex1} - x_{53})}{V_3} \alpha_3 v_1^{ex} + \\ &+ x_{13} f - \beta_{13} x_{53} + \beta_{13} x_{63}, \quad \frac{dx_{63}}{d\tau} = \frac{(x_{63}^{ex} - x_{63})}{V_{xli3}} v_{xli3} + \beta_{23} (x_{53} - x_{63}), \end{aligned} \quad (1)$$

где $f = \lambda_1 k_1 x_{23} + \lambda_2 k_2 x_{33} + \lambda_3 k_3 x_{43}$, $\lambda_i = \Delta H_i / (\rho C)$, $i=1, \dots, 3$; $\beta_{13} = K_T F_{T3} / (V_3 \rho C)$; $\beta_{23} = K_T F_{T3} / (V_{xli3} \rho_{xli} C_{xli})$; $\Delta H_i, i=1, \dots, 3$ – тепловой эффект соответствующей стадии реакции; ρ, C – плотность и теплоемкость реакционной смеси; ρ_{xli}, C_{xli} – плотность и теплоемкость хладагента; K_T – коэффициент теплопередачи через стенку аппарата; F_{T3} – поверхность теплообмена третьего аппарата каскада; $k_i = k_{i0} \cdot \exp(-E_i / R(x_{53} + 273))$, $i=1, \dots, 3$ – константы скоростей стадий; $k_{i0}, i=1, \dots, 3$ – постоянный множитель (предэкспонента) констант скоростей стадий; $E_i, i=1, \dots, 3$ – энергия активации соответствующей стадии реакции; R – универсальная газовая постоянная; $R_{13} = -k_1 x_{13} x_{23} - k_2 x_{13} x_{33} - k_3 x_{13} x_{43}$, $R_{23} = -k_1 x_{13} x_{23}$, $R_{33} = k_1 x_{13} x_{23} - k_2 x_{13} x_{33}$, $R_{43} = k_2 x_{13} x_{33} - k_3 x_{13} x_{43}$ – скорость реакции по компонентам. Математические модели первого и второго аппаратов реакторного узла записываются аналогичным образом.

Для рассматриваемого аппаратного оформления реакторного узла проведена режимно-технологическая оптимизация, в результате которой определены: среднее время пребывания реакционной смеси в аппаратах, температура проведения реакции, соотношение расходов исходных реагентов, доли потока исходного реагента на входе в аппараты, обеспечивающие максимальный выход целевого продукта на выходе реакторной системы.

На рис. 2. представлены зависимости концентрации целевого продукта P_2 на выходе реакторного узла при различных вариантах распределенной подачи исходного реагента A по каскаду. Кривые изменения концентрации x_{43} приведены для различных значений α_1 . Для каждого значения α_1 доля потока α_2 изменялась в диапазоне от 0.1 до $(0.9 - \alpha_1)$, при этом величина α_3 определялась как $\alpha_3 = 1 - \alpha_1 - \alpha_2$.

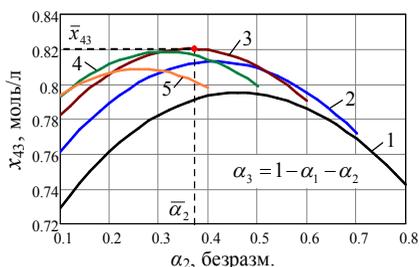


Рисунок 2 – Изменение концентрации целевого продукта на выходе узла при различных вариантах распределения общего исходного реагента A по каскаду; 1 – $\alpha_1=0.1$, 2 – $\alpha_1=0.2$, 3 – $\alpha_1=0.3$, 4 – $\alpha_1=0.4$, 5 – $\alpha_1=0.5$

Принимая во внимание цель функционирования реакторного узла, задачу системы управления технологическим объектом можно сформулировать следующим образом: стабилизация концентрации целевого вещества в выходном потоке и поддержание оптимального температурного режима в аппаратах в условиях действия на объект внешних и внутренних возмущений.

Анализ структуры математической модели объекта (1) показывает, что в качестве регулирующего воздействия для стабилизации концентрации целевого вещества на выходе реакторного узла может быть выбрана подача исходного реагента A на вход в третий аппарат каскада – поток $\alpha_3 v_1^{ex}$. Управляющими воздействиями для стабилизации температурного режима в аппаратах являются величины расходов хладоагента $v_{хлi}$, подаваемые в теплообменные рубашки реакторов.

В силу того, что химические реакторы как объекты управления являются многомерными, многосвязными и нелинейными, использование линейных систем автоматического управления не позволяет обеспечить работоспособность комплекса «реакторный узел – подсистема управления» при существенных возмущениях и, соответственно, отклонениях переменных состояния от номинальных значений. Перспективным способом разработки алгоритмов управления динамическими объектами такого класса является метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР), который предполагает разработку и реализацию способа направленной целевой самоорганизации диссипативных нелинейных систем «объект – регулятор». При этом цель движения системы формулируется в виде желаемого инвариантного многообразия в фазовом пространстве объекта, выполняющего роль целевого аттрактора $\psi_S(x_1, \dots, x_n)=0, S=1, \dots, m$ [1].

В общем виде задача синергетического синтеза системы управления формулируется следующим образом: необходимо найти закон управления как функцию переменных состояния объекта $u_1(x_1, \dots, x_n), \dots, u_m(x_1, \dots, x_n)$, который переводит изображающую точку системы в фазовом пространстве из произвольного начального состояния в окрестность задаваемых инвариантных многообразий и дальнейшее движение вдоль пересечения многообразий в некоторую стационарную точку или в некоторый динамический режим. В приведенных выражениях n – размерность вектора состояния, m – число внешних управлений. На траектории движения должен достигаться минимум критерия оптимальности системы:

$$J = \int_0^{\infty} \left[\sum_{S=1}^m \left(T_S^2 \dot{\psi}_S^2 + \psi_S^2 \right) \right] dt \quad (2)$$

Множество устойчивых экстремалей, доставляющих минимум функционалу (2), задается уравнением

$$T_S \dot{\psi}_S + \psi_S = 0, \quad S = 1, \dots, m \quad (3)$$

Условие асимптотической устойчивости системы в целом имеет вид $T_S > 0$. Уравнение (3) носит название основного функционального уравнения метода АКАР.

Используя метод АКАР на основе параллельно-последовательной совокупности инвариантных многообразий [1], получен нелинейный векторный закон управления реакторным узлом.

Проведено сравнение синергетического алгоритма управления с линейным ПИ-алгоритмом. В качестве примера, на рис. 3 представлен вариант переходных процессов регулирования концентрации и температуры в третьем аппарате реакторного узла при использовании синергетического нелинейного закона управления и классического ПИ-алгоритма при начальном отклонении переменных состояния объекта от статики на величины $\Delta x_{i,j}^0 = -0.1x_{i,j}^0$, $i=1, \dots, 6, j=1, \dots, 3$.

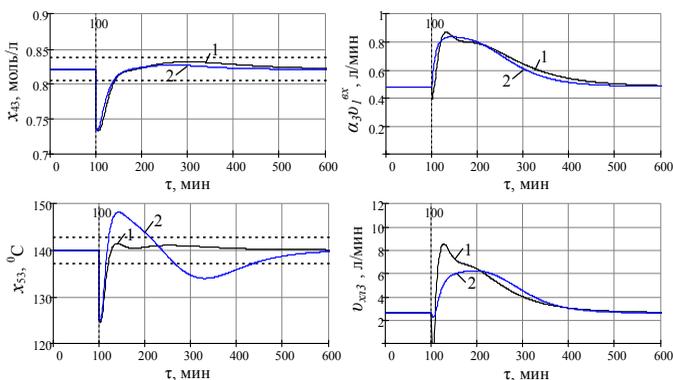


Рисунок 3 – Переходные процессы выходных переменных и управлений в замкнутой системе «реакторный узел – система управления» при начальном отклонении переменных состояния от статики; 1 – синергетический алгоритм, 2 – ПИ-алгоритм

Результаты компьютерного моделирования замкнутой системы управления реакторным узлом при использовании синтезированных алгоритмов и различных входных воздействий показали асимптотическую устойчивость комплекса «реакторный узел – управляющая подсистема» в целом, инвариантность к возмущениям и ковариантность с задающими воздействиями, а также грубость при условии полной наблюдаемости объекта. При этом, качество управления объектом существенно выше при использовании синергетического нелинейного закона управления, синтезированного методом АКАР. Это указывает на перспективность и эффективность синергетического подхода для конструирования новых классов замкнутых систем «реакторный узел – управляющая подсистема».

Список литературы:

1. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. М.: Энергоатомиздат, 1994. 344 с.

ЛОКАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЕМ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Потёмкин В.Г., ст. преподаватель,

Полунин А.И., канд. техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Из опроса персонала, обслуживающего асфальтобетонные заводы (АБЗ), в том числе, лиц, отработавших на производстве не один десяток лет, была получена информация, о явной (ощущаемой на слух) зависимости уровня мощности излучаемого в процессе перемешивания асфальтобетонной смеси (АБС) акустического шума (АШ) от стадии смесеобразования, а, следовательно, однородности смеси. Данная информация улавливалась на слух на расстоянии до 30 м от смесительного агрегата (смесителя), независимо от типа АБЗ и рецептуры АБС. Экспериментальным путем было установлено, что анализ АШ, порождаемого взаимодействием частиц минерального заполнителя (МЗ) АБС друг с другом и рабочими органами смесителя, является наиболее информативным, на данный момент, способом оценивания качественных характеристик смеси в процессе ее приготовления [1].

Построение модели порождения АШ в смесители требует учета множества взаимосвязанных стохастических факторов и явлений. Так например, протекание процесса смесеобразование в значительной степени, зависит от: конструктивного исполнения смесителя, которое для каждого АБЗ уникально; вариации физико-химических свойств и параметров компонент смеси (площади поверхности минеральных компонент, гранулометрического состава); технологических показателей (температуры, скорости вращения перемещения лопаток смесителя и его загруженность) и др. Учесть в модели все возмущающие воздействия возможно, но необходимость подбора для неё коэффициентов, не только для смесителей определенной серии, но из-за постоянного дрейфа параметров, и для всех агрегатов, ставит перед данной задачей определенные трудности.

Современные АСУ ТП АБЗ не имеют в своём составе систем управления временем перемешивания АБС. Несмотря на тот факт, что сушильные барабаны оснащены системой автоматического регулирования (САР) температурой МЗ. Однако, при резком перепаде влажности (более $\pm 5\%$) на входе в агрегат, на фоне инерционности

процесса сушки и канала измерения, температурный режим сырья МЗ выходит за допустимые по нормативам пределы. Необходимость строгого выдерживания температурного режима процесса смесеобразования обусловлена экспоненциальной зависимостью вязкости вяжущего (способности битума обволакивать частицы смеси) от его температуры, так колебания температуры в пределах $\pm 10..15$ °С, требуют варьирования продолжительности перемешивания соответственно в пределах $\pm 3..7$ сек [2].

В свою очередь колебание гранулометрического состава, по фракциям, не поддается регулированию, т.к. сепарация компонент МЗ осуществляется посредством механических грохотов с ограниченным набором сит. Поэтому колебания площади МЗ в пределах одной рецептуры АБС находятся в интервале (-20%; 35%) [3]. Это явление приводит к пропорциональному изменению толщины пленки битума на частицах МЗ АБС, а при неизменном времени перемешивания к неравномерному покрытию минеральных частиц, что сильно сказывается на эксплуатационных свойствах АБС.

Решение задачи управления качеством приготовления АБС видится в применении интеллектуального сенсора, способного косвенно измерять информативные признаки и анализировать текущую стадию процесса смесеобразования. Варьирование продолжительностью перемешивания АБС позволит снизить последствия задержки реакции САР температуры МЗ, погрешности дозирования компонент смеси, колебания гранулометрического состава.

Исследование признаков АШ, показало, что наибольшей информативностью о изменении реологических свойств АБС в процессе смесеобразования обладает спектр АШ в диапазоне средних акустических частот 7..11 кГц [1, 2]. В данном диапазоне менее всего выражено влияние паразитических помех от вибрации подвижных узлов смесителя и высокоэнергетических помех вызванных подклиниванием частиц МЗ. В виду того, что разложение сигнала в амплитудный спектр подобно пропусканию его через гребёнку полосных фильтров, применение алгоритмов цифровой или аналоговой фильтрации заменяется игнорированием неинформативных участков частот. Это позволяет дополнительно снизить ресурсоёмкость аналитического аппарата разрабатываемой СУ, работающей в режиме реального времени.

На рис.1 приведены графики амплитудного спектра АШ (прошедшего через высокочастотный фильтр) излучаемого АБС для 20 реализаций процесса смесеобразования в смесителе АБЗ ДС-185

наиболее распространенной рецептуры АБС с зерновым составом минеральной части смеситипа «Б» на битуме БНД 60/90 [4].

Из рис. 1 явно следует, что случайный процесс порождения АШ – $x(t)$ является нестационарным. Этот факт усложняет задачу анализа процесса порождения АШ. Однако, практически любой нестационарный стохастический процесс представляет собой наложение некоторой детерминированной функции времени – $a(t)$ на стационарный процесс $u(t)$, поэтому его можно представить как:

$$\{x(t)\} = f[a(t), \{u(t)\}],$$

где фигурные скобки обозначают ансамбль реализаций процесса.

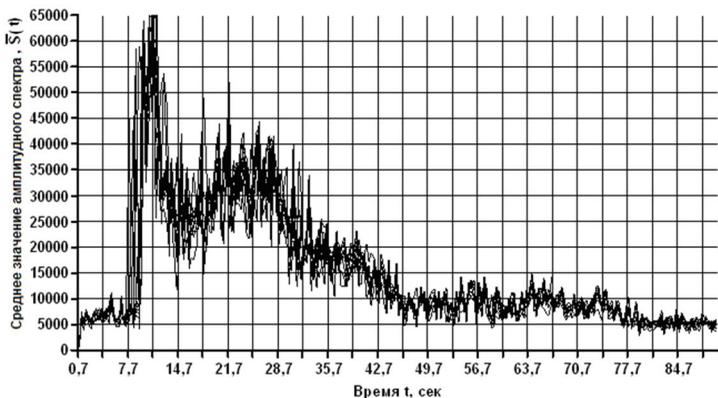


Рисунок 1 – Графики изменения среднего значения спектра АШ, излучаемого при смесеобразовании асфальтобетонной смеси

Динамика изменения мощности АШ – $a(t)$, при строгом соблюдении регламента загрузки компонент АБС, проявляет общие особенности, при любом количестве реализаций процесса смесеобразования. Поэтому, на практике исследование нестационарных случайных процессов, имеющих устойчивый тренд на фоне помех, проводят по одной реализации, фильтрацией детерминированной составляющей, как правило, алгоритмами регрессионного анализа.

Однако, для анализа нестационарного сигнала неприменимо разложение в спектр дискретным преобразованием Фурье, т.к. это приводит к потере информативности. Поэтому частотные характеристики сигнала АШ необходимо связать с временными, т.е. получения спектра нужно выполнять не по всей реализации сигнала, а на локальных временных интервалах – окнах, перемещаемых по ряду

измеренных при реализации процесса значений (1).

$$X_j[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]w[n-b]e^{-\frac{2\pi i}{N}kn}, \quad (1)$$

где N – количество измеренных значений сигнала, $n=0, \dots, N-1$ – номер значения сигнала, $k=0, \dots, N-1$ – частота, $i=\sqrt{-1}$, $w[n-b]$ – оконная функция, b – сдвиг окна, j – номер окна. Преобразование (1) является цифровой фильтрацией сигнала $X[k]$ базовым фильтром с конечно-импульсной характеристикой (КИХ) с коэффициентами $w[n-b]$.

Следствием оконного (кратковременного) (1) является неопределенность Гейзенберга, выраженная в том, что с одинаковой точностью невозможно представить сигнал во временной и частотной плоскостях. При сужении ширины окна нужен компромисс между качеством разрешения по времени или частоте, который выражается в подборе $b=2\pi/\Delta k$ и ширины окна $(n-b)$. При продолжительности смесеобразования 90 сек и частоте дискретизации АЦП $\nu=44100$ Гц, $N \approx 4 \times 10^6$. Данные условия расширяют границы экспериментального подбора значения b и расстояния между соседними окнами. Поэтому нет необходимости применять более сложные методы частотно-временных преобразований, таких как вейвлеты, представления Вигнера и других.

В процессе разложения сигнала в спектр неизменно проявляется паразитический эффект Гиббса, который вводит в спектр пульсации особенно при резком изменении сигнала. С целью снижения вызванных этим искажений используют специальные весовые окна (функции). Исходя из критерия эффективность-быстродействие вычислений наиболее оптимальным будет окно Хемминга (2), которое подавляет боковые лепестки спектра по уровню минус 42 дБ.

$$w(n) = 0,53836 - 0,46164 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right). \quad (2)$$

На основании приведенных доводов в качестве информативного признака стадии готовности АБС было выбрано скользящее среднее значение функции спектральной плотности амплитуд (ССПА) в диапазоне частот 7-11 кГц.

Усреднение значений спектра АШ позволяет получить обобщенную характеристику его распределения, тем самым, сглаживая флуктуацию максимума спектральной функции в пределах границ частотного диапазона, при изменении условий процесса смесеобразования и действия помех. ССПА вычислим как среднее от

выражения (1), т.е.

$$\bar{S}_j = \frac{1}{\beta - \alpha} \sum_{k=\alpha}^{\beta} X_j[k],$$

где α , β – нижняя и верхняя границы информативного частотного диапазона; k – отсчеты в частотной области. Для границ частотного диапазона должно выполняться следующие условие:

$$0 < \alpha < \beta < v/2,$$

где v – частота дискретизации сигнала.

За основу работы СУ взят принцип программного управления реализующий следующей алгоритм:

а) после задания рецепта и проверки установления штатных параметров системы, пользователь запускает процесс производства АБС;

б) АСУ ТП генерирует управляющий сигнал (УС) запуска двигателя электропривода смесителя – $U_{on/off}=1$, данный сигнал беспрепятственно, со стороны СУ, запускает электропривод;

в) АСУ ТП дозирует компоненты АБС и подает их в смесительный агрегат согласно рецепту;

г) ввиду того, что фактическое время перемешивания АБС может оказаться больше заданного, согласно рецепту; то она генерирует УС окончания перемешивания $-U_{on/off}=0$ и $U_{o/c}=1$ раньше фактической готовности смеси, поэтому эти сигналы игнорируются СУ, в тоже время СУ генерирует УС $y_{o/c}=1$ – створки открыты, поэтому процесс смесеобразования может продолжаться до того времени пока анализ ССПА не установит фактический момент окончания смесеобразования (т.к. АСУ ТП не может начать процедуру загрузки компонентов без сигнала о том, что створки смесителя закрыты $-y_{o/c}=0$);

д) если фактическое время перемешивания АБС окажется меньше заданного, согласно рецепту в АСУ ТП; то СУ генерирует УС окончания перемешивания $-U_{on/off}=0$ и $U_{o/c}=1$;

е) после выгрузки АБС створки закрываются, АСУ ТП передается сигнал от концевых выключателей $y_{o/c}=0$, который она воспринимает как окончание выгрузки АБС, и, начинает загрузку компонент АБС;

е) после чего операции б) – д) повторяются.

Система управления смесеобразованием не должна вносить рассогласование в штатную АСУ ТП АБЗ, поэтому СУ необходимо интегрировать на уровень локальных систем управления по следующей схеме (рис. 2).

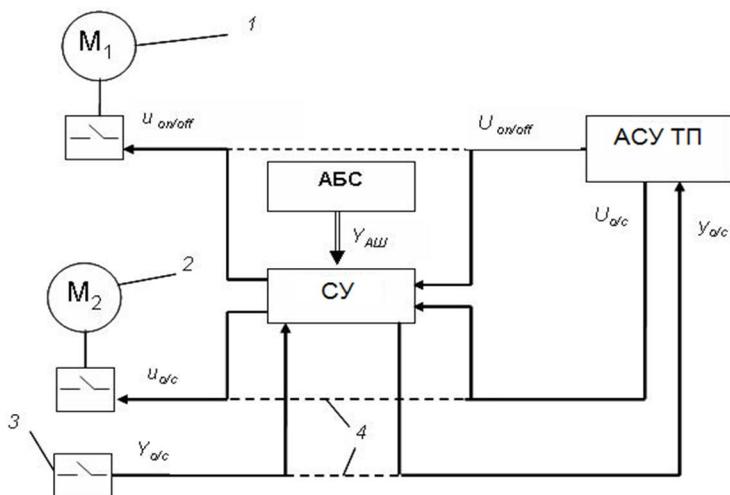


Рисунок 2 – Схема интегрирования узла управления смесителем в состав штатной АСУ ТП: 1 – электропривод смесительного агрегата; 2 – сервопривод створок смесителя; 3 – концевой контакт створок смесителя; 4 – разрыв канала передачи управляющих сигналов АСУ ТП для перенаправления их в СУ

На рис. 3 приведена функциональная схема СУ процессом смесеобразования.

Предложенный метод анализа ССПА позволяет в СУ реализовать принцип автоматического управления процессом смесеобразования, сведя участие в нем человека лишь к заданию рецептуры АБС посредством мнемоники интерфейса АСУ ТП. Лабораторные исследования показали, что применение предложенной СУ повышает конечное качество асфальтобетона, по показателю водонасыщения, до 7-22%, т.е. снижает влияние ошибки в дозировке компонент АБС, отклонения от температурного режима, изменения физических свойств МЗ, взятого с другого месторождения или особенности геометрии поверхности частиц.

Расчеты показывают, что экономическая эффективность от внедрения предложенной схемы СУ составляет от 8 до 30 тыс. руб. за производственную смену (500-700 замесов АБС), для АБЗ ДС-185.

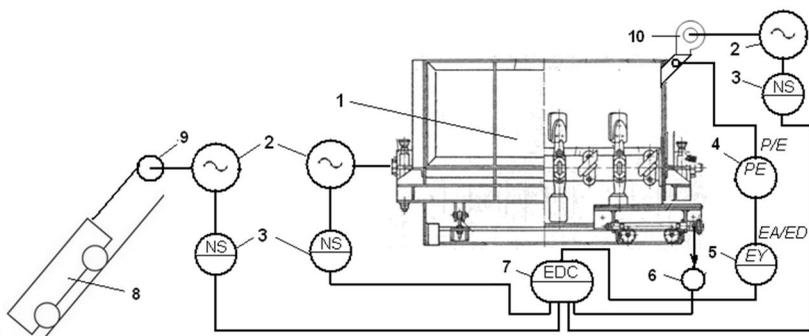


Рисунок 3 – Функциональная схема контроля смешения АБС: 1 – смеситель; 2 – электропривод; 3 – пускатель; 4 – акустический датчик в защитном лабиринте; 5 – аналого-цифровой преобразователь; 6 – гидравлический привод створок смесителя; 7 – универсальный контроллер; 8 – скип; 9 – лебёдка; 10 – вентилятор пылезащиты

Основой показателя эффективности является прибыль отвозможности проведения дополнительных замесов за смену в результате оптимизации времени смешения, следствием, чего является снижение расходов на электроэнергию, потребляемой приводом смесителя, на единицу выпускаемой продукции. Кроме того от внедрения СУ появляется косвенная прибыль от повышения конкурентоспособности на рынке, за счет повышения качества АБС и снижения себестоимости.

Список литературы:

1. Потёмкин В.Г. Акустический контроль качества асфальтобетонных смесей в процессе их приготовления // Вестник БГТУ. 2010. № 2. С. 34-38.
2. Потёмкин В.Г., Печёный Б.Г. Пути совершенствования автоматизации асфальтобетонных заводов // Строительные материалы. 2010. № 10. С. 13-16.
3. Доценко А.И. Комплексная автоматизация производства асфальтобетонной смеси с учетом влияния факторов её транспортировки, укладки и уплотнения: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.06. М., 2005. 436 с.
4. ГОСТ 9128-2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон [Текст]. – Взамен ГОСТ 9128–97; введ. 01.01.2011. – М.: Изд-во стандартов, 2010.
5. Бентад Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов: Пер. с англ. М.: Мир, 1971. 408 с.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ГРУППОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ракунов Ю.П., канд. техн. наук, доц.,

Абрамов В.В., д-р техн. наук, проф.

Московский государственный строительный университет

К научной организации подготовки группового производства предъявляются высокие требования, обеспечивающие в конечном счёте широкое внедрение и надёжную работу автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП), управления предприятием (АСУП), высокопроизводительного оборудования: станков с ЧПУ, автоматических линий, гибких производственных модулей (ГПМ), робото-технических комплексов (РТК).

Групповой метод – это метод унификации технологии производства, при котором для групп однородной (подобной) по тем или иным конструктивно-технологическим признакам продукции (предметов труда) устанавливаются однотипные высокопроизводительные методы обработки с использованием однородных и быстро переналаживаемых орудий производства, что обеспечивает оперативность подготовки и переналадки производства и его экономическую эффективность [1].

Глубина и устойчивость групповой специализации производственных подразделений и рабочих мест зависит от величины и частоты изменения во времени номенклатуры, объёмов выпуска и технологических характеристик продукции, к которым прежде всего следует отнести методы изготовления, трудоёмкость и маршруты прохождения предметов труда. Оптимизация организационной структуры производства связана с глубоким и всесторонним анализом этих факторов, прогнозированием их изменения, а также с совершенствованием методов проектирования и эксплуатации производственных подразделений. Исключительно важное значение имеют методы технологической подготовки группового производства (ТПГП).

ТПГП в серийном приборо- и машиностроении является сложным и трудоёмким процессом, который включает большой комплекс разнообразных технологических работ, выполняемых на различных стадиях построения и функционирования производственной системы.

Весь процесс ТПП можно разделить на две стадии: проектно-технологические работы по созданию нового или реконструкции и техническому перевооружению действующего производства; текущая технологическая подготовка действующего производства.

Первая стадия выполняется, как правило, проектно-технологическими и проектно-строительными институтами (организациями), вторая – технологическими службами заводов.

В проблеме автоматизации инженерных работ традиционно основное внимание уделяется второй стадии ТПП, в то время как, именно на первой стадии формируется техническая база и создаются основные предпосылки для достижения заданных технико-экономических показателей производственного процесса. От качества проектирования производственной системы группового производства в значительной мере зависит эффективность её функционирования.

Организация группового производства на действующих предприятиях связана с полной или частичной перестройкой производственной системы на основе принципов максимальной унификации объектов, способов и средств производства, групповой специализации производственных подразделений и рабочих мест по выполнению технологически однородных работ.

Метод групповой обработки как основа построения технологических процессов (ТП) – важнейшая часть общей цепи подготовки машиностроительного производства: конструирование – технология – организация – экономика. Этим обусловлены и зависимости метода от указанных звеньев, и его прямое влияние на них.

В условиях единичного и серийного производств данный метод создаёт все необходимые предпосылки для организации группового производства – оптимальной формы, отвечающей современным требованиям к организации производства. Ведущие зарубежные предприятия работают в условиях широкого применения группового метода, что позволяет повышать производительность труда более чем в 2 раза [1]. Групповой метод непосредственно связан с унификацией конструкций машин, приборов и их элементов, поскольку в основе унификации технологии лежит классификация продукции. Он связан также с технологической подготовкой, организацией и экономикой производства, так как в значительной мере предопределяет производственную структуру цехов и участков, систему нормирования планирования и обслуживания производства. Чем выше уровень унификации технологии на базе группового метода, тем проще и рациональнее организационные формы производства и тем более

приближаются они к высшей форме организации производства – непрерывному потоку. При совершенствовании организации производства предъявляются особые требования к групповому методу [2].

Наиболее общие задачи, решаемые групповым методом, сводятся к специализации, технологической концентрации в виде многоинструментальной и многопредметной обработки, к совмещению времени выполнения основных и вспомогательных элементов работы и т.п.

Основные этапы работы при организации группового производства приведены на рис. 1.

Принципиальными основами группового метода производства являются: классификация и группирование деталей, видов и методов работ, технологических процессов и средств технологического оснащения, классификация и конструирование групповых приспособлений и другой технологической оснастки; целевая модернизация и специализация оборудования; внедрение групповых поточных и автоматических линий; создание групповых участков и цехов. Кроме того, при групповом методе по-новому решаются вопросы научной организации производства и технического нормирования, например, методом прямого счета.

Разработка группового технологического процесса (ГТП) происходит после классификации деталей и образования из них групп. Должен быть создан такой ГТП, который позволил бы обработать любую деталь группы с минимальными отклонениями от общей технологической схемы. Решение этой задачи облегчается тем, что уже при классификации деталей учитываются возможные методы обработки каждой из них (т.е. определяется инструмент и оборудование, номенклатура и последовательность переходов), обеспечивающие получение качества рабочих поверхностей готовой детали и точности их взаимного положения.

Деталеоперацией (ДО) называют состав переходов (номенклатура и последовательность работы инструментов) при обработке конкретной детали (модели) из данной группы, для которой разработан групповой установ. Таким образом, групповой установ включает столько ДО, сколько моделей деталей скомплектовано в группу.

Групповой технологический установ (ГТУ) является общим для группы различных деталей с определённой групповой установочной и инструментальной оснасткой и инструментом на данном типоразмере оборудования [2,3].

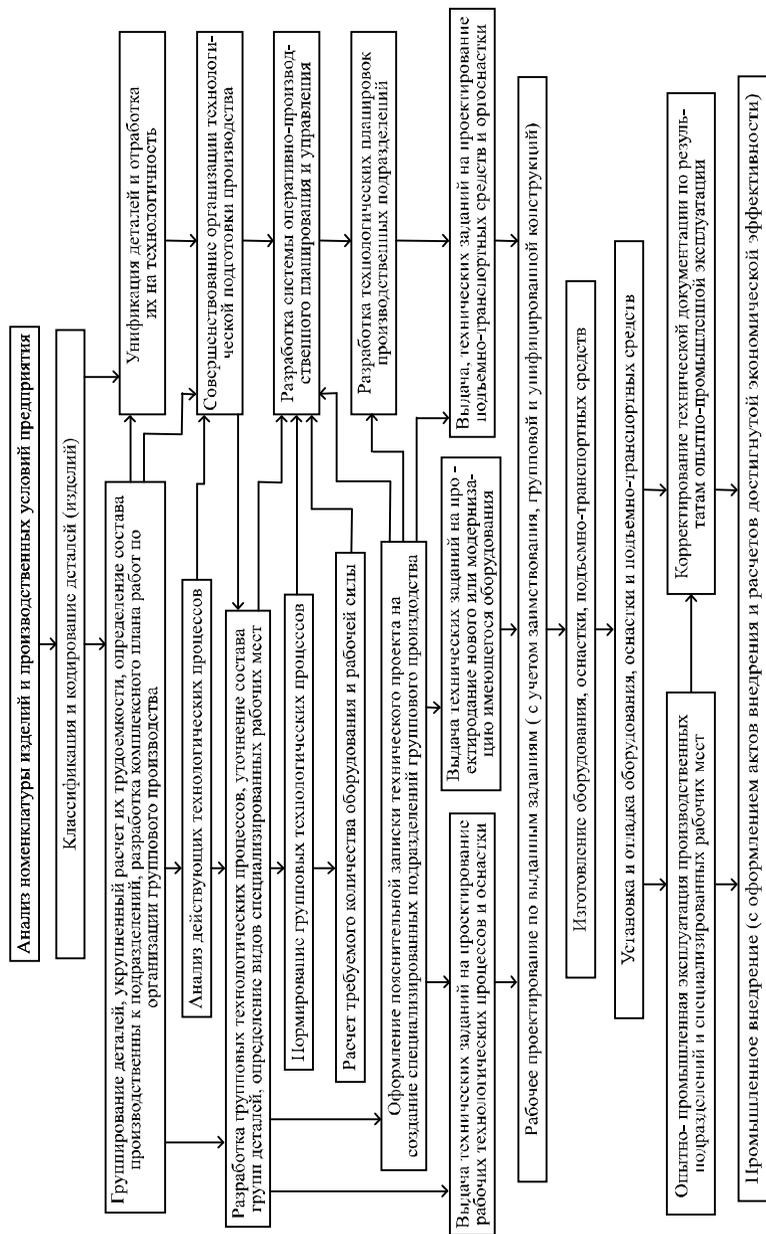


Рисунок 1 - Основные этапы работ при организации группового производства.

Групповой технологический маршрут (ГТМ) – совокупность ГТУ, обеспечивающих обработку различных моделей деталей группы (или нескольких групп), по общему технологическому маршруту. При этом маршруте не исключено прохождение некоторых деталей или групп с пропуском отдельных установов. ГТП являются основой для создания поддетально-групповых участков, участков с замкнутым циклом производства, специализированных участков и групповых (многопредметных) поточных линий. Стандарт ЕСТПП определяет правила разработки ГТП, предназначенных для совместного изготовления или ремонта групп изделий различной конфигурации в конкретных условиях производства на специализированных рабочих местах.

При разработке ГТП необходимо исходить из следующих основных положений:

1. Принятая последовательность ГТУ при групповом маршруте должна обеспечивать обработку любой детали группы в соответствии с чертежом и техническими требованиями.

2. Технологическая оснастка и инструментальные наладки должны быть групповыми или универсально-переналаживаемыми и пригодными для изготовления любой детали группы [4].

3. Применяемые типоразмеры и модели оборудования должны обеспечивать высокопроизводительную обработку при минимальных затратах на их переналадку [5].

4. Технологическая документация должна быть простой по форме, полной по содержанию и удобной для пользования на рабочих местах.

Одновременно с разработкой оптимального процесса следует решать ряд вопросов организационного и технического характера, таких, как: унификация типоразмеров заготовок, выявление межцеховых производственных связей (маршрутов движения деталей по цехам), определение объёма технологически однородных работ и различных подразделениях предприятия, выявление возможностей специализации цехов или отдельных участков, установление способов модернизации оборудования с учётом создания в ряде случаев специализированных, специальных и агрегатных станков, рациональная организация рабочих мест и повышение культуры производства. Накопленный промышленностью опыт по разработке и внедрению групповой обработки и наличие большого количества найденных классификационных групп дают возможность составлять классификаторы типовых комплексных деталей, маршрутных ГТП и деталиеопераций, а также на этой основе с помощью ПК производить классификацию деталей данного производства, осуществлять

адресование деталей к соответствующему ГТП и рабочему месту. Это значительно сокращает затраты времени на проведение работ по классификации с последующим оформлением ГТП.

Список литературы:

1. Розенгауз А.Г., Краснова Г.С., Парамонов Ф.И. Организация производственных процессов в условиях ГПС (механообработка). ММ1.4.1808.87.М.: НИАТ.1988. 188 с.
2. Ракунов Ю.П., Золотова Н.А. Методология построения подсистемы синтеза многоуровневой базовой технологии в групповом производстве. Сб. мат-лов науч.-практ. конф. «Технологическое обеспечение качества машин и приборов». Пенза. 2004. С. 210-214.
3. Ракунов Ю.П., Золотова Н.А. Оптимальный типаж унифицированных резцов для групповой обработки на токарном оборудовании. Сб. мат-лов науч.-практ. конф. «Технологическое обеспечение качества машин и приборов». Пенза. 2004. С. 214-217.
4. Ракунов Ю.П. Оптимизация синтеза инструментальных наладок для станков с ЧПУ// Конструктор-машиностроитель. 2010. № 3,5.
5. Ракунов Ю.П. Управление качеством и производительностью токарной групповой обработки с помощью первичной подсистемы многоуровневой базовой технологии. Мат-лы V междунар. науч.-техн. конф. «Машиностроение - основа технологического развития России» (ТМ-2013). Курск, 2013.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

**Рыбин И.А., аспирант,
Бусловская А.С., студент,
Гончарова К.Э., студент,**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В последние годы происходит роботизация буквально всех сфер человеческой деятельности, в которой наибольшее распространение получили наземные мобильные роботы, предназначенные для перевозки грузов, – робокары, преимущественно имеющие колесный тип передвижения по поверхности. В связи с этим актуальными являются задачи по исследованию систем управления тележками, разработке новых законов управления, модификации, оптимизации и поиску путей улучшения динамики мобильных роботов в целом.

Вместе с тем, несмотря на фундаментальные и прикладные исследования, например, [1], задачи по управлению мобильными роботами до конца не решены. Это связано с различиями кинематических схем аппаратов, различными условиями движения, а также с необходимостью учета реальных факторов движения при построении строгих математических моделей. Одним из способов улучшения управления мобильной платформой является применение интеллектуального закона управления корректирующим устройством на базе нечеткой логики. Основанный на принципе работы человеческого интеллекта нечеткий регулятор может успешно применяться для многомерных, нелинейных и изменяющихся во времени процессов. Целью исследования является разработка и исследование нечеткого закона управления для улучшения управления боковым отклонением мобильной платформы.

Для проведения анализа был выбрана модель робокара, предложенная в работе [2], имеющая ромбовидную схему шасси с двумя маршевыми колесами на поперечной оси и двумя пассивными колесами на продольной оси (рис. 1). Траектория движения колесного транспортного средства, определяется изменением во времени скоростей вращения активных колес. Боковое отклонение Δ робототележки во время движения от заданной кинематической траектории измеряется датчиком, расположенным на продольной оси на расстоянии d от центра масс C тележки.

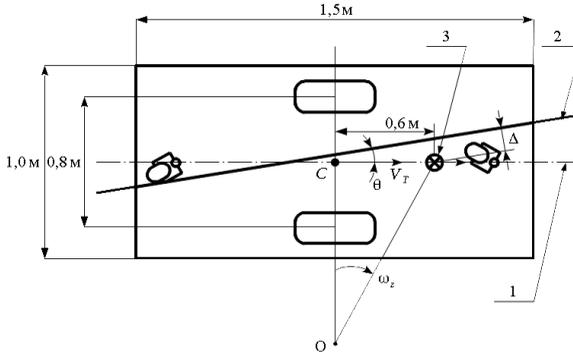


Рисунок 1 – К построению математической модели робокара с ромбовидной схемой шасси: 1 – продольная ось робокара; 2 – кинематическая траектория движения; 3 – датчик бокового отклонения

Структурная схема модели управления (рис. 2) содержит блоки, которые описывают используемые в робокаре датчик бокового отклонения, устройство сравнения, усилитель, двигатели постоянного тока, редукторы и шасси с ведущими колесами.

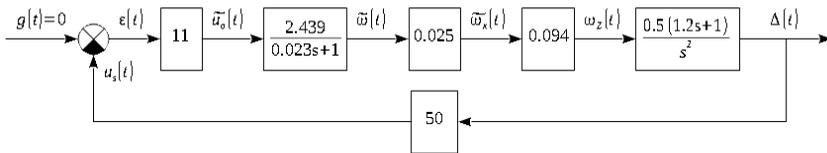


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления боковым отклонением

Анализ использования стандартных линейных регуляторов П, ПИ, ПД, ПИД и других типов показал, что улучшение качества регулирования системы сопряжено с выходом элементов за пределы номинальных режимов работы, что является нежелательным. Поэтому был выбран подход, заключающийся в использовании в качестве корректирующего устройства нечеткого регулятора, на вход которого подаются ошибка и скорость изменения ошибки, а выходной сигнал является управляющим для подсистемы движения робокара.

Для формального представления эмпирических знаний о процессе управления была составлена база продукционных правил системы нечеткого вывода (табл. 1), использующая следующие понятия: «малое

положительное» – PS, «малое отрицательное» – NS, «большое положительное» – PB, «большое отрицательное» – NB, «среднее положительное» – PM, «среднее отрицательное» – NM, «нулевое» – Z для бокового отклонения тележки, скорости изменения отклонения и управляющего воздействия.

Таблица 1 – База продукционных правил

speed eps	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
N	NB	PS	NS	Z	PS	PM	PB
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
P	NB	NM	NS	Z	PS	NS	PB

Функции принадлежности входных переменных – бокового отклонения (eps) и скорости (speed) и выходной переменной – управляющего воздействия (U) представлены на рис. 3.

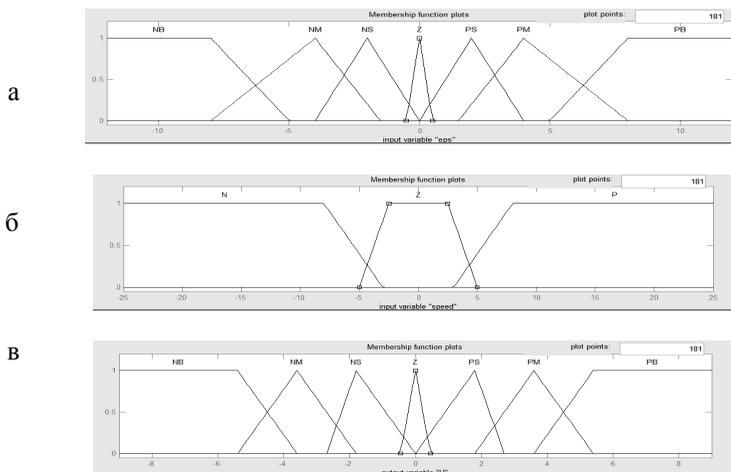


Рисунок 3 – Функции принадлежности: а – функции принадлежности входной переменной “eps”, б – функции принадлежности входной переменной “speed”, в – функции принадлежности выходной переменной “U”

С помощью программной среды MATLAB Simulink были разработаны модели свободного движения системы при ненулевых начальных условиях. Реакция системы с нечетким регулятором,

используя алгоритм Мамдани в процессе нечеткого вывода, и без регулятора показана на рис. 4.

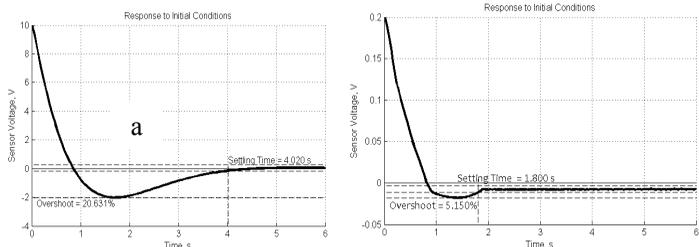


Рисунок 4 – Переходный процесс системы: а – без применения нечеткого регулятора, б – с применением нечеткого регулятора

Сравнивая модель с нечетким регулятором и без него, видно, что показатели качества управления улучшились: модель без корректора этого устройства имеет перерегулирование $\sigma=20,631\%$ и время регулирования $T_p=4,02$ с, а с разработанным законом управления перерегулирование сократилось до $\sigma=5,15\%$, время регулирования уменьшилось до $T_p=1,8$ с. Таким образом, применение интеллектуального корректирующего устройства на базе нечеткой логики обеспечило приемлемые показатели качества процесса управления боковым отклонением мобильной платформы.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 12-07-97526-р_центр_а «Информационно-вычислительные интеллектуальные системы управления роботизированных транспортных средств для решения логистических задач промышленных и агропромышленных производств», государственного задания Минобрнауки РФ № 01201256918.

Список литературы:

1. Рубанов В.Г. Системный подход к проектированию управляемых мобильных логистических средств, обладающих свойством живучести // Научные ведомости БелГУ. Серия: История, Политология, Экономика, Информатика. 2011. № 1 (96). Вып. 17/1. С. 176-187.
2. Рубанов В.Г., Кижук А.С. Мобильные микропроцессорные системы автоматизации транспортно-складских операций. Мобильные робототехнические системы. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 288 с.
3. Рубанов В.Г., Филатов А.Г. Интеллектуальные системы автоматического управления. Нечеткое управление в технических системах. 2-е изд., стер. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2010. 170 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДАВЛЕНИЯ ВИБРАЦИИ ПОМОЛЬНОГО АГРЕГАТА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕЕ РАБОТЫ

Стативко С.А., аспирант,

Рубанов В.Г., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Широкое применение тонкого и сверхтонкого измельчения привело к созданию большого числа измельчителей разных типов. Известен помольный агрегат [1-2] с заданными траекториями движения помольных камер. Разработанная система автоматического подавления негативной вибрации осуществляет косвенное регулирование, без использования датчика вибрации. В состав системы входят подсистемы управления положением противовеса, частотой вращения эксцентрикового вала и производительностью (рис. 1) [3-5].

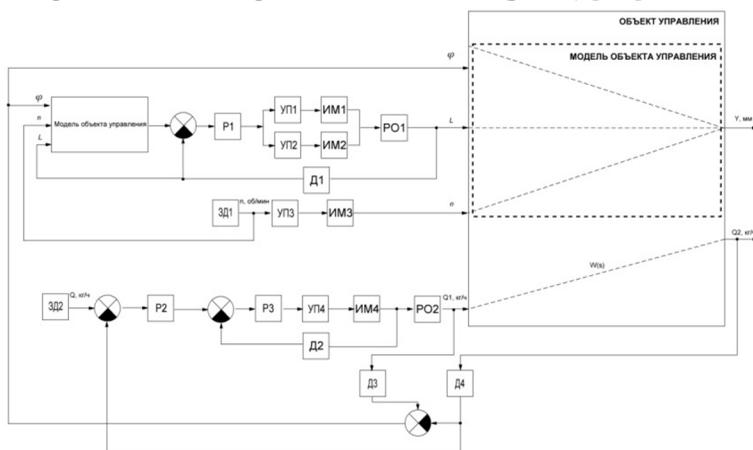


Рисунок 1 – Структура системы автоматического подавления вибрации: ЗД1, ЗД2 – задатчики; P1, P2 – регуляторы; УП1-УП4 – усилители преобразователи; ИМ1-ИМ4 – исполнительные механизмы; РО1, РО2 – рабочие органы; Д1, Д2, Д3, Д4 – датчики

На основе экспериментальных исследований опытно-промышленного образца помольного агрегата с модульным уравновешивающим устройством (рис. 2) была получена регрессионная зависимость вида:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_i X_i + \dots + b_n X_n + b_{12} X_1 X_2 + \dots + b_{(i-1)i} X_{i-1} X_i + \dots + b_{(n-1)n} X_{n-1} X_n + b_{11} X_1^* + \dots + b_{ii} X_i^* + \dots + b_{nn} X_n^*,$$

$$X_{ji}^* = X_{ji}^2 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ji}^2,$$

где переменные величины определяются как и с помощью которой получаем поверхность статических характеристик объекта управления и используем ее для определения режима работы в текущий момент времени [6], также можно определить рациональное положение $L(\text{мм})$ противовеса модульного уравнивающего устройства, соответствующее минимальному уровню вибрации для данного режима работы измельчителя. Поверхность статических характеристик представляет собой зависимость уровня вибрации опор измельчителя от коэффициента загрузки φ (%) в помольных камерах и положения противовеса $L(\text{мм})$ при различных фиксированных значениях частоты вращения $n(\text{об/мин})$ эксцентрикового вала.



Рисунок 2 – Модульное уравнивающее устройство

Управляющее воздействие для изменения положения противовеса формируется регулятором (Р1) на основе задания поступающего с модели объекта управления (см. рис. 1). На первом шаге работы модель получает информацию: о плече L , на котором находится противовес, $x_{2\varphi}$; о коэффициенте загрузки помольных камер φ , $x_{3\varphi}$; и о частоте вращения n эксцентрикового вала, $x_{1\varphi}$. По полученным данным определяется положение статической характеристики, например, 2-ая кривая статической характеристики (рис. 3), и положение рабочей точки, точка 1 на 2-ой кривой, для которой определяется фактическая величина вибрации Y_φ .

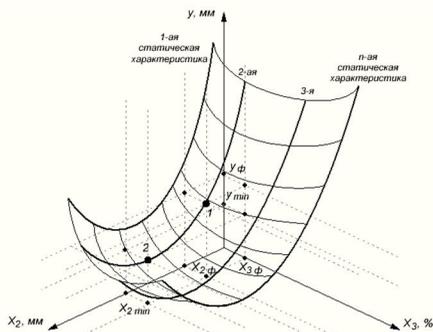


Рисунок 3 – Статические характеристики помольного агрегата для заданной частоты вращения эксцентрикового вала

Далее определяется минимально возможный уровень вибрации Y_{\min} для найденной характеристики. Согласно Y_{\min} определяется положение противовеса $x_{2\min}$, которые в совокупности с $x_{3\phi}$ определяют 2-ю точку. На основании полученных значений Y_{\min} и Y_{ϕ} , определяется величина $\delta = Y_{\phi} - Y_{\min}$.

Если величина δ больше некоторого допустимого значения $\delta_{\text{доп}}$, модель выставляет новое задание для регулятора, реализующего трехпозиционное управление [7].

Модульное уравнивающее устройство [8] является специфическим. Для управления положением противовеса разработан алгоритм, реализующий работу трехпозиционного регулятора с адаптацией крайних позиций.

Средняя позиция регулятора является фиксированной и настроенной под нагрузку, с которой работает объект, которая определяется по модели, содержащей уравнение регрессии. Необходимость фиксированности средней позиции связана со сложностью использования сигнала средней позиции, находящегося между значениями сигналов крайних позиций, из-за невозможности сопряжения регулятора, работающего на средней позиции с двумя электромагнитными муфтами, работающими поочередно, так как их удобнее всего использовать в режимах «вкл»/«выкл».

В случае выбега регулируемой величины за пределы зоны нечувствительности Δu трехпозиционного регулятора включается в работу одна из крайних позиций и одновременно осуществляется адаптация для недействующей крайней позиции в текущий момент в сторону сближения со средней позицией скачком на величину Δh .

Адаптация крайних позиций прекращается при достижении ими некоторого заданного порогового значения. При изменении нагрузки объекта управления происходит перенастройка средней позиции под новую нагрузку объекта.

Моделирование подсистемы управления положением противовеса проводилось в среде Simulink с учетом инерционности объекта управления с целью сравнения предложенного трехпозиционного регулятора с адаптацией крайних позиций и трехпозиционного регулятора с фиксированными позициями.

Результаты моделирования показали увеличение точности позиционирования противовеса и уменьшение количества включений электромагнитных муфт, вследствие устранения автоколебаний.

Подсистема управления производительностью помольного агрегата содержит подсистему регулирования скорости вращения вала электродвигателя. Передаточные функции двигателя постоянного тока получены из уравнений электрического и механического равновесия. На рис. 4 показана структура модели подсистемы управления производительностью измельчителя в среде Simulink.

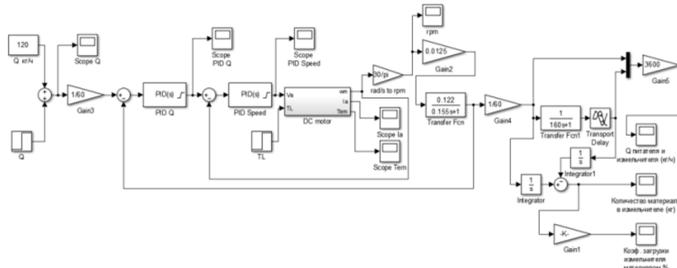


Рисунок 4 – Структура модели подсистемы управления производительностью измельчителя

На рис. 5 представлены результаты моделирования подсистемы управления производительностью измельчителя.

Используя модель асинхронного двигателя с применением блоков библиотеки SimPowerSystems среды Simulink и объединяя все подсистемы управления системы получаем схему модели системы подавления вибрации помольного агрегата (рис. 6).

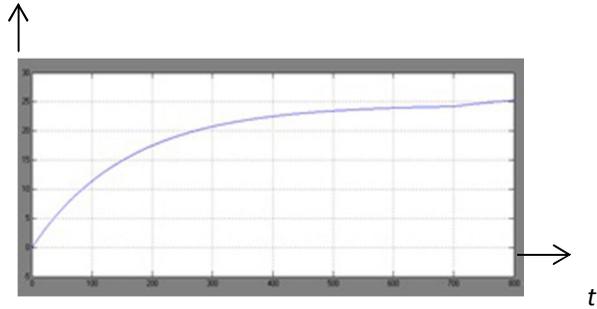


Рисунок 5 – График изменения коэффициента загрузки помольных камер измельчителя при изменении производительности

Работа блоков `model` и `model1` осуществляется согласно подпрограмме, представляющей S-функцию написанную на языке программирования MATLAB.

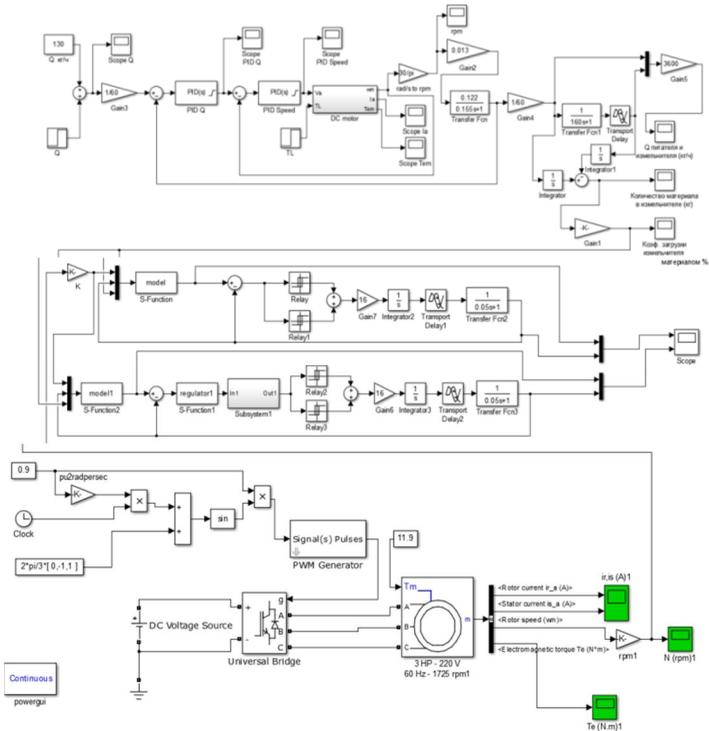


Рисунок 6 – Модель трехканальной системы автоматического подавления вибрации среде Simulink

На рис. 7 приведены результаты моделирования системы автоматического подавления вибрации помольного агрегата при работе трехпозиционного регулятора с фиксированными позициями и трехпозиционного регулятора с адаптацией крайних позиций, из которых можно видеть, что система реагирует на изменение режима работы измельчителя, а именно на увеличение производительности, модель выставляет положение противовеса, соответствующее минимальной вибрации, в качестве задания для подсистемы управления положением противовеса.

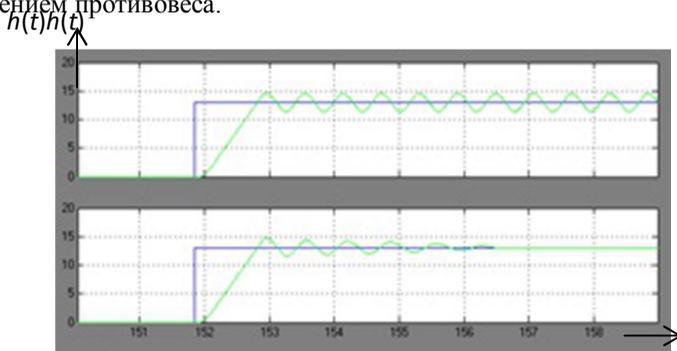


Рисунок 7 – Графики показывающие работу системы автоматического подавления вибрации среде Simulink

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При трехпозиционном регулировании с адаптацией крайних позиций уменьшилось количество включений электромагнитных муфт и повысилась точность позиционирования противовеса, что приводит к подавлению негативно влияющей вибрации на узлы и детали помольного агрегата.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № НК-14-41-08009/14 p_офи_м.

Список литературы:

1. Пат. 2277973 Российской федерация, В 02С 17/08. Помольно-смесительный агрегат / Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Сеница Е.В.; заявитель и патентообладатель ООО «ТК РЕЦИКЛ»; опубл. 20.06.06, Бюл. №17

2. Севостьянов В.С., Уральский В.И., Сеница Е.В. Центробежный помольно-смесительный агрегат // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. № 11. С. 215-217
3. Рубанов В.Г., Севостьянов В.С., Стативко С.А., Бушуев Д.А. Вопросы автоматизации помольно-смесительных агрегатов для получения высокодисперсных материалов // Инновационные технологии и материалы (XX Научные чтения): Междунар. науч.-практ. конф., (Белгород, 11-12 окт. 2011 г.), Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. Ч.2. С. 215-220.
4. Rubanov V.G. Disaggregation of control system synthesis for mobile vehicle with survivability property. Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. Т. 15. № 12. С. 1666-1674.
5. Рубанов В.Г. Системный подход к проектированию управляемых мобильных логистических средств, обладающих свойством живучести // Научные ведомости БелГУ. Серия: История, Политология, Экономика, Информатика. 2011. №1 (96). Вып. 17/1. С. 176-187.
6. Стативко С.А., Рубанов В.Г. Идентификация помольного агрегата в номинальном режиме функционирования методами планирования эксперимента // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 12. Тула: ТулГУ, 2013. С. 282-292.
7. Магергут В.З., Егоров А.Ф., Вент Д.П. Адаптивные позиционные регуляторы и перспективы их применения // Приборы и системы управления. 1998. №11. С. 53-56.
8. Пат. 2494813 Российская федерация, В02С17/14. Помольно-смесительный агрегат с автоматической балансировкой / Глаголев С.Н., Рубанов В.Г., Севостьянов В.С., Уральский В.И., Стативко А.А., Стативко С.А., Бушуев Д.А.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; опубл. 10.10.13, Бюл. №28.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ И МОДЕЛИРОВАНИИ

Андриянов А.И., Бутарев И.Ю. Управление нелинейной динамикой в области мультистабильности на основе линеаризации отображения Пуанкаре.....	3
Батищев Д.С., Михелев В.М. Инфраструктура облачной системы для обработки медицинских данных	8
Бережной В.А., Юдин Д.А. Система преобразования жестов в текстовый вид на основе носимого устройства	13
Бурдо Г.Б., Исаев А.А. Диспетчирование технологических процессов на основе нечеткого управления	19
Галкин А.В., Жбанов С.А., Бирюкова С.М., Райкова О.А. Исследование и разработка математической модели потребления топлива сельскохозяйственной техникой	26
Галкин А.В., Сараев П.В. Применение интервальных методов решения дифференциальных уравнений в практических задачах	31
Гермашев И.В., Силина А.Ю. Оценка возраста конструкционных систем	36
Карпов Б.Н., Симановский А.М., Олехнович В.П., Гуров А.А. Создание системы мониторинга автомобильных дорог в Санкт-Петербурге с использованием информационных технологий	41
Коломыцева Е.П., Стативко Р.У. Рекомендации по рациональному крою досок заданного размера.....	46
Кривонос В.А., Козырь О.Ф. Разработка технологии автономных сценариев для управления информационными ресурсами	51
Порхало В.А., Кныш А.С. Разработка робототехнической платформы с применением технического зрения на основе микрокомпьютера.....	56
Стативко Р.У. Нечеткое моделирование социотехнических систем	61
Сысоев А.С. Идемпотентный подход к графоструктурному моделированию городских транспортных перекрестков	67
Ушакова Н.Н. Верификация контуров на материалах дистанционного зондирования для информационной поддержки территориальных систем.....	74
Юренко К.И., Фандеев Е.И. Исследование режимов движения поезда средствами визуального моделирования	79

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Алексеев В.В., Богатиков В.Н., Палюх Б.В. Методы определения технологической безопасности для целей управления промышленными процессами	83
Алексеев М.В., Гайдин А.А., Козенко И.А. Учебный программно-технический комплекс для изучения преобразователя частоты ПЧВ101	91
Аторина А.А., Величко Д.В. Микроконтроллерная система управления трехвалковым формовочным станом для производства прямошовных труб	93
Бабенков В.А. Система стабилизации технологических параметров процесса производства экстракционной фосфорной кислоты	98
Беккер В.Ф. Адаптация математического описания динамики к условиям процесса вакуумной сепарации	103
Белюсов А.В., Кошлич Ю.А., Шевкунов А.А., Ширяев В.К. Идентификация параметров объекта регулирования расхода	110
Большаков А.А., Железов М.А., Лобанов В.В., Никонов А.В., Сгибнев А.А. Метод формирования трехмерных изображений для объемных дисплеев	115
Большаков А.А., Лачугин Д.В., Лобанов В.В. Создание архитектуры программно-аппаратного модуля вторичного преобразователя информации для адаптивной системы обработки информации	122
Ващенко Р.А., Бажанов А.Г., Магергут В.З. Разработка модели функционирования узла «концентрация кислорода в отходящих газах» на основе нечетких диаграмм поведения	127
Величко Д.В., Рубанов В.Г., Магергут В.З. Об одном подходе к построению математической модели процессов теплообмена при нагреве пеностеклянной шихты	133
Воргуль А.И., Воргуль И.А. Модернизация загрузки цементовозов со стационарной аспирацией	138
Гальченко Г.А., Логвинов В.И. Элементы оптимизации транспортных процессов как фактор формирования практической компетентности студентов	144

Гольцов Ю.А., Мишунин В.В., Гоков И.В. Моделирование динамических свойств систем с передаточными функциями дробного порядка	150
Гольцов Ю.А., Кижук А.С. Система высокоточного регулирования температуры с нагревателем высокой мощности	155
Григоров М.С., Басов О.О. Анализ распределения энергии рентгеновского изображения по частотным интервалам	160
Добринский Е.П., Рубанов В.Г. Бортовая вычислительная система управления автоматизированным транспортным средством	166
Дубровский И.И., Лукьянов В.Л. Алгоритм реализации метода Орманса для описания объектов управления	173
Емельянов В.А. Распознавание термограмм футерованных объектов на основе нейронной сети Кохонена	177
Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И. Применение нейронных сетей для выделения полезной информации из спектра сигнала на примере сигнала виброускорения цапфы шаровой мельницы	182
Жук С.А., Рыбин И.А., Мишуров С.В., Носальчук Р.О., Магергут В.З. Лабораторный стенд для изучения нечетких и адаптивных позиционных систем управления	187
Коновалов Р.С., Соломин М.И., Львов А.А. Повышение точности измерения выходной частоты пьезорезонансных датчиков давления	193
Крюков А.В. Разработка основного алгоритма работы адаптивной тестирующей системы.....	199
Кудряшов В.С., Иванов А.В., Тарабрина О.В. Цифровая адаптивная система управления процессом сушки солода	204
Кудряшов В.С., Рязанцев С.В., Свиридов Д.А. Алгоритм функционирования автономной системы регулирования в условиях нестационарности.....	211
Кудряшов В.С., Рязанцев С.В., Хромых Е.А., Козенко И.А. Моделирование многосвязной системы управления процессом химической промышленности	215
Кукушкин А.В., Лабутин А.Н., Волкова Г.В., Семенов Ю.В. Синтез векторного алгоритма управления химическим реактором при проведении реакции типа: $A+B \rightarrow P$	220
Левин В.И. Моделирование и оптимизация неопределенных систем с помощью интервальной математики.....	226
Левин В.И. Моделирование систем в условиях неопределенности с помощью интервально-дифференциального исчисления.....	229

Лесунов М.Е., Фролов С.В., Юдин Д.А. Распределенная система распознавания автомобильных номеров на изображениях	234
Логвинов В.И., Гальченко Г.А. Кинематика двурукого манипулятора мобильного робота для атомной промышленности.....	240
Лубенцова Е.В. Синтез робастной помехозащищенной системы с нелинейностью на входе регулятора.....	250
Магергут В.З., Ширяев В.К. Идентификация параметров промышленных объектов аperiodическим звеном первого порядка с запаздыванием.....	256
Магергут В.З., Шевцов М.Ю., Саблин А.В., Дубовик Н.С. Постановка задач по управлению окислительной колонной в производстве олифы.....	262
Мамышев Д.Е., Рыбин И.А., Магергут В.З. Разработка программы адаптивного регулирования температуры для микроконтроллера ATMEGA168PA модуля управления E60C-M1 холодильника «АТЛАНТ»	271
Невиницын В.Ю., Лабутин А.Н., Волкова Г.В. Оптимизация и управление реакторным узлом с распределенной подачей исходного реагента.....	276
Потёмкин В.Г., Полунин А.И. Локальная система управления приготовлением асфальтобетонных смесей	281
Ракунов Ю.П., Абрамов В.В. Научно-методические основы технологической подготовки группового производства	288
Рыбин И.А., Бусловская А.С., Гончарова К.Э. Разработка и исследование нечеткого закона управления движением мобильной платформы.....	294
Стативко С.А., Рубанов В.Г. Система автоматического подавления вибрации помольного агрегата и моделирование ее работы.....	298