

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»



**Международная научно-техническая
конференция**

**«АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ»**

26–31 декабря 2024 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Минск

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»



**Международная научно-техническая
конференция**

**«АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ»**

26–31 декабря 2024 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Минск

УДК [658.52:331.103.255+681.5]:005.745(06)

ББК 32.965я73

А 22

Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–31 декабря 2024 г. [Электронный ресурс] / Белор. гос. технол. ун-т. ; отв. за изд. И.В. Войтов. – Минск : БГТУ, 2024. – 97 с.

ISBN 978-985-897-257-8.

В материалах конференции обобщены результаты исследований в области автоматического контроля технологических параметров; разработке преобразователей сигналов; систем управления технологическими процессами в химической, нефтеперерабатывающей, деревообрабатывающей промышленности; исследованию и разработке систем автоматического управления; разработке адаптивных, нечетких и нейронных систем управления; фундаментальным методам исследований явлений с использованием статистической теории.

Сборник предназначен для специалистов, работающих в области автоматизации производственных процессов, научных сотрудников, аспирантов и студентов ВУЗов.

Рецензенты: зав. кафедрой методов оптимального управления БГУ,
профессор, д-р физ.-мат. наук А.И. Калинин
профессор БГУИР, д-р техн. наук А.П. Кузнецов

Редакционная коллегия:

Главный редактор	ректор И.В. Войтов
Члены редколлегии:	канд. техн. наук Д.С. Карпович
	профессор, д-р физ.-мат. наук Н.Н. Крук
	канд. физ.-мат. наук И.К. Асмыкович

ISBN 978-985-897-257-8

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2024

Достижения в области математики, физики, кибернетики, электротехники, развитие средств вычислительной техники, информационных технологий существенно расширяют возможности создания высокоэффективных производственных процессов и методов управления ими.

В планах развития технологий производства и технологий управления на базе Белорусского государственного технологического университета в г. Минске проведена очередная Международная научно-техническая конференция (предыдущая состоялась в 2018 г.).

На секциях представлены научные доклады ученых из различных регионов Республики Беларусь, Российской Федерации, Республики Узбекистан.

Тематика представленных научно-исследовательских работ весьма обширна и посвящена разработке элементов, систем автоматического контроля технологических параметров на основе пленочных интегральных газочувствительных устройств, на основе ядерного магнитного резонанса, электромагнитной расходомерии; разработке преобразователей сигналов и средств обработки сигналов; исследованию и разработке линейных и нелинейных детерминированных систем автоматического управления на основе структурно-параметрического синтеза; разработке адаптивных систем управления, систем управления электроприводами промышленных механизмов и манипуляторов; систем управления технологическими процессами в химической, нефтеперерабатывающей, деревообрабатывающей промышленности; разработке моделей математическими методами анализа, а также информационному обеспечению АСУ и АСУТП.

Представленные материалы направлены на повышение дальнейших научных исследований, связанных с разработкой новых эффективных технологий в различных отраслях промышленности.

Материалы данной конференции представлены в настоящем сборнике.

ОРГКОМИТЕТ

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель

ВОЙТОВ И.В. – ректор, д-р техн. наук, профессор

Зам. председателя

САКОВИЧ А.А. – первый проректор, канд. техн. наук

ФЛЕЙШЕР В.Л. – проректор по научной работе канд. техн. наук

КАРПОВИЧ Д.С. – зав. кафедрой АППиЭ, канд. техн. наук

Члены оргкомитета

КУЗНЕЦОВ А.П. – профессор кафедры систем управления БГУИР, д-р техн. наук, г. Минск;

АЛЕКСАНДРОВСКИЙ С.В. – зав. кафедрой электрооборудования и автоматизации промышленных установок БНТУ, доц., канд. техн. наук, г. Минск;

ДЖУМАЕВ О.А. – зав. кафедрой метрологии Навоийского государственного горно-технологического университета, д-р техн. наук, профессор, г. Навои, Узбекистан;

ПОПАДЬКО В.Е. – декан факультета автоматики и вычислительной техники РГУ нефти и газа, профессор, д-р техн. наук, г. Москва, Россия;

УРБАНОВИЧ П.П. – профессор кафедры информационных систем и технологий БГТУ, д-р техн. наук;

КИШКУРНО В.В. – зам. генерального директора ОАО «Светлогорский ЦКК»;

КРУК Н.Н. – зав. кафедрой физики БГТУ, профессор, д-р физ.-мат. наук;

ЧЕРНИК Е.О. – начальник отдела ОНТМ, НИ и НИРС БГТУ

Д.А. Богданович, магистрант;
Д.С. Карпович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ: ТЕНДЕНЦИИ, ВОЗМОЖНОСТИ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ВОЗНИКАЮЩИХ ПРОБЛЕМ

Современные технологии стремительно меняют облик энергетической отрасли, становясь основой для её развития и модернизации. В условиях растущих требований к энергосбережению, устойчивости и безопасности энергосистем автоматизация процессов электроснабжения выходит на первый план. Она позволяет не только оптимизировать управление энергопотоками, но и обеспечить их бесперебойное функционирование даже в условиях возрастающей сложности электрических сетей.

Автоматизация электроснабжения предприятий и внедрение автоматизированных систем управления энергосетями открывают новые горизонты для повышения эффективности, надёжности и экономичности работы энергосистем. Эти процессы основываются на интеграции аппаратных решений, сенсоров, программного обеспечения и методов анализа данных, что позволяет оптимизировать распределение электроэнергии, минимизировать её потери и обеспечивать стабильное энергоснабжение потребителей.

Автоматизированные системы управления электроснабжением (АСУЭ) представляют собой комплекс решений, включающих сенсорные устройства для сбора данных, контроллеры для управления процессами и программное обеспечение для анализа и прогнозирования. Эти элементы обеспечивают автоматизацию таких процессов, как регулирование напряжения, управление энергопотреблением, диагностика состояния оборудования и управление аварийными ситуациями [1–3].

Автоматизация энергосистем имеет множество преимуществ, начиная с повышения энергоэффективности. Оптимизация распределения электроэнергии и точный контроль за нагрузкой позволяют избежать перегрузок и избыточного потребления. Надёжность работы системы также существенно возрастает за счёт внедрения средств автоматической защиты, которые реагируют на нештатные ситуации, предотвращая аварии. Экономия достигается благодаря снижению эксплуатационных расходов, автоматизации учёта электроэнергии и сокращению потребности в обслуживающем персонале. Дополнительным преимуществом является повышение безопасности сотрудников,

так как сокращается их контакт с высоковольтным оборудованием. Также автоматизация способствует уменьшению углеродного следа предприятий, поддерживая экологические инициативы и внедрение возобновляемых источников энергии.

Современные тенденции в автоматизации энергосистем связаны с цифровизацией и внедрением интеллектуальных технологий. Концепция «умных сетей» объединяет элементы энергосистем в единую платформу, что упрощает управление и мониторинг. Использование искусственного интеллекта позволяет прогнозировать аварийные ситуации и оптимизировать энергопотребление, а технологии Интернета вещей обеспечивают сбор данных о состоянии сетей в реальном времени. Возобновляемые источники энергии, такие как солнечные и ветровые электростанции, успешно интегрируются в энергосистемы благодаря новым технологическим решениям. Анализ больших данных, генерируемых АСУЭ, помогает предприятиям находить скрытые резервы для экономии и повышения эффективности [3].

Автоматизация энергосистем имеет важное значение для различных отраслей промышленности. Диспетчеризация играет важную роль в автоматизации, позволяя централизованно управлять энергосистемами, отслеживать их состояние и рационально распределять мощность. Это приводит к снижению заявленной мощности и значительной экономии электроэнергии [4].

Для достижения максимального эффекта автоматизация энергосистем должна быть комплексной. Это предполагает разработку стратегии, модернизацию оборудования, интеграцию современных технологий и подготовку квалифицированного персонала. Таким образом, автоматизация электроснабжения открывает перед предприятиями новые возможности для повышения конкурентоспособности, устойчивости и эффективности. Развитие технологий позволяет адаптировать энергосистемы к изменяющимся требованиям, создавая надёжные и экологически устойчивые решения.

Несмотря на очевидные преимущества автоматизации систем электроснабжения, её внедрение и эксплуатация сопряжены с рядом вызовов и проблем, которые требуют тщательного анализа и проработки. Эти трудности охватывают широкий спектр проблем, начиная от технической модернизации и экономической эффективности до вопросов организации процессов и обеспечения безопасности автоматизированных систем.

1. Технические проблемы: на многих предприятиях инфраструктура устарела и не всегда совместима с новыми системами. Модернизация требует значительных затрат и сложной интеграции компонентов. Дополнительно на работу систем влияют внешние факторы, такие

как перепады напряжения, физические повреждения и нестабильность сети.

2. Экономические вызовы: внедрение автоматизации требует значительных финансовых инвестиций на оборудование, программное обеспечение и обучение персонала. Окупаемость таких проектов может занимать длительное время, а непредвиденные расходы усложняют процесс.

3. Дефицит квалифицированных кадров: современные системы требуют специалистов высокой квалификации, способных работать с новыми технологиями. Недостаток таких кадров приводит к увеличению их стоимости и дополнительным расходам на обучение и адаптацию персонала.

4. Кибербезопасность: цифровизация повышает риски кибератак, которые могут привести к сбоям и утечке данных. Это требует постоянного обновления систем защиты, внедрения шифрования и контроля доступа для предотвращения угроз.

5. Социальные проблемы: Автоматизация приводит к сокращению рабочих мест, что вызывает недовольство среди сотрудников. Необходимость их переподготовки и социальной адаптации становится дополнительным вызовом для предприятий.

6. Интеграция возобновляемых источников энергии: Переменный характер генерации от солнечных и ветровых установок требует гибкости управления энергосистемами и дополнительных решений для обеспечения баланса и стабильности.

Таким образом, трудности, стоящие перед автоматизацией систем электроснабжения, требуют комплексного подхода и проработки на всех уровнях. Для успешного преодоления этих проблем необходимо сочетать модернизацию инфраструктуры с подготовкой квалифицированного персонала, учитывать экономическую целесообразность внедрения технологий, а также обеспечивать высокие стандарты кибербезопасности. Только комплексное решение этих вопросов позволит предприятиям использовать автоматизацию как эффективный инструмент для устойчивого и безопасного развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарыгин, М. В. Цифровая защита и автоматика систем электроснабжения с активными промышленными потребителями / М. В. Шарыгин, А. Л. Куликов. – Вологда : Инфра–Инженерия, 2022. – 268 с.

2. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие / В. Н. Радкевич, В. Б. Козловская, И. В. Колосова. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 589 с.

3. Воронов, В. Е. Проблемы автоматизации технологических процессов и производств / В. Е. Воронов // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2019, №1. – С. 143–147.

4. Цифровизация электроэнергетики: предлагаемые принципы реализации. – Режим доступа: https://fondsmena.ru/media/EGM_publicationfiles_Article/Цифровизация_электроэнергетики_-_предлагаемый_принципы_реализации._Опадчий_Ф.Ю.pdf. – Дата доступа – 12. 10.2024.

5. Энергоснабжение промышленного предприятия. – Режим доступа: <https://ruzkabel.ru/8-sposobov-kak-obespechit-besperebojnoe-energосnabzhenie-predpriyatiya>. – Дата доступа – 12.10.2024.

УДК 517.977

А.А. Якименко (БГТУ, г. Минск)

МОДАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОДНОЙ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ

Рассмотрим линейную стационарную систему с запаздывающим аргументом с одним входом и двумя соизмеримыми запаздываниями:

$$\dot{x}(t) = A_0x(t) + A_1x(t-h) + A_2x(t-2h) + bu(t), \quad (1)$$

где A_j , $j=0, 1, 2$ – постоянные (2×2) -матрицы; $h > 0$ – постоянное запаздывание; b – постоянный 2-вектор; u – скалярное управление. Не ограничивая общности, можно считать, что $b' = (0 \ 1)$ (штрих $(\cdot)'$ означает транспонирование).

Характеристическое уравнение разомкнутой (с нулевым управлением) системы (1) имеет вид

$$\det[\lambda I_2 - A_0 - A_1e^{-\lambda h} - A_2e^{-2\lambda h}] \equiv \lambda^2 + (\alpha_{10} + \alpha_{11}e^{-\lambda h} + \alpha_{12}e^{-2\lambda h})\lambda + \alpha_{00} + \alpha_{01}e^{-\lambda h} + \alpha_{02}e^{-2\lambda h} + \alpha_{03}e^{-3\lambda h} + \alpha_{04}e^{-4\lambda h} = 0, \quad (2)$$

где $\lambda \in \mathbb{C}$, $e^{-j\lambda h}$ – оператор сдвига ($e^{-j\lambda h}x(t) \equiv x(t-jh)$).

Присоединим к системе (1) регулятор вида

$$u(t) = \sum_{j=0}^M q'_j x(t-jh) + \int_{-lh}^0 g'(s)x(t+s)ds, \quad (3)$$

где $l, M \in \mathbb{N}$, q_j , $j=0, 1, \dots, M$ – 2-векторы; $g(s)$, $s \in [-h, 0]$ – непрерывная 2-вектор-функция.

В частотной области регулятор (3) имеет вид

$$U(\lambda) = \sum_{j=0}^M q'_j e^{-j\lambda h} + G(\lambda), \quad (4)$$

где $G(\lambda)$ – целая функция, определяющая интегральную часть (3).

Определение. Система (1) модально управляема регулятором вида (3), если для наперед заданных чисел $\tilde{\alpha}_{ij}$, $i=0, j=0, 1, 2, 3, 4$; $i=1, j=0, 1, 2$ найдется такой регулятор, при котором характеристическое уравнение замкнутой системы (1), (3) будет иметь вид (ср. с формулой (2)):

$$\begin{aligned} \det[\lambda I_2 - A_0 - A_1 e^{-\lambda h} - A_2 e^{-2\lambda h} - bU(\lambda)] &\equiv \\ &\equiv \lambda^2 + (\tilde{\alpha}_{10} + \tilde{\alpha}_{11} e^{-\lambda h} + \tilde{\alpha}_{12} e^{-2\lambda h})\lambda + \\ &+ \tilde{\alpha}_{00} + \tilde{\alpha}_{01} e^{-\lambda h} + \tilde{\alpha}_{02} e^{-2\lambda h} + \tilde{\alpha}_{03} e^{-3\lambda h} + \tilde{\alpha}_{04} e^{-4\lambda h} = 0. \end{aligned}$$

Пусть

$$\mu_1 = \tilde{\alpha}_{10} + \tilde{\alpha}_{11} m + \tilde{\alpha}_{12} m^2; \quad (5)$$

$$\mu_2 = \tilde{\alpha}_{00} + \tilde{\alpha}_{01} m + \tilde{\alpha}_{02} m^2 + \tilde{\alpha}_{03} m^3 + \tilde{\alpha}_{04} m^4, \quad (6)$$

где $\tilde{\alpha}_{ij}$, $i=0, j=0, 1, 3, 4$; $i=1, j=0, 1, 2$ – произвольные числа. Тогда система (1), замкнутая регулятором, решающим задачу модального управления, имеет следующее характеристическое уравнение:

$$\lambda^2 + \mu_1 \lambda + \mu_2 = 0. \quad (7)$$

Обозначим $m = e^{-\lambda h}$ – оператор сдвига ($m x(t) = x(t-h)$), $A(m) = A_0 + A_1 m + A_2 m^2$. Не ограничивая общности, можно считать, что матрица $A(m)$ имеет вид

$$A(m) = \begin{bmatrix} a_0 + a_1 m & b_0 + b_1 m + m^2 \\ a_{21}(m) & a_{22}(m) \end{bmatrix},$$

где

$$\begin{aligned} a_{21}(m) &= a_{210} + a_{211} m + a_{212} m^2; \\ a_{22}(m) &= a_{220} + a_{221} m + a_{222} m^2. \end{aligned} \quad (8)$$

В данном докладе рассмотрим случай

$$a_1 = 0. \quad (9)$$

Тогда матрица $A(m)$ примет вид

$$A(m) = \begin{bmatrix} a_0 & b_0 + b_1 m + m^2 \\ a_{21}(m) & a_{22}(m) \end{bmatrix}.$$

Регулятор, решающий задачу модального управления, будем искать в виде

$$U(\lambda, m) = \begin{bmatrix} u_1(\lambda, m) & u_2(\lambda, m) \end{bmatrix} =$$

$$= [\eta_{11}(m) - a_{21}(m) \quad \eta_2(\lambda, m) - a_{22}(m)], \quad (10)$$

где $\eta_{11}(m)$ – полином относительно m .

Компоненту $\eta_2(\lambda, m)$ регулятора (10) разделим на дифференциально-разностную (ей соответствует некоторый квазиполином) и интегральную части:

$$\eta_2(\lambda, m) = \eta_{21}(m) + \eta_{22}(\lambda, m), \quad (11)$$

где $\eta_{21}(m)$ – полином относительно m ; $\eta_{22}(\lambda, m)$ соответствует интегральной части. Будем искать эту функцию в следующем виде:

$$\eta_{22}(\lambda, m) = (c_1 + c_2 m) \frac{m - k}{\lambda - a_0},$$

где $k = e^{-a_0 h}$; c_1, c_2 – некоторые числа, подлежащие определению. Характеристическое уравнение замкнутой регулятором (10) системы (1) примет вид

$$\begin{vmatrix} a_0 - \lambda & b_0 + b_1 m + m^2 \\ \eta_{11} & \eta_{21} + (c_1 + c_2 m) \frac{m - k}{\lambda - a_0} - \lambda \end{vmatrix} \equiv \\ \equiv \lambda^2 + (-a_0 - \eta_{21})\lambda - b_1 \eta_{11} m + c_2 k m - c_2 m^2 - \\ - \eta_{11} m^2 + \eta_{21} a_0 - \eta_{11} b_0 + c_1 k - c_1 m = 0.$$

Чтобы получить для замкнутой системы характеристическое уравнение (7), выберем в качестве η_{21} следующий квазиполином:

$$\eta_{21} = -a_0 - \mu_1,$$

где μ_1 определен в формуле (5).

Тогда характеристическое уравнение замкнутой системы примет вид

$$\lambda^2 + \mu_1 \lambda - b_1 \eta_{11} m + c_2 k m - c_2 m^2 - \eta_{11} m^2 - a_0^2 - \mu_1 a_0 - b_0 \eta_{11} + c_1 k - c_1 m = 0.$$

Чтобы последнее уравнение имело вид (7), нужно выполнение равенства

$$-b_1 \eta_{11} m + c_2 k m - c_2 m^2 - \eta_{11} m^2 - a_0^2 - \mu_1 a_0 - b_0 \eta_{11} + c_1 k - c_1 m = \mu_2.$$

Выразив отсюда η_{11} , получим

$$\eta_{11} = \frac{-\mu_2 + c_2 k m - c_2 m^2 - a_0^2 - \mu_1 a_0 + c_1 k - c_1 m}{b_0 + b_1 m + m^2}. \quad (12)$$

Последняя дробь, в общем случае, не является полиномом относительно m . Подберем c_1 и c_2 так, чтобы правая часть формулы (12) стала полиномом. Для этого вначале выделим целую часть в (12).

$$\eta_{11} = -c_2 + \frac{b_1 c_2 m + c_2 k m - a_0^2 - \mu_1 a_0 + b_0 c_2 + c_1 k - c_1 m - \mu_2}{b_0 + b_1 m + m^2}.$$

Потребуем, чтобы числитель последней дроби был бы равен нулю. Имеем:

$$\begin{aligned} b_1 c_2 m + c_2 k m - a_0^2 - \mu_1 a_0 + b_0 c_2 + c_1 k - c_1 m - \mu_2 &\equiv \\ \equiv (b_1 c_2 + c_2 k - c_1) m - a_0^2 - \mu_1 a_0 + b_0 c_2 + c_1 k - \mu_2 &= 0. \end{aligned}$$

Отсюда видно, что в качестве c_1 можно взять

$$c_1 = b_1 c_2 + c_2 k. \quad (13)$$

Тогда с учетом соотношения (13)

$$\begin{aligned} b_1 c_2 m + c_2 k m - a_0^2 - \mu_1 a_0 + b_0 c_2 + c_1 k - c_1 m - \mu_2 &\equiv \\ \equiv (b_0 + b_1 k + k^2) c_2 - a_0^2 - a_0 \mu_1 - \mu_2 &= 0. \end{aligned}$$

$$\text{Отсюда} \quad c_2 = \frac{a_0^2 + a_0 \mu_1 + \mu_2}{b_0 + b_1 k + k^2}. \quad (14)$$

Нетрудно увидеть, что для того, чтобы c_2 из формулы (14) было бы полиномом относительно m , необходимо и достаточно выполнения условия

$$b_0 + b_1 k + k^2 \neq 0. \quad (15)$$

$$\text{С учетом того, что } \eta_{22}(\lambda, m) = (c_1 + c_2 m) \frac{m - k}{\lambda - a_0},$$

и принимая во внимание (13), (14), после несложных преобразований получим

$$\eta_{22}(\lambda, m) = \frac{(a_0^2 + \mu_1 a_0 + \mu_2)(m + b_1 + k)}{b_0 + b_1 k + k^2} \frac{m - k}{\lambda - a_0}.$$

Таким образом, с учетом (10) регуляторы в частотной области

$$u_1(\lambda, m) = -\frac{a_0^2 + a_0 \mu_1 + \mu_2}{b_0 + b_1 k + k^2} - a_{21}(m); \quad (16)$$

$$\begin{aligned} u_2(\lambda, m) &= -a_0 - \mu_1 - a_{22}(m) + \\ &+ \frac{(a_0^2 + \mu_1 a_0 + \mu_2)(m + b_1 + k)}{b_0 + b_1 k + k^2} \frac{m - k}{\lambda - a_0} \end{aligned} \quad (17)$$

решают задачу модального управления для системы (1) при выполнении условия (15).

Отсюда видна справедливость следующей теоремы

Теорема. Для того чтобы система (1) была модально управляема регулятором вида (3) в случае (9), необходимо и достаточно выполнения условия (15). При этом регуляторы, решающие задачу модального управления, в частотной области имеют вид (16), (17).

УДК 004.31-021.131:681.518

Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

Н.М. Олиферович, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

П.Д. Арпентий, студ. (БГТУ, г. Минск)

Д.Ю. Ежиков, студ. (БГТУ, г. Минск)

НАСТУПЛЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) возникли давно и вскоре стали основным инструментом управления на полевом уровне. Длительное применение и постепенное развитие ПЛК привели в полной мере к воплощению современной доминирующей концепции управления – распределенным системам управления (PCY). Подходы к разработке электронной части менялись, возможность увеличивались, но опытные проектировщики неизменно следовали концепции PCY. Несмотря на то, что для большинства малых производств и технологических процессов, можно было обойтись одним ПЛК с большим количеством модулей I/O, а опыт эксплуатации показывал для ПЛК большинства фирм длительный безотказный работы, при построении схемы управления перераспределяли задачи между несколькими ПЛК [1]. При этом в полной мере реализовывалась, по необходимости горизонтальный обмен информацией между ПЛК.

Однако в 2024 год ландшафт начал активно меняться. Многие разработчики начали предлагать концепцию виртуальных ПЛК (vPLC). С развитием технологий периферийных вычислений и их все большей доступностью vPLC больше не являются просто футуристической идеей; это реальное, готовое к производству решение.

Виртуальные ПЛК (vPLC) представляют собой современную эволюцию традиционного программируемого логического контроллера (ПЛК). Виртуальный ПЛК – это виртуальный экземпляр ПЛК, работающий в среде виртуальной машины (BM) вместо использования выделенного оборудования. В отличие от симуляторов ПЛК, используемых для тестирования и обучения, vPLC предназначены для реальных приложений промышленного управления и работают в виртуализированной среде с операционной системой, оптимизированной для управления в реальном времени.

Готовые решения vPLC, доступных в 2024 году, представили CODESYS Virtual Control SL и Siemens SIMATIC S7-1500V [1, 2]. ИТ продавливают сопротивление и «старой» автоматизации. Старая концепция надежности идет в ущерб о гибкости, масштабируемости и кажущейся управляемости.

Конечно, переход от физических ПЛК к виртуальным не так прост, как замена оборудования на программное обеспечение. Многочисленные уровни технологий, все от пограничных серверов до гипервизоров и операционных систем реального времени (RTOS), должны быть тщательно настроены для поддержания того же уровня производительности и надежности в реальном времени.

Хотя эти системы являются привычными для специалистов в области ИТ и встраиваемых систем, многие инженеры и технические специалисты, имеющие опыт традиционной автоматизации, могут быть с ними менее знакомы.

Традиционные ПЛК – это специализированные аппаратные устройства, которые напрямую взаимодействуют с промышленным оборудованием для обеспечения управления в реальном времени. Они известны своей надежностью, прочностью и способностью выполнять критически важные операции с точным временем и детерминизмом.

Напротив, vPLC представляют собой программные решения, которые выполняют аналогичные функции в виртуализированной среде ИТ-оборудования.

Однако они в значительной степени полагаются на технологию периферийных вычислений для обеспечения производительности в реальном времени и требуют передовой ИТ-инфраструктуры и программных уровней, таких как гипервизоры и операционные системы реального времени (RTOS).

Разработчики выделяют преимущества виртуальных ПЛК [3-5].

1. Гибкость и масштабируемость. vPLC не привязаны к определенному оборудованию».

2. Снижение рисков в цепочке поставок.»

Сомнительное преимущество. Виртуальные ПЛК могут заменить только непосредственно модули ЦПУ. Последние 20 лет широко использовалась концепция построения полевого уровня с использованием станций ввода/вывода. А непосредственно алгоритм управления можно было реализовать на любом другом ПЛК с поддержкой сетевого протокола станций ввода/вывода. Для vPLC все равно потребуются строить обмен данными на полевого уровне на тех же станциях ввода/вывода. А здесь можно наблюдать несколько десятков протоколов универсальных, специализированных под некоторые отрасли, старых, которые появились еще в прошлом столетии и успешно функционируют, и новых, на базе Ethernet, которые решают для производства задачу недетерминированности классического протокола CDMA.

Проблема физической ограниченности ПЛК была актуальна в прошлом столетии и на его рубеже. Последние модели ПЛК в обработке текущих задач управления скорее находятся в режиме ожидания. Масштабировать алгоритмы управления можно только, если решен вопрос с низовым уровнем.

3. Сокращение затрат. vPLC значительно сокращают расходы, связанные с приобретением и обслуживанием выделенного оборудования. Их можно развернуть на существующей ИТ-инфраструктуре, что приводит к снижению капитальных затрат и снижению совокупной стоимости владения».

Очень сложно прогнозируемая концепция. Очень многое зависит от конкретного приложения, особенности технологии производства. Будет зависеть от развитости сети, наличия и доступности облачных сервисов или наличия собственных сервисов

4. Централизованное управление. Всеми экземплярами vPLC можно управлять централизованно, что упрощает такие задачи, как обновление прошивки, исправления безопасности и резервное копирование. Это снижает необходимость вмешательства на месте и оптимизирует эффективность работы».

5. Улучшенная безопасность. vPLC выигрывает от надежных механизмов ИТ-безопасности с более быстрым и централизованным развертыванием обновлений безопасности, гарантируя, что промышленные системы остаются защищенными от угроз.»

А это, скорее всего, недостаток, чем преимущество. Отход от РСУ, ухудшение надежности ни к чему хорошему не приведет. В процессе сбоев какого-либо аппарата часто требуется видеть текущий результат на месте – в условия централизованного управления. Не очень надежным выглядит, когда оператору в цеху надо вмешаться в технологический процесс. Сигнал с пульта или панели оператора побежит сначала через коммутаторы, шлюзы на сервер, а потом обратно, чтобы что-то включить или выключить.

Непонятно про какие прошивки идет речь. Концепция vPLC предполагает отсутствие алгоритмов на полевом уровне. Все как бы будет находиться на сервере. А вот безопасность пострадает. Концепция предусматривает наличие постоянной связи, и часто за физические рамки предприятия, вероятность большого количества маршрутизаторов и коммутаторов. «Закраться» без остановки техпроцесса во время атаки не получить.

6. Улучшенное использование ресурсов. Виртуализированные среды позволяют лучше распределять ресурсы. vPLC могут эффективно использовать вычислительную мощность пограничных серверов,

особенно для ресурсоемких задач, таких как приложения искусственного интеллекта или машинного обучения».

Предыдущая версия систем управления не предусматривала использование искусственного интеллекта, машинного обучения, а также BigData на уровне ПЛК – обычно это уровень MES, ERP. «Старая» концепция предполагает потребление информации от этих систем.

Проблемы виртуальных ПЛК

1. Сложность развертывания. Развертывание и управление vPLC подразумевает уровень сложности, далеко выходящий за рамки традиционных систем PLC. Для этого требуются знания в области технологий виртуализации, ИТ-инфраструктуры и сетевых конфигураций – областей, часто незнакомых традиционным инженерам по автоматизации. А общая квалификация инженеров не растет.

2. Проблемы с задержкой. Хотя vPLC предлагают производительность, близкую к традиционным PLC, внедрение виртуализации может привести к дополнительной задержке. Это может стать проблемой для приложений реального времени.

3. Единая точка отказа. Размещение нескольких vPLC на одном гипервизоре представляет собой потенциальную единую точку отказа. Если пограничный сервер, на котором размещены эти vPLC, испытывает потерю питания или становится скомпрометированным, это может привести к одновременным отказам в нескольких системах управления. Отсутствие альтернативного пути «на последней миле» к полевому оборудованию и серверу тоже потенциальная угроза.

4. В случае ПАЗ, при обновлении ПО серверов с vPLC, или ПО самих vPLC, согласно IEC61508, будет требоваться повторная сертификация. Или тогда вводить запрет на обновления. Но как поступать, если обнаружена очередная уязвимость.

Виртуальные ПЛК конечно займут свое место в некоторых отраслях, но, надеемся, будут иметь ограниченное применение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Virtual PLC. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500/virtual-plc.html>.

2. Codesys virtual PLC. <https://www.codesys.us/products/codesys-virtual-plc.html>.

3. Virtual PLCs: What are the Advantages. <https://www.esa-automation.com/en/virtual-plcs-what-are-the-advantages/>.

4. Benefits and Challenges of Virtual PLCs. <https://www.rs-online.com/designspark/benefits-and-challenges-of-virtual-plcs>.

5. Taking a Look at the Virtual PLC Technology Stack. <https://blog.isa.org/taking-a-look-at-the-virtual-plc-technology-stack>.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЕСОВОЙ ПОТОМЕТР

Клональное микроразмножение растений (КМР) является одним из наиболее эффективных способов обеспечения потребностей растениеводства в элитном посадочном материале. Высокая потребность в таком материале требует перехода от лабораторных к промышленным механизированным и автоматизированным способам КМР.

При размножении растений в стерильных условиях замкнутого объема культуральных сосудов у сформированных растений отсутствует способность регулирования транспирации, слабо развиты листовая кутикула и корни. В процессе КМР предусматривается адаптация растений в течение трех-четырех недель для обеспечения безопасного перевода из условий *in-vitro* к условиям *ex-vitro*. На стадии адаптации плавно снижается влажность воздушной среды. Также регулируется температура и скорость движения воздушной среды, параметры световой среды – плотность светового потока и спектр, влажность корнеобитаемой среды. В основе выбора оптимального профиля изменения параметров окружающей растения среды находится сокращение срока адаптации при сохранении количества прошедших адаптацию растений. Связь параметров окружающей среды с состоянием растения может быть раскрыта через учет основных тепло-массообменных процессов растения: поглощение энергии и испарения влаги.

Разрабатываемая промышленная технология предусматривает проведение адаптации в специализированных камерах, в которых предусматривается регулирование транспирации растений. Для контроля процесса транспирации в камере необходим весовой потометр. Для потометра были определены требования к характеристикам и проведены экспериментальные работы по возможности контроля потери массы растений.

Растения в камере находятся в кассетах, конструкция которых разработана для механизации и автоматизации процесса пересадки растений из культуральных сосудов в грунт [1], и минимизирующих испарение из грунта. Размеры кассеты (ДхШхВ) 265х30х50 мм. С учетом размеров микрорастений в кассете находится от 7 до 9 микрорастений. Кассеты сгруппированы блоками в кюветах по 20-22 штуки. Масса блока с растениями и увлажненным грунтом составляет около 10 кг. Масса растений в блоке около 0,4 кг. Суммарная площадь листьев растений в кювете составляет 0,17-0,2 м². Типичная плотность светового

потока при адаптации 35-56 мкм/с/м², что соответствует мощности приблизительно 7-12 Вт/м². С учетом ИК-излучения светильников и разности температуры листьев и поверхности светильников мощность падающей энергии составляет 15-20 Вт/м². Ранее проведенные эксперименты по измерению отражения и поглощения световой энергии, а также температуры листьев при освещении [2, 3], позволяют оценить коэффициент поглощения энергии излучения листьями около 80%. С учетом теплоты испарения воды 2,2 МДж/кг и того, что растения на начальном этапе адаптации не регулируют транспирацию, а относительная влажность в камере на начальном этапе адаптации близка к 100%, поток испарения можно оценить на уровне 5,5-7,3·10⁻⁶ кг/с/м². С учетом площади листьев растений в кювете поток испарения составит 0,9-1,5·10⁻⁶ кг/с/м².

Растения в процессе адаптации могут терять обратимо до 20-30% своей массы при транспирации. При суммарной массе растений к кювете 0,4 кг такая потеря массы может произойти в течение светового дня (16 часов). Однако надежного контроля за состоянием растения и контроля за тепло-массовым балансом требуется учет динамики потери массы растений не хуже 1-2%, то есть 4 -8 грамм при массе кюветы 10 кг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ пересадки микрорастений для адаптации в процессе клонального размножения: пат. 2800206 Российская Федерация, СПК А01Н 4/00 (2023.05), А01G 9/02 (2023.05), А01G 31/02 (2023.05)/А.Л. Бровенко; заявитель А.Л. Бровенко.- № 2022131413; заявл. 01.12.2022; опубл. 19.07.2023// Бюл. №20/федеральная служба интеллектуальной собственности.

2. Оценка поглощения энергии листовыми пластинами растений при облучении светом с применением сенсоров TSL 2561 / В. И. Бакаленко, Т. А. Дейнека, А. Л. Бровенко // Химическая технология и техника: материалы 88-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 363-365.

3. Контроль температуры листовых пластин растений с помощью сенсоров MLX 90614 / В. И. Бакаленко, Т. А. Дейнека, А. Л. Бровенко // Химическая технология и техника : материалы 88-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 319-322.

АДАПТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОДООЧИСТКИ

Адаптивные методы регулирования помогают повысить эффективность процесса химической очистки воды, улучшить качество очищенной воды и снизить затраты на химические реагенты. Однако, для достижения оптимальных результатов, необходима точная калибровка датчиков, надежные модели и алгоритмы, а также регулярное обновление их на основе новых данных и адаптивные методы регулирования в процессе химической очистки воды могут значительно улучшить эффективность и эффективность этого процесса. Они позволяют системе автоматически реагировать на изменения в составе и качестве воды, а также на изменения рабочих условий.

Одним из адаптивных методов регулирования является обратная связь и регулирование. Этот метод основан на непрерывном мониторинге параметров воды и обратной связи с системой регулирования. Датчики и анализаторы мониторят различные характеристики воды, такие как рН-уровень, концентрация загрязнителей и другие параметры. Полученные данные передаются системе регулирования, которая автоматически регулирует добавку химических реагентов и других параметров в соответствии с требованиями очистки воды.

В случае очистки воды от взвешенных частиц может быть использовано известковое молоко, подача которого зависит, например, от температуры:

1. Растворимость и дисперсия: Температура может изменять растворимость коагулянта в жидкости, что в свою очередь влияет на его эффективность. При различных температурах коагулянт может лучше или хуже диспергироваться в жидкости.

2. Скорость реакции: Температура может влиять на скорость химических реакций, включая процессы коагуляции. Повышение температуры может ускорить процесс коагуляции, что может потребовать корректировки подачи коагулянта.

3. Вязкость жидкости: Температура влияет на вязкость жидкости, что может изменить распределение коагулянта и его эффективность. Например, при низких температурах жидкость может стать более вязкой, что может замедлить процесс коагуляции.

4. Изменения в структуре: При изменении температуры могут происходить изменения в структуре и свойствах жидкости, что также может влиять на взаимодействие с коагулянтном.

Наибольшее влияние на показатель температуры оказывает температура подогревающей жидкости из чего следует что регулирование лучше всего производить с помощью расхода греющей жидкости.

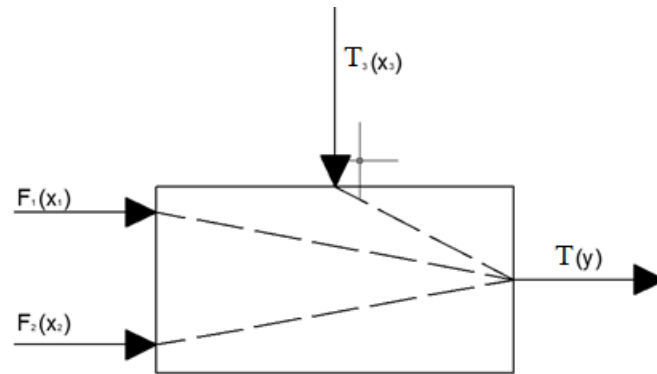


Рисунок 1 – Структурная схема каналов управления объекта

$$F_1 \cdot T_1 \cdot dt + F_2 \cdot T_2 \cdot dt + T_3 \cdot T_3 \cdot dt = V \cdot dT + F \cdot T \cdot dt$$

где F – расход жидкости на выходе из теплообменника. Преобразуем уравнение с учетом формулы:

$$V \cdot \frac{dT}{dt} + (F_1 + F_2 + T_3)Q = F_1 \cdot T_1 + F_2 \cdot T_2$$

Данное уравнение нелинейно, так как три его слагаемых представляют собой произведение переменных величин. Линеаризуем его, заменив каждую переменную на сумму базисного значения и приращения. Получим:

$$V \cdot \frac{d\Delta T}{dt} + F_{10} \cdot T_0 + F_{10} \cdot \Delta T + T_0 \cdot \Delta F_1 + F_{20} \cdot T_0 + F_{20} \cdot \Delta T + T_0 \cdot \Delta F_2 = F_{10} \cdot T_{10} + F_{10} \cdot \Delta T + T_{10} \cdot \Delta F_1 + F_{20} \cdot T_2 + T_2 \cdot \Delta F_2$$

Уравнение объекта при равновесном состоянии имеет вид:

$$F_{10} \cdot T_0 + F_{20} \cdot T_0 = F_{10} \cdot T_{10} + F_{20} \cdot T_2$$

$$V \cdot \frac{d\Delta T}{dt} + F_0 \cdot \Delta T = F_{10} \cdot \Delta T_1 + (T_{10} - T_0) \cdot \Delta F_1 - (T_0 - T_2) \cdot \Delta F_2$$

Из этого уравнения следует, что концентрация вещества T в смеси возрастает с увеличением T_1 и F_1 , так как $T_{10} > T_2$ по условию.

Подставим в уравнение относительные величины

$$y = dT/T_0; \quad z = \Delta T_1/T_{10}; \quad x_1 = \Delta F_1/F_{10}; \quad x_2 = \Delta F_2/F_{20};$$

Получим:

$$V \cdot T_0 \cdot \frac{dy}{dt} + F_0 \cdot T_0 \cdot y = F_{10} \cdot T_{10} \cdot z + (T_{10} - T_0) \cdot F_{10} \cdot x_1 - (T_0 - T_2) \cdot F_{20} \cdot x_2$$

Разделив все слагаемые уравнения на сомножитель $F_0 \cdot Q_0$, окончательно найдем:

$$T_0 \cdot \frac{dy}{dt} + y = k_1 \cdot z + k_2 \cdot x_1 - k_3 \cdot x_2$$

где $T_0 = V/F_0$ – постоянная времени объекта;

Передачная функция объекта:

$$W(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{Tp + 1}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении, Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Марутовский Р.М., Рода И.Г., Химия. Москва. 1983.

2. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / А. С. Клюев, Б. В. Глазов, А. Х. Дубровский, А. А. Клюев; Под ред. А. С. Клюева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

УДК 589.183

И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
В.В. Сарока, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
М.А. Анкуда, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

АДАПТИВНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ РАСХОДА МЕТОДОМ ЯМР С КОРРЕКЦИЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ПО ИНДУКЦИИ ПОЛЯ АНАЛИЗАТОРА

Измерительной базой меточных расходомеров является участок между сечением отметки и катушкой регистрации. К сдвигу сечения отметки приводит изменение индукции постоянного поля в зоне катушки нутации из-за колебаний температуры окружающей среды или жидкости и нестабильность генератора нутации [1].

Способы борьбы с этим эффектом заключаются в размещении катушки отметки в поле с большим градиентом или в согласованном сдвиге сечения отметки и частоты генератора отметки [2].

Погрешности смены режима течения и релаксационные погрешности можно свести к изменению эффективной длины измерительной базы, для компенсации которого следует учитывать факторы, влияющие на вязкость или время релаксации T_1 среды.

Вязкостные и релаксационные характеристики чистых жидкостей сильно зависят от температуры и обладают незначительным разбросом в пределах допустимых концентраций присадок, процентного состава компонентов и т.д. Тогда основное влияние на погрешности смены режима течения и релаксационные погрешности оказывают температурные зависимости вязкости и времени релаксации, а компенсацию нужно проводить с учетом температуры среды.

Уменьшение случайных погрешностей измерения расхода, обусловленных шумами в тракте регистрации, для меточных ЯМР-расходомеров временного типа обеспечивается применением адаптивной частоты отметки и полосы пропускания канала регистрации к расходу.

Структурная схема адаптивного меточного ЯМР-расходомера временного типа с адаптацией частоты отметки и полосы пропускания канала регистрации к расходу приведена на рис. 1, а временные диаграммы его работы – на рис. 2.

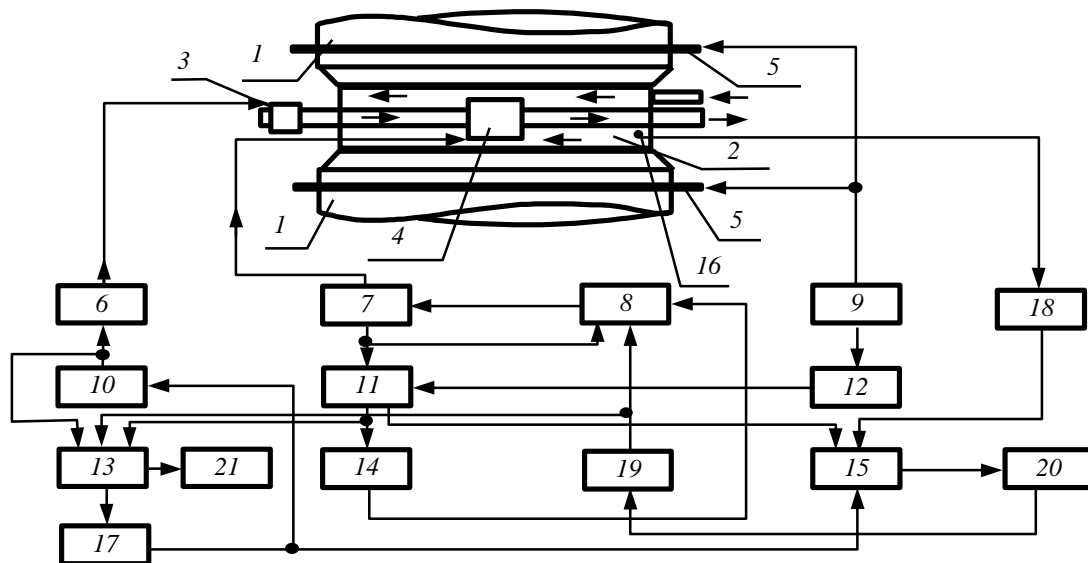


Рисунок 1 – Структурная схема адаптивного временного ЯМР-расходомера с коррекцией характеристики по индукции поля анализатора

1 – магниты анализатора и поляризатора; 2 – кювета поляризатора; 3, 4, 5 – катушки отметки, регистрации и модуляции; 6 – генератор нутации; 7 – спиновый детектор; 8 – устройство автопоиска и стабилизации резонансных условий; 9, 10 – генераторы модуляции и синхронизации; 11 – синхронный детектор; 12 – удвоитель частоты; 13 – фазовый детектор; 14 – детектор резонансных условий; 15 – а.ц.п.; 16 – преобразователь Холла; 17 – преобразователь $1/X$; 18 – электронный блок д.Х.; 19 – ц.а.п.; 20 – микроконтроллер; 21 – схема адаптивного усреднения

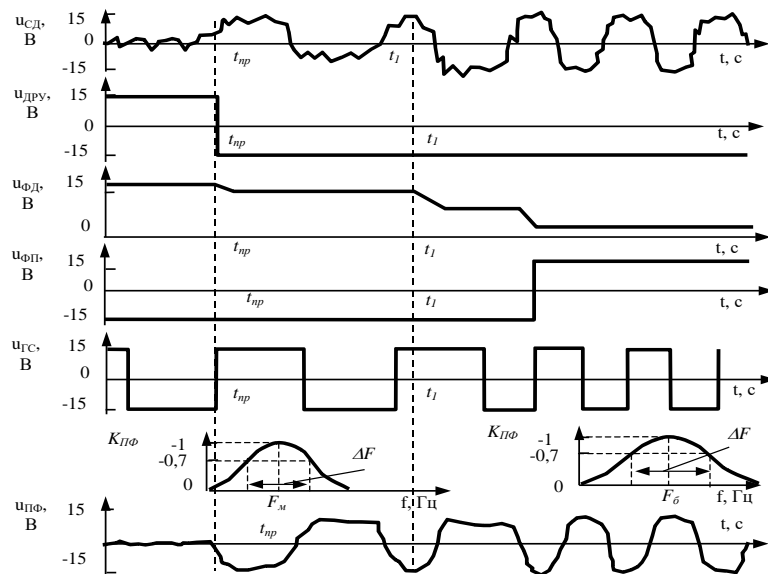


Рисунок 2 – Диаграммы адаптивного временного ЯМР-расходомера
 $u_{сд}$, $u_{дру}$, $u_{фд}$, $u_{фп}$, $u_{гс}$, $u_{пф}$ – напряжения на выходах синхронного детектора, детектора резонансных условий, фазового детектора, функционального преобразователя, генератора синхронизации и полосового фильтра;
 $K_{пф}$ – амплитудно-частотные характеристики.

Устройство работает следующим образом. Измеряемая жидкость поступает в магнитное поле поляризатора, затем проходит катушку ну- тации и попадает в анализатор. В момент включения прибора из-за рас- стройки резонансных условий в анализаторе сигнал ЯМР на выходе спинового детектора отсутствует, на выходе с.д. напряжение близко к нулю, при этом не превышает порог срабатывания детектора резо- нансных условий, а на его выходе устанавливается высокий потенциал, соответствующий расстройке резонансных условий в анализаторе.

Детектор резонансных условий переключает устройство автопо- иска и стабилизации в режим поиска, которое сканирует частоту гене- рации спинового детектора пилообразным напряжением, и одновре- менно принудительно устанавливает высокое напряжение, соответ- ствующее минимальным расходам, на выходе фазового детектора. Функциональный преобразователь переключается в состояние с низ- ким потенциалом и устанавливает частоту F_m генератора синхрониза- ции и полосу пропускания регулируемого полосового фильтра, ампли- тудно-частотная характеристика (а.ч.х.) которого согласуется с часто- той отметки.

В момент прохождения резонансных условий t_{np} на выходе де- тектора резонансных условий появляется низкий потенциал, устрой- ство автопоиска переключается в режим стабилизации, а управляющий вход фазового детектора не оказывает воздействия на его выход, т.е. напряжение фазового детектора определяется разностью фаз между

сигналами с генератора синхронизации и регулируемого полосового фильтра. Начинается измерение расхода.

Генератор синхронизации включает и выключает генератор нутации, обеспечивая периодическое изменение намагниченности жидкости под воздействием резонансного поля катушки нутации. Таким образом, в потоке создаются метки ЯМР, регистрация которых осуществляется в анализаторе модуляционным методом.

При малом расходе из-за большего времени распространения метки по измерительному участку существует большой сдвиг фаз между сигналами с генератора синхронизации и регулируемого полосового фильтра, сохраняются состояние функционального преобразователя, частота отметки F_m , задаваемая генератором синхронизации, и полосовым фильтром, реализованном на микроконтроллере. Увеличение расхода снижает информативный фазовый сдвиг. При этом уменьшается напряжение на выходе фазового детектора и переключается функциональный преобразователь, одновременно изменяя на F_0 частоту отметки и а.ч.х. полосового фильтра, оставляя неизменной ширину полосы его пропускания ΔF .

Время адаптации системы регистрации не превышает периода отметки после изменения расхода. Схема измерения преобразует напряжение фазового детектора в расход и производит индикацию значения расхода. Это взаимодействие между блоками сохраняется при любых изменениях расхода.

Функциональный преобразователь представляет собой последовательно соединенные преобразователь напряжения $1/X$, который выполнен на основе аналоговых перемножителей, параллельный а.ц.п. и схему смещения уровня или дешифратор, обеспечивающие управление генератором синхронизации и регулируемым полосовым фильтром. Детектор резонансных условий представляет собой пиковый детектор с постоянной времени, превышающей период отметки, и компаратор.

В качестве фильтров с регулируемой полосой пропускания оптимальными являются адаптивные цифровые фильтры, которые обладают стабильными фазовыми характеристиками и не вносят дополнительных погрешностей измерения расхода, обусловленных дрейфом фазовых сдвигов в тракте регистрации измерительного преобразователя [3].

Граничный расход, соответствующий переключению частоты отметки, отличается от нижнего предела измерений, задаваемого условием однозначности, на величину изменения расхода за период отметки. Для двух частот отметки получаем

$$Q_{\text{пер}} = \pi R^2 L_n F_0 + F_0^{-1} dQ/dt. \quad (1)$$

Реальная скорость изменения расхода в гидравлических трактах технологических процессов, требует превышения второго слагаемого в (1) над первым в 3–4 раза.

По сравнению с меточными расходомерами частотного типа, адаптивный измеритель обеспечивает точность измерений за счет сужения полосы пропускания канала регистрации, по сравнению с временными к повышению точности на больших расходах приводит увеличение частоты отметки.

Использование адаптивной системы регистрации в измерителе расхода без увеличения времени усреднения в 4 раза уменьшило случайные погрешности и обеспечило повышение точности до 1% при времени измерения 3 с для двух частот отметки (1 и 4 Гц).

Введение контура стабилизации с коррекцией характеристики по индукции поля анализатора позволяет сократить погрешности, возникающие при смене режимов течения и погрешности, связанные с изменением релаксационных характеристик технологических сред.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жерновой, А. И. Ядерно-магнитный расходомер с отметкой в приемной катушке / А. И. Жерновой // Известия вузов., – 2007. – № 1. – С. 39-43.

2. Жерновой, А. И. Ядерно-магнитные расходомеры / А. И. Жерновой; – Л.: Машиностроение, 1985. – 136 с.

3. Способ адаптивной фильтрации и устройство для его осуществления / Оробей И.О., Кузьмицкий И.Ф., Гринюк Д.А., Жарский С.Е., Медяк Д.М., Сарока В.В., Лукашевич М.Ф. Патент № 9322.

УДК 004.6

Т.П. Фокин, преп.-стажёр (БГТУ, г. Минск)
А.А. Королёв, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В промышленности значительную роль играют качество и эффективность рабочего процесса. Эффективность рабочего процесса может повышаться различными способами, будь то оптимизация энергозатрат на проведение рабочего процесса или оптимизация расхода сырья.

Качество же может быть повышено за счёт более раннего обнаружения брака или повышения точности исполнения определённых этапов процесса.

Появление и развитие искусственных нейронных сетей значительно повлияло на подход к решению некоторых проблем. Первым вариантом применения нейронных сетей, который применялся в промышленной сфере были регуляторы на основе нейронных сетей. Промышленные регуляторы часто используются в качестве дополнительных регуляторов, что было обусловлено возможностью нейронных сетей к самообучению. Подобные регуляторы зачастую направлены на повышение энергоэффективности рабочего процесса.

Другим применением нейронных сетей является использование их в системах технического зрения. Применение нейронных сетей для распознавания объектов, оценки качества и обнаружения брака в системах технического зрения позволяет значительно ускорить обработку информации о протекании процесса, а также уменьшить количество брака за счёт развития систем наблюдения на основании нейронных сетей.

В последнее время также расширяется область применения искусственных нейронных сетей в качестве искусственного оператора, ответственного за отбор и сортировку информации.

Также расширяется применение искусственных нейронных сетей в качестве систем для анализа спроса, что позволяет повысить эффективность работы предприятия, снижая риски внезапных простоев из-за нехватки сырья или заполнения складов.

Зачастую всё перечисленное позволяет повысить объёмы производства при сохранении прежнего количества рабочих мест ввиду реорганизации и оптимизации процессов на предприятии.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.altexsoft.com/blog/image-recognition-neural-networks-use-cases/>;
2. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.toolsgroup.com/solutions/demand-forecasting-planning/>.

М.А. Анкуда, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

Д.С. Карпович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

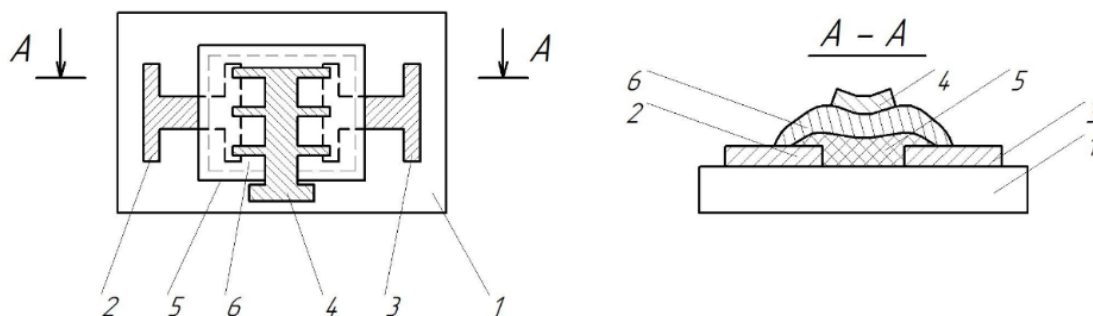
Н.М. Олиферович, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

М.К. Анкуда, ассист. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЛЕНОЧНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ

В основе работы полупроводниковых сенсоров на оксидных пленках используется эффект изменения электрического сопротивления некоторых полупроводниковых материалов (поверхностей монокристаллов, пленок), возникающего вследствие адсорбции газа. При появлении исследуемого газа на поверхности сенсора будет происходить процесс его окисления с последующим выделением электронов в обедненный поверхностный слой, что приведет к повышению его проводимости.

Простейший чувствительный элемент пленочного сенсора выполнен в виде пленки полупроводника прямоугольной формы длиной l , шириной b , толщиной d (чаще всего металлоксидного) с двумя контактными площадками и двумя металлическими электродами, находящимися на диэлектрической подложке. При необходимости на последней изготавливается и тонкопленочный нагреватель (рис. 1) [1].



**Рисунок 1 – Тонкопленочный датчик для детектирования
составляющей газовой среды:**

1 – подложка; 2, 3 – измерительные электроды; 4 – вспомогательный электрод;
5 – диэлектрическая пленка; 6 – полупроводниковая пленка

Рассмотрим влияние внешнего электромагнитного излучения на полупроводниковый сенсор. При этом следует учесть, что анализ поля излучения обычно выполняют в сферической системе координат, в центр которой помещен излучатель (см рис. 2) [2]

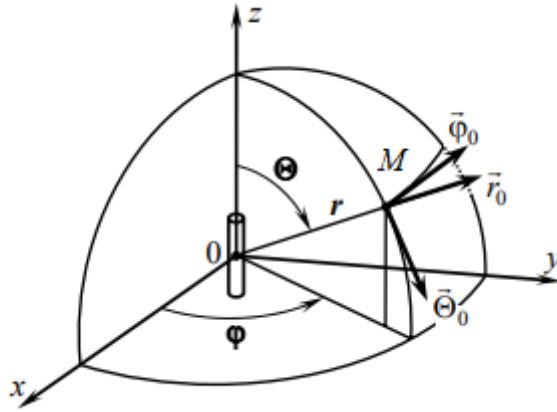


Рисунок 2 – Электромагнитное излучение диполя

Электрический диполь длиной l с однородным током I_{CT} создает напряженности полей, проекции которых определяются соотношениями:

$$E_r = \frac{k l I_{CT}}{2 \pi \omega \epsilon \epsilon_0 r^2} \cdot \left[\frac{1}{kr} \sin(\omega t - kr) + \cos(\omega t - kr) \right] \cdot \cos \theta$$

$$E_\theta = \frac{k^2 l I_{CT}}{4 \pi \omega \epsilon \epsilon_0 r} \cdot \left[\frac{1}{kr} \cos(\omega t - kr) + \left(\frac{1}{k^2 r^2} - 1 \right) \sin(\omega t - kr) \right] \cdot \sin \theta$$

$$H_\alpha = \frac{k l I_{CT}}{4 \pi r} \cdot \left[\frac{1}{kr} \cos(\omega t - kr) - \sin(\omega t - kr) \right] \cdot \sin \theta$$

$$E_\alpha = H_r = H_\theta = 0$$

Из формул следует, что каждая компонента поля (E_r , E_θ , и H_α) имеет постоянную фазу на сферических поверхностях $r = const$, однако эти компоненты не синфазны, а их амплитуды зависят от угловой координаты θ . Это неоднородная гармоническая сферическая волна, распространяющаяся в радиальном направлении и имеющая сложную пространственную структуру. Поле обладает осевой симметрией (отсутствует зависимость от азимутальной координаты φ), причем магнитные силовые линии – это концентрические окружности вокруг оси Z , а электрические силовые линии лежат в меридиональных областях.

Поле в дальней области имеет вид

$$E_\theta = \frac{k^2 l I_{CT}}{4 \pi \omega \epsilon \epsilon_0 r} \cdot \sin(\omega t - kr) \cdot \sin \theta$$

$$E_r \approx 0$$

$$H_\alpha = \frac{k l I_{CT}}{4 \pi r} \cdot \sin(\omega t - kr) \cdot \sin \theta$$

Влияние магнитного поля на характеристики полупроводниковых приборов осуществляется посредством воздействия магнитного поля на движение носителей заряда, которое проявляется эффектом Холла и магниторезистивным эффектом (эффектом Гаусса).

Если вдоль образца пропустить электрический ток I , а перпендикулярно плоскости сенсора создать магнитное поле B , то действие силы Лоренца приводит к отклонению движущихся зарядов от прямолинейной траектории, параллельной продольной оси пленки сенсора, в сторону одной из боковых граней. В результате этого возникает поперечное электрическое поле (поле Холла) \vec{E}_X между боковыми гранями пленки, которую характеризуют разностью потенциалов [3].

$$E_x = \frac{R_h}{d} \cdot i \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где $R_h = \frac{1}{n_0 \cdot e}$ – коэффициент Холла, зависящий от природы вещества пластины; d – толщина пластинки в направлении магнитного поля; i – ток через пластину; α – угол между направлениями векторов магнитной индукции и электрического тока. При этом индукция от внешнего электромагнитного возмущения будет иметь вид:

$$B = \frac{kI_{CT}}{4\pi r \mu_0} \cdot \sin(\omega t - kr) \cdot \sin \theta$$

За счет эффекта Холла в полупроводниковой пластине будут одновременно присутствовать два ортогональных электрических поля: приложенное электрическое поле \vec{E} и поле Холла \vec{E}_X .

В пластинке возникает суммарное электрическое поле \vec{E}_Σ , направление которого определяется векторной суммой:

$$\vec{E}_\Sigma = \vec{E} + \vec{E}_\theta + \vec{E}_X$$

Угол между векторами \vec{E} и \vec{E}_X носит название угол Холла. Значение угла Холла φ_X определяется из соотношения

$$\tan(\varphi_X) = \frac{E_X}{E_\Sigma} = \mu \cdot B$$

В слабом магнитном поле индукция будет небольшой, а значит угол φ_X будет мал. Следовательно, можно будет принять

$$\varphi_X \approx \tan(\varphi_X) = \mu \cdot B$$

Отклонение траектории движения зарядов от направления внешнего приложенного поля равносильно уменьшению длины свободного пробега носителей l_0 , в направлении приложенного поля:

$$\Delta l = l_0 - l_0 \cdot \cos \varphi_X$$

С учетом малости φ_X можно применить разложение Тейлора к функции $\cos \varphi_X$. Тогда в первом приближении [3]:

$$\Delta l \approx l_0 - l_0 \cdot \left(1 - \frac{\varphi_X^2}{2}\right) = l_0 \cdot \frac{\varphi_X^2}{2}$$

Уменьшение длины свободного пробега зарядов будет эквивалентно уменьшению скорости движения зарядов v , что соответствует возрастанию сопротивления.

Можно утверждать, что изменение сопротивления сенсора под действием электромагнитного возмущения будет определяться:

$$\Delta\rho = \rho_0 \frac{\Delta l}{l_0} = \rho_0 \cdot \frac{\varphi_X^2}{2}$$

Таким образом определили зависимость сопротивления полупроводникового сенсора, который подвержен воздействию внешнего электромагнитного поля через гальваномагнитные эффекты в полупроводниках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович, Д. С. Измерительные схемы пленочных сенсоров / Д.С. Карпович, М.А. Анкуда // Химическая технология и техника: материалы 87-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 января – 17 февраля 2023 г. — Минск : БГТУ, 2023. – С. 273-275.

2. Юдин В.И., Останков А.В. Электромагнитные поля и волны. Часть 1. Волны в безграничных и полубесконечных средах: учеб. пособие / В.И. Юдин, А.В. Останков; под общ. ред. В.И. Юдина. – Воронеж: Междунар. ин-т компьют. технологий, 2007. – 182 с.

3. Анкуда, М. А. Анализ влияния электромагнитных воздействий на свойства пленочных полупроводниковых сенсоров / М. А. Анкуда, Д. С. Карпович, Н. М. Олиферович // Химическая технология и техника: материалы 88-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 284-287.

М.А. Анкуда, ст. преп. (БГТУ г. Минск)

И. О. Оробей, доц., канд. техн. наук (БГТУ г. Минск)

В. В. Сарака, доц., канд. техн. наук (БГТУ г. Минск)

М.К. Анкуда, ассист. (БГТУ г. Минск)

ИЗМЕРИТЕЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В полупроводниковых газоанализаторах используется эффект изменения электрического сопротивления некоторых полупроводниковых материалов (поверхностей монокристаллов, пленок), возникающего вследствие адсорбции газа.

Для любого процесса измерения необходимо учитывать все возможные факторы, которые будут влиять на шумовые характеристики измерительной схемы. Что позволит оптимизировать процесс обработки данных.

Для полупроводникового чувствительного элемента, выходным параметром которого является сопротивление, при расчете шумов необходимо в первую очередь учесть тепловой и генерационно-рекомбинационный шум. При этом сам сенсор можно представить в виде шумящего резистора.

Спектральная плотность теплового шума для образца с активным сопротивлением R может быть определена [1]:

$$S_T = 4 \cdot k \cdot T \cdot R,$$

где k – постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К), T – абсолютная температура.

Тогда напряжения источника теплового шума будет определяться

$$U_T = \sqrt{S_T \cdot \Delta f} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f},$$

где Δf – полоса частот, пропускаемая схемой

В полупроводниковых приборах наблюдается шум, создаваемый флуктуациями скоростей генерации и рекомбинации носителей, что приводит к флуктуациям концентрации свободных носителей. Рекомбинация и генерация носителей заряда приводит к флуктуациям в полупроводнике концентрации свободных носителей, и как следствие, к флуктуациям проводимости (сопротивления) образца и к возникновению генерационно-рекомбинационного шума.

При протекании тока I через полупроводник с флуктуирующим числом носителей N энергетический спектр генерационно-рекомбинационного шума определяется выражением [2]:

$$S_{GR} = \frac{4 \cdot I^2}{N_0^2} \cdot \sqrt{\Delta N^2} \cdot \frac{\tau}{1 + \omega^2 \cdot \tau^2},$$

где N_0 – среднее равновесное число носителей в образце; ΔN – усредненная величина квадрата флуктуаций числа носителей, τ – среднее время жизни носителей в полупроводнике, $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота.

Приняв, что отдельные процессы генерации и рекомбинации носителей являются независимыми, тогда для числа носителей N будем иметь распределение Пуассона, для которого $\sqrt{\Delta N^2} = N_0$ и $\beta = 1$, а значит спектральная плотность примет вид:

$$S_{GR} = \frac{4 \cdot I^2}{N_0} \cdot \frac{\tau}{1 + \omega^2 \cdot \tau^2}.$$

Тогда напряжения источника генерационно-рекомбинационного шума будет определяться:

$$U_T = \sqrt{S_{GR} \cdot \Delta f} = \sqrt{\frac{4 \cdot I^2}{N_0} \cdot \frac{\tau}{1 + \omega^2 \cdot \tau^2} \cdot \Delta f}.$$

Поскольку датчик будет подключаться к измерительной схеме, то результирующая погрешность будет изменяться в зависимости от выбранной схемы преобразователя.

В качестве базовой схемы на основе операционного усилителя была предложена схема дифференциального усилителя, которая была выполнена на операционном усилителе M_9 (DA1) (см. рис. 1).

На вход операционного усилителя подаются напряжения U' и U'' , которые можно представить синфазной $U_{CF} = \frac{U' + U''}{2}$ и дифференциальной составляющей $U_D = U' - U''$.

В общем виде выходное напряжение можно представить в виде

$$U_{out} = K_D \cdot U_D + K_{CF} \cdot U_{CF}.$$

В случае равенства сопротивлений $K_{CF} = 0$, а

$$K_D = -\frac{R + \Delta R}{R}.$$

Если учесть, что напряжения на входах ОУ совпадают и равны половине напряжения питания, то выходное напряжение можно будет определить:

$$U_{out} = \frac{U_{пит}}{2} - \frac{U_{пит}}{2R} \cdot (R + \Delta R) = -\frac{U_{пит}}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}.$$

Принципиальная электрическая схема измерителя концентрации многокомпонентных газовых смесей приведена на рис. 1.

Первичный полупроводниковый преобразователь R_0 содержит резистивный слой допированного оксида олова, который имеет чувствительность по проводимости $\Delta\sigma/\sigma \cdot 100 = 20\%/ppm$ к газовой смеси.

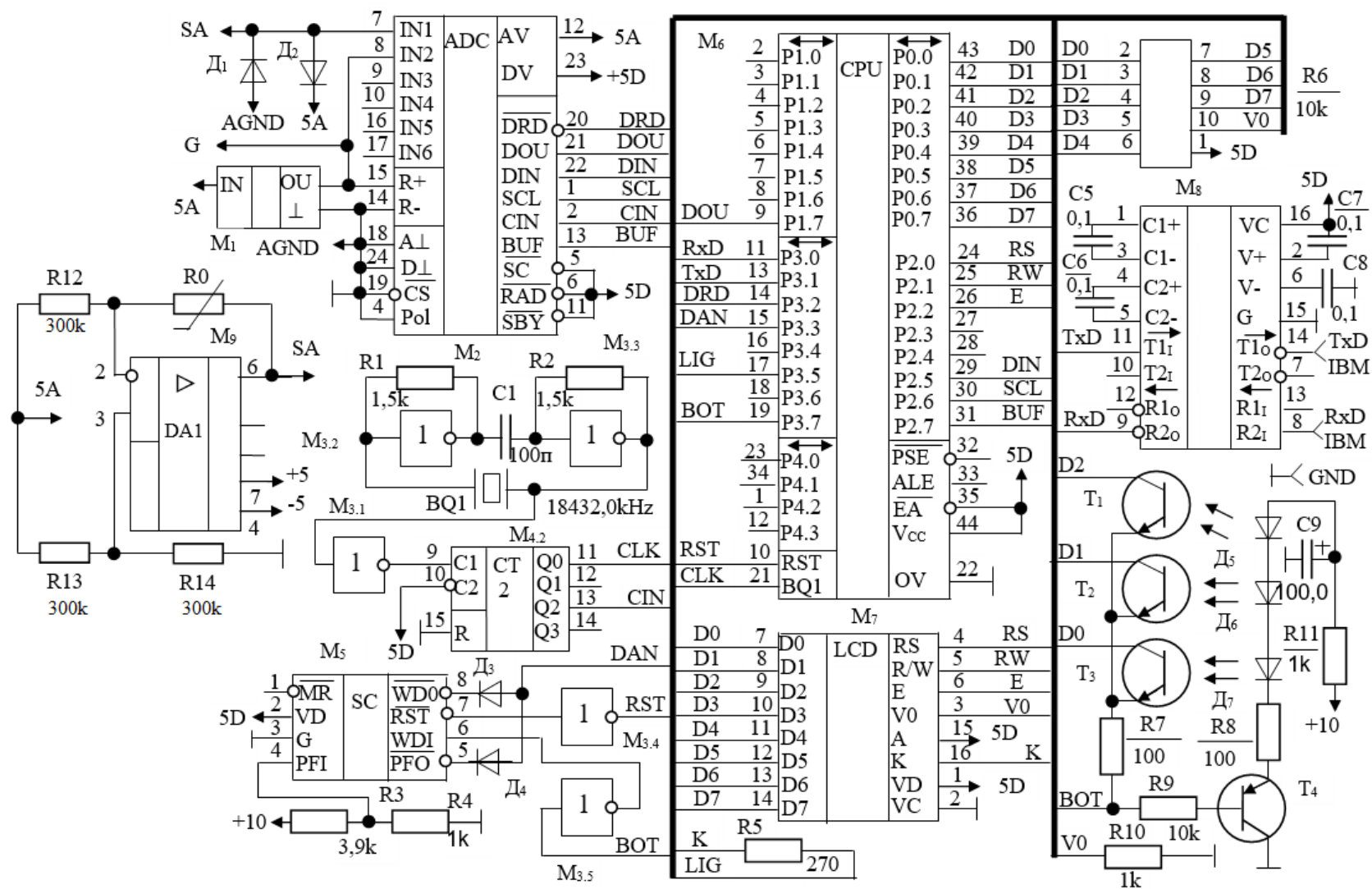


Рисунок 1 – Схема электрическая принципиальная измерителя концентрации

Начальное сопротивление R_0 при отсутствии адсорбирующих газов лежит в пределах 300 ± 50 кОм. Сопротивления $R_{12} - R_{14}$ дифференциального усилителя, который выполнен на M_9 , будут равны начальному значению сопротивления R_0 .

Сопротивление на R_0 , обратно пропорциональное концентрации измеряемого газа, формирует выходное напряжение дифференциального усилителя, которое поступает на $\Delta - \Sigma$ аналого-цифровой преобразователь (а.ц.п.). А.ц.п. M_2 сконфигурирован как 16 разрядный в диапазоне $0 - 1,25$ В с источником опорного напряжения M_1 , генератор на M_3 , M_{4-2} , монитор питания со сторожевым таймером M_5 , однокристалльный микроконтроллер с памятью программ M_6 , индикатор M_7 , приемопередатчик сигналов интерфейса RS-232 M_8 и оптоэлектронный переключатель режимов работы на $D_5 - D_7$, $T_1 - T_4$.

Циклы работы блока синхронизирует программный таймер микроконтроллера M_6 . Он управляет работой и считывает данные с а.ц.п., обрабатывает результаты, передает информацию в индикатор, сбрасывает сторожевой таймер, активирует переключатель и считывает его состояние, формирует и принимает сигналы по RS-232 [3]. Максимальное значение сопротивления R_0 заносится в память контроллера M_6 при калибровке устройства. Программное обеспечение контроллера учитывает паразитное перекрестное влияние компонент газов на результаты измерения (. Результаты измерений и служебная информация отображаются на индикаторе и передаются по RS-232.

Таким образом, был получен первичный измерительный преобразователь на основе полупроводникового пленочного сенсора, который позволяет производить измерения концентрации многокомпонентной газовой смеси в условиях шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович, Д. С. Измерительные схемы пленочных сенсоров / Д.С. Карпович, М.А. Анкуда // Химическая технология и техника: материалы 87-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 января - 17 февраля 2023 г. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 273-275.

2. Хоровиц, П. Искусство схемотехники. / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ. Б. Н. Бронин [и др.]; – М.: Мир, 2003. – 704 с.

3. Оробей И.О., Сарока В.В., Гринюк Д.А., Олиферович Н.М., Анкуда М.А. Анализатор содержания NH₃ и CO // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2022. № 1 (254). С. 50–57.

Д.С. Карпович, доц., канд. техн. наук (БГТУ г. Минск)

М.А. Анкуда, ст. преп. (БГТУ г. Минск)

Н.М. Олиферович, ст. преп. (БГТУ г. Минск)

М.К. Анкуда, ассист. (БГТУ г. Минск)

И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук (БГТУ г. Минск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПЛЕНОЧНОМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ СЕНСОРЕ

Принцип действия полупроводниковых химических сенсоров основан на изменении электрических свойств чувствительного слоя полупроводникового образца при изменении состава анализируемой газовой среды. В качестве объекта исследования были выбраны газочувствительные тонкопленочные полупроводники.

Свойством резистивного полупроводникового сенсора, зависящим от концентрации газовой примеси, является электропроводность чувствительного слоя, в качестве которого используется поликристаллическая пленка полупроводниковых оксидов металла. Выходным аналитическим сигналом резистивного сенсора служит либо величина сопротивления чувствительного слоя, либо аналоговый сигнал по напряжению. В зависимости от типа детектируемой примеси (доноры или акцепторы электронов) и типа проводимости полупроводника (*n* или *p*-тип) сопротивление чувствительного слоя сенсора увеличивается или уменьшается.

Основной теорией, объясняющей процессы, происходящие на поверхности полупроводника, является теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Согласно этой теории в воздушной среде на поверхностных центрах полупроводника может адсорбироваться кислород в молекулярной или атомарной форме как акцептор электронов, из рабочей зоны поверхности полупроводника, в результате чего поверхность приобретает отрицательный заряд.

В полупроводниковых газоанализаторах используется эффект изменения электрического сопротивления пленок полупроводниковых материалов, возникающего вследствие физической и химической адсорбции газа. На поверхности полупроводникового материала существуют донорные уровни E_s , которые расположены выше уровня ферми в объеме материала. Электронные зоны проводимости стремятся заполнить поверхностные состояния. А значит теория приповерхностного заряда позволит определить сопротивление пленки полупроводникового сенсора.

Концентрация избыточных носителей в слое пространственного заряда может быть вычислена с помощью решения уравнения Пуассона [1]

для направления x , расположенном нормально к поверхности, причём за положительное направление принимается движение вглубь полупроводника от поверхности.

Тогда уравнение Пуассона:

$$\frac{d^2\varphi(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\varepsilon},$$

где ε – диэлектрическая постоянная полупроводника, $\rho(x)$ – плотность заряда.

Плотность заряда $\rho(x)$ может быть представлена как:

$$\rho(x) = e(N_D - N_A + p(x) - n(x))$$

где N_D и N_A – плотности ионизированных доноров и акцепторов, которые являются постоянными величинами, $p(x)$ и $n(x)$ – концентрации дырок и электронов проводимости, соответственно.

Для полупроводника n -типа можно пренебречь концентрацией дырок и акцепторов. Если считать, что доноры полностью ионизованы, то уравнение Пуассона примет вид:

$$e \cdot (N_D - n(x)) = \varepsilon \cdot \frac{d^2\varphi(x)}{dx^2}$$

Для области обеднения в первом приближении можно пренебречь $n(x)$ по сравнению с N_D . Тогда напряженность электрического поля:

$$E(x) = \frac{e \cdot N_D}{\varepsilon} \cdot x + C,$$

где $E(x)$ – напряженность электрического поля, C – постоянная интегрирования.

Будем считать, что напряженность электрического поля в глубине образца, за пределами зоны обеднения, равна нулю. Тогда зависимость напряженности электрического поля от координаты имеет следующий вид:

$$E(x) = \frac{e \cdot N_D}{\varepsilon} \cdot (x - L_D)$$

Из условия электронейтральности образца в целом следует, что заряд на поверхности по абсолютной величине должен совпадать с зарядом обедненного слоя.

Для нахождения распределения потенциала проинтегрируем выражение для напряженности электрического поля, приняв потенциал в объеме за ноль:

$$\varphi(x) = \frac{e \cdot N_D}{2 \cdot \varepsilon} \cdot (x - L_D)^2$$

где $L_D = \sqrt{\frac{\varepsilon k_B T}{2e^2 N_C}}$ – длина Дебая, которая характеризует размер зоны обеднения.

Тогда потенциал на поверхности можно определить:

$$\varphi_s = \frac{e^2 \cdot N_s^2}{2 \cdot \varepsilon \cdot N_D}$$

Если электрофизические свойства контактирующих зерен одинаковы, то через них будет протекать один и тот же ток. Тогда выражение для сопротивления одной межзеренной границы можно будет записать:

$$R_{ГР} = \frac{2k_B T}{eI_0}$$

где I_0 – обратный ток запирающего слоя, протекающий по цепочке приводящих зерен.

Если просуммировать все сопротивления вдоль одной проводящей цепочки и определить общее число всех проводящих цепочек, то можно получить выражение для общей проводимости сенсора между контактами:

$$G_0 = K \cdot \frac{eI_0}{2k_B T}$$

где K – постоянная величина, которая определяется геометрическими размерами пленки и числом проводящих зерен.

Обратный ток запирающего слоя описывается выражением [3]

$$I_0 = S_k \cdot \frac{e \cdot \mu_n \cdot E \cdot n_0}{1 + 4 \cdot \frac{\mu_n \cdot E}{v_n}} \cdot e^{-\frac{e \cdot \varphi_s}{k_B \cdot T}}$$

где S_k – площадь контакта зерен, T – температура, E – максимальная напряженность электрического поля, n_0 – концентрация электронов, v_n – средняя тепловая скорость электронов.

Тогда проводимость сенсора можно описать [2]

$$G_0 = K \cdot \frac{e \cdot S_k}{2 \cdot k_B \cdot T} \cdot \frac{e \cdot \mu_n \cdot E \cdot n_0}{1 + 4 \cdot \frac{\mu_n \cdot E}{v_n}} \cdot e^{-\frac{e \cdot \varphi_s}{k_B \cdot T}} = G_{00} \cdot e^{-\frac{e \cdot \varphi_s}{k_B \cdot T}}$$

Полученное выражение для G_0 справедливо только в стационарном случае, когда после появления газа около поверхности сенсора пройдет время, достаточное для установления адсорбционного равновесия. Динамическое уравнение для проводимости можно будет записать:

$$G_0(t) = G_{00} \cdot e^{-\frac{e \cdot \varphi_s(t)}{k_B \cdot T}}$$

При этом

$$\varphi_s(t) = \left(\varphi_s - \frac{k_B \cdot T}{e} \right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)^2 + \frac{k_B \cdot T}{e},$$

где τ – время релаксации процесса адсорбции атомов газа на поверхности полупроводникового сенсора.

Таким образом получили математическую модель энергетических процессов, протекающих в приповерхностной области полупроводникового сенсора от действия газа на основе уравнения Пуассона. Что позволило получить зависимость изменения активной проводимости приповерхностного слоя от полупроводников при адсорбции молекул газа среды.

Составим математическую модель энергетических процессов, протекающих в приповерхностной области полупроводникового сенсора от действия газа на основе уравнения Пуассона в среде MATLAB.

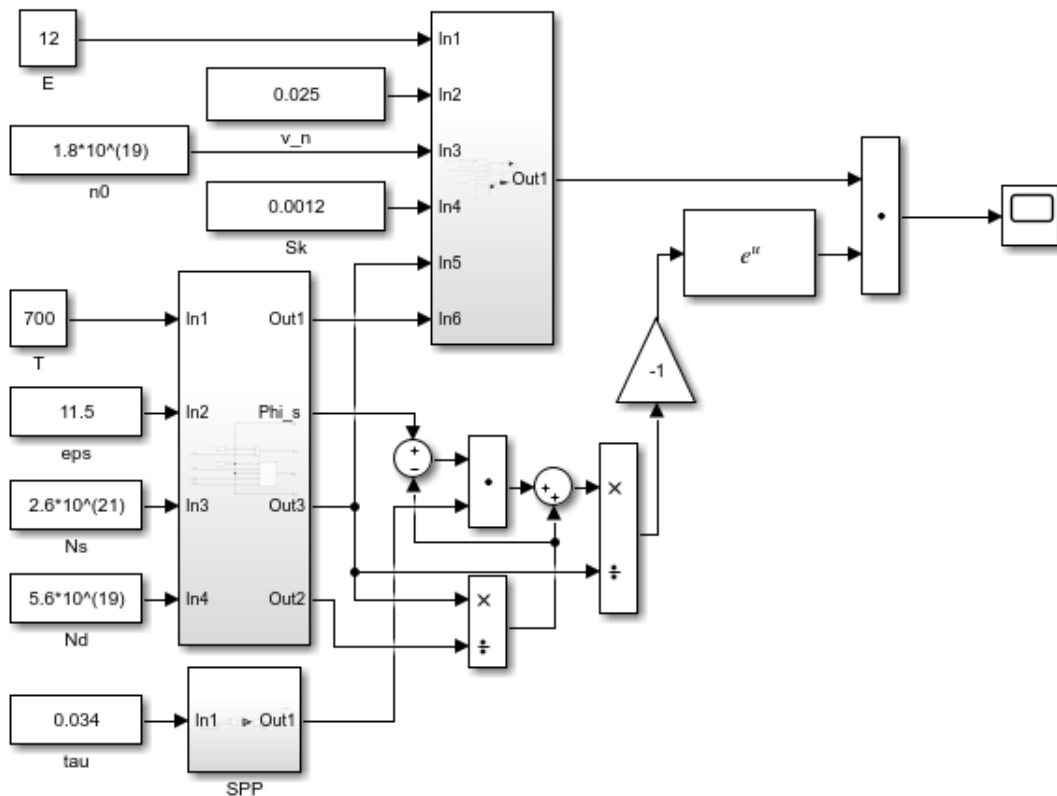


Рисунок 2 – Структурная модель энергетических процессов полупроводникового сенсора

Моделирование изменения проводимости сенсора при действии статического электрического поля в условиях генерации постоянного шумового сигнала представлено на рис. 3.

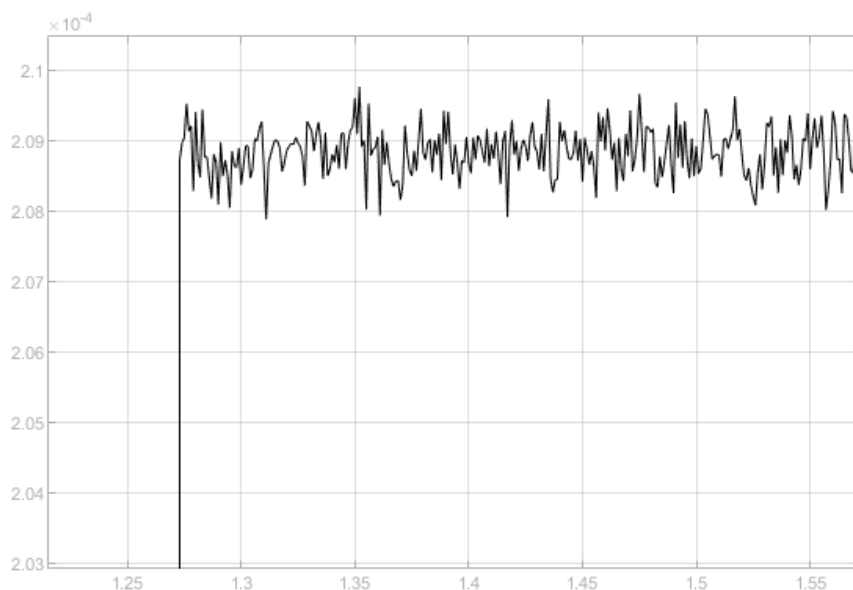


Рисунок 3 – Зависимость проводимости сенсора при статическом воздействии электрического поля в условиях шумовой генерации

Таким образом получили математическую модель энергетических процессов, протекающих в приповерхностной области полупроводникового сенсора от действия газа на основе уравнения Пуассона. Что позволило получить зависимость изменения активной проводимости приповерхностного слоя от полупроводников при адсорбции молекул газа среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Young С.Е. Extended curves of the space charge, electric field, and free carrier concentration at the surface of a semiconductor, and curves of the electrostatic potential inside a semiconductor // J. Appl. Phys. – 1961. – V. 32. – P. 329-332.

2. Описание и моделирование энергетических процессов в полупроводниковом сенсоре / М. А. Анкуда [и др.] // Химическая технология и техника : материалы 88-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 340-344.

О.Г. Барашко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
В.П. Кобринец, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ERP-СИСТЕМ НА СТАДИИ ФИКСАЦИИ ОЖИДАЕМОГО РЕЗУЛЬТАТА ПО ЭТАПАМ

Существующие проблемы при проектировании и внедрении ERP-систем могут привести к перенесению сроков в связи с пересмотром приоритетов или даже к отказу от осуществления.

При проектировании весь объем работ делится на самостоятельные этапы, ожидаемый результат и время его достижения фиксируется для каждого этапа. Это позволяет контролировать риски проекта, двигаясь поступательно к намеченной цели. Переходить к очередному этапу можно только после выполнения трех условий: команда проекта выработала единое понимание результатов этапа; это понимание оформлено в виде документа; результаты этапа приняты заказчиком, то есть руководителем предприятия. Однако фиксации ожидаемого результата по этапам осуществляются крайне редко.

В этом случае коррекция целей и ожиданий, которым свойственно меняться по мере выполнения и внедрения проекта, происходит тоже не в полной мере. Причинами изменений могут быть новые требования заказчика в свете иных факторов стратегии развития предприятия. Своевременная корректировка позволит на нужном этапе проекта выбрать верное направление последующих действий в рамках проекта внедрения.

Формирование правильного понимания ожиданий исполнителей, связанные с успехом самого проекта и базирующихся на мотивационных факторах, таких как повышение зарплаты, достижение новой высоты в профессиональном росте, карьерный рост, получение новых знаний, используется не в полной мере.

Учет компонентов разной природы (организационной, финансовой, информационной и производственной), положительно зарекомендовавших себя при внедрении ERP-систем, позволит сделать проект внедрения систем данного класса успешным.

Внедрение системы управления на базе ERP-систем связано с изменением рабочих и управленческих процессов, перераспределением ответственности и полномочий. Эти изменения часто вступают в конфликт с интересами тех или иных руководителей подразделений и сотрудников. Поэтому руководство организации должно целенаправленно поддерживать команду проекта и результаты ее работы.

О.Г. Барашко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
В.П. Кобринец, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ОПТИМАЛЬНАЯ КОМПЛЕКТАЦИЯ ЛАБОРАТОРНО-ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Лабораторно-информационные системы (Laboratory information management system – LIMS), информационные системы, позволяющие не только решать многочисленные задачи ввода и хранения лабораторных данных, а также интегрироваться с MES-системами автоматизации для участия в решении задач управления цехом.

При оптимальной комплектации LIMS исходными данными являются: характеристика исходного сырья, полуфабрикатов и источники их поступления; ассортиментный перечень выпускаемой продукции предприятия, приоритеты выпуска; составляющие части ассортиментного перечня от общего объема выпуска; структуры поставок продукции на рынки, приоритеты предприятия; использование на предприятии информационных технологий. Такая комплектация LIMS должна учитывать базовые факторы.

Во-первых, собственно технологический процесс – получение конкретной продукции на конкретном производстве, сырьевой состав, конечный продукт; порядок аттестации продукции, формирование паспорта качества, распределение ответственности.

Важным фактором является структурная характеристика подразделения по контролю качества: место в структуре промышленного предприятия и цеха; структура лабораторий, наличие подразделений, отделов, специфика работы; размещение и подчиненность.

Следующим фактором, влияющим на оптимальную комплектацию, является четкий постадийный порядок отбора проб, протяженность во времени с момента отбора пробы и до начала проведения анализа, временные затраты на проведение; систематизация результатов измерений, наличие и использование информационно аналитических программ. Здесь не менее важна оснащенность лаборатории контрольно-измерительными приборами и оборудованием, задействованных в измерительных процессах, их загруженность; соответствие перечня приборов и оборудования нормативным документам; ручные и автоматизированные средства измерения, порядок аттестации измерительной техники; наличие локальной сети внутри лаборатории и доступ в общую сеть предприятия.

УДК 519.2

А.В. Овсянников, доц., канд. техн. наук (БГУ, г. Минск)

О.Г. Барашко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ АМПЛИТУДНЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ

Амплитудные фильтры распределенных систем нашли широкое применение в сферах технического зрения (в качестве сглаживающих, выделяющих элементы структуры, фильтрующих шумы и т.д.), системах различного назначения, в которых наблюдения могут быть представлены дискретным двумерным полем (автоматика и автоматизация промышленных объектов, data mining и т.д.).

В таких распределенных системах наблюдаемое дискретное поле Y фильтруется амплитудным фильтром с ядром A нечетной размерности. В простейшем случае размерность ядра равна (3×3) . Амплитудный фильтр для такой распределенной системы может быть описан дискретной двумерной сверткой

$$x_{s,t}^* = A^{s,t} * Y^{s,t}, \quad (1)$$

где $x_{s,t}^*$ – оценка значения элемента дискретного поля в точке (s,t) , $Y^{s,t}$ – фрагмент матрицы наблюдений с центром (s,t) , $A^{s,t}$ – ядро фильтра, в общем случае, переменное, зависящее от координат (s,t) .

Естественным для анализа качества амплитудного фильтра (1) критерием, является критерий

$$J_{s,t} = M \left(x_{s,t} - x_{s,t}^* \right)^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $M()$ – символ математического ожидания, $x_{s,t}$ – истинное значение элемента дискретного поля в точке (s,t) .

Материал работы посвящен анализу критерия (2) при различных вариантах задания ядра фильтра A .

Во-первых, установлено, что кроме случаев выделения структуры, значения элементов ядра фильтра для обеспечения (2) должны зависеть от параметров шума. В простейшем случае сглаживающего фильтра эта зависимость может быть выражена через коэффициент k , т.е. $A=A(k)$. Например, для фильтра (3×3) значение элемента с координатами (s,t) равно k , а значения остальных элементов $(1-k)/8$ соответственно. При таком выборе матрицы A ее можно представить в виде

$$A(k) = B - kC, \quad (3)$$

где матрицы B и C не зависят от k и имеют конкретные численные значения.

Используя представление (3) в (1) можем аналитически и численным моделированием исследовать зависимость k от параметров шума. В частности, для равномерного дискретного двумерного шума k является монотонно убывающей зависимостью: от 1 (шума нет) и стремящейся к $1/9$ при возрастании мощности шума.

Во-вторых, в работе анализируется влияние масштабов и качества априорной информации на критерий (2). Такой анализ представляет интерес для задач в которых требуется идентифицировать наличие некоторой области дискретного двумерного поля в соответствии с заданным шаблоном X^u , причем размерность шаблона меньше размерности поля $|X^u| < |Y|$.

В работе показано, что оптимальным ядром фильтра в этом случае, является ядро с элементами

$$A^{s,t} = (1/9) \left[x_{s,t}^u / X^{u,s,t} \right], \quad (4)$$

где $X^{u,s,t}$ – двумерный шаблон, $x_{s,t}^u$ – значение элемента шаблонов в координатах (s,t) , в скобках обозначена операция предполагающая поэлементную операцию. Анализ критерия (2) показывает эффективность такого выбора ядра. Принимая во внимание, что распределение элементов ядра (4) приближенно можно охарактеризовать распределением частного двух равномерно распределенных величин на одном и то же интервале с математическим ожиданием равным единице, то условие нормировки для такого ядра также можно считать выполненным. В-третьих, оценивая качественные параметры фильтра (1) для различного вида ошибок, можно заметить, ошибка оценки равна

$$\Delta_{s,t} = x_{s,t} - A^{s,t} * Y^{s,t} = -A^{s,t} * E^{s,t}, \quad (5)$$

т.е. не содержит систематическую ошибку, как например, у любого фильтра с фиксированными значениями ядра (сглаживающего, выделяющего и т.п.). С учетом выражения (5) получаем оценку математического ожидания и дисперсия ошибки

$$\begin{cases} M(\Delta_{s,t}) = -\gamma_\varepsilon m_\varepsilon (A^{s,t} * I), \\ D(\Delta_{s,t}) = \gamma_\varepsilon^2 D_\varepsilon (A^{s,t} * I), \end{cases} \quad (6)$$

где $A_1^{s,t} = \{a_{i,j}^2\}$ матрица, с возведенными в квадрат элементами матрицы $A^{s,t}$, γ_ε – коэффициент учитывающий уровень (число) возможных пораженных ошибками, элементов дискретного поля.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МНЕМОСХЕМЫ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ФОСФАТА АММОНИЯ

Мнемосхемы наглядны, информативны и помогают лучше понять структуру и логику функционирования технологического процесса, особенно если в нее интегрированы соответствующие графики, диаграммы и таблицы. На интерфейсе мнемосхем хорошо видна последовательность технологических связей от одного аппарата к другому, и оператору удобно систематизировать происходящее.

На диспетчерских пультах и операторских панелях должны быть хорошо видны информационные сигналы и состояние регулирующих органов. Они обеспечивают оператора в режиме онлайн информацией о состоянии системы, характере структуры процессов, связанных с нарушением технологических режимов.

Очень важно, чтобы мнемосхема каждого технологического аппарата была спроектирована с учетом его особенностей, но при этом не перегружена лишними и отвлекающими деталями. Каждый процесс на экране должен быть таким же, как в реальности, и при этом легко читаться. С одной стороны, важно соблюдать масштабы каждого объекта, а с другой – сделать так, чтобы все небольшие по размерам объекты не оказались слишком мелкими и нечитаемыми на мнемосхеме. Это необходимо, чтобы диспетчер мог легко видеть реальное состояние аппарата, оценить происходящие в нем процессы, быстро заметить ошибку и также быстро предотвратить опасность.

В качестве предварительных информационных переменных, которые можно будет использовать при создании мнемосхемы SCADA-системы для процесса производства фосфата аммония, выбраны:

- расход кислоты, подаваемой на нейтрализацию;
- расход жидкого аммиака;
- температура в реакторе;
- температура основных поступающих компонентов: кислоты, аммиака и пульпы;
- давление в смесителе;
- влажность получаемой пульпы;
- расход готового сухого продукта.

М.Р. Вагизов, доц., канд. техн. наук;

П.И. Кузин, доц., канд. техн. наук

(СПб государственный лесотехнический университет
им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия)

Е.И. Кузина (Военная академия связи им. Маршала Советского Союза
С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия)

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОГРАММИРУЕМЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ

Аннотация: в статье представлен обзор программируемых устройств и особенностях применения каждого из них. В процессе осуществления своей деятельности технолог получает большое количество данных, анализ и обработка которых требуют огромного количества сил и времени. Анализ существующих программируемых устройств поможет выбрать оптимальный продукт при осуществлении автоматизации процессов.

Ключевые слова: Промышленный контроллер, программируемый логический контроллер, автоматизация процессов.

Введение. Промышленный контроллер, также известный как программируемый логический контроллер (ПЛК) это цифровой компьютер, используемый для автоматизации электромеханических процессов [1].

Все типы ПЛК созданы для выполнения программ управления. Их объединяет фундаментальная концепция, сбор и обработка данных, а затем отправка управляющих сигналов на исполнение.

Типы программируемых устройств. Условно можно выделить три типа программируемых устройств, используемых в промышленности[2]: программируемое реле (ПР), программируемый логический контроллер (ПЛК), промышленный компьютер (ПК).



Рисунок 1 – Типы программируемых устройств

На самом деле, такое деление достаточно условно. Особенно сложно найти грань между ПР и ПЛК.

Современные ПР их еще называют умные реле или смартреле, отличаются от ПЛК тем, что это устройство «малой автоматизации». При этом, ПР может быть практически тем же самым устройством, что и ПЛК. Но количество вводов-выводов у смартреле обычно значительно меньше. Условно, к ПР не получится подключить 1000 датчиков, а к ПЛК получится.

Можно было бы подумать, что смартреле отличаются от ПЛК в плане производительности, что у них используются какие-нибудь слабые процессоры, а в ПЛК более мощные. Но это не так.

Рассмотрим типичный пример. Есть ПЛК Segnetix Pixel, который имеет в своём ядре микросхему ATmega328. Это восьмиразрядный микроконтроллер. Если же мы возьмем смартреле Owen ПР200, то в нём используются STM32F103, а это 32-разрядный процессор, который примерно в 40 раз мощнее, чем в Pixel. При этом ПР 200 это все-таки смарт реле, а Pixel это все-таки ПЛК, к которому можно подключить 1000 датчиков.

Следующими по списку идут ПЛК. Это широко распространённый тип приборов, который используется на большинстве объектов. Тройка лидеров на отечественном рынке это Owen, Segnetics и МЗТА, но есть и другие, менее известные. Что касается импортных производителей, то их множество. Самые популярные: Siemens, Omron, Schneider, Danfoss, Delta. В некоторых странах есть свой рынок с уникальными производителями, которых мы не встречали здесь, а они там не встречали наших контроллеров.

Среди ПЛК можно выделить два вида: непосредственно программируемые контроллеры и конфигурируемые контроллеры.

Поставляемый с завода контроллер не умеет ничего. В лучшем случае, если подать на него питание, он напишет что-нибудь дружелюбное на экране или, если у него нет экрана, включит светодиод. Все алгоритмы работы закладывает туда именно программист. Он описывает все действия, каждый символ на экране, каждую вспышку светодиода, все входы-выходы, абсолютно всё. Такой контроллер способен управлять любой системой. Это свободнопрограммируемый контроллер.

Конфигурируемые контроллеры не являются программируемыми. Работа с ними происходит примерно так же, как настройка Wi-Fi роутера. При работе с конфигурируемыми ПЛК специалисты выбирают нужные параметры, соответствующие данной системе, условиям,

объекту, и заставляют систему работать по алгоритмам, заранее заложенным на заводе. Вмешаться в работу такого устройства не представляется возможным. Такие контроллеры как раз и используются в системах коммерческого учёта энергоресурсов, в пожарно-охранных системах и в медицине. Работа с ними не требует высокой квалификации..

Отдельно нужно выделить ПЛК с операционной системой Linux на борту. Такие устройства (особенно, если производитель не закрывает полноправный доступ к операционной системе) по своей сути, являются ПК.

Последний тип программируемых устройств это ПК. В современном мире ПК используются в задачах, где требуется обработка большого количества информации в сжатые сроки. Например, из-за недостаточной вычислительной мощности на ПЛК невозможно реализовать алгоритмы машинного зрения. Поэтому для этой цели нужны ПК. Это же касается и применения искусственных нейронных сетей для различных задач.

Слабой стороной ПК является их низкая (по сравнению с ПЛК) надёжность. К счастью, этот вопрос можно частично решить за счёт резервирования компьютеров.

Система управления, построенная на резервируемых ПК имеет много конкурентных преимуществ над системами с ПЛК. Нерешаемым остаётся только вопрос с быстродействием системы контроля, так как даже самые высокопроизводительные системы на ПК не могут обеспечить удовлетворительного быстродействия ввода-вывода для некоторых промышленных задач, таких как позиционирование исполнительных механизмов, обработка сигналов энкодеров и т.д. Скорость выполнения программы на этих устройствах, несмотря на их более высокую производительность, никогда не превышает скорость ПЛК, а в некоторых случаях вообще составляет до 10 раз большее время.

В большинстве случаев работа с ПК предполагает шефмонтаж и шефналадка, это когда организация, которая поставляет оборудование, присылает своего специалиста для того, чтобы он произвёл пусконаладочные работы на объекте. Это не всегда выгодно для управления производством.

Отдельно стоит упомянуть про одноплатные компьютеры (ОК), отладочные платы Arduino. Они так же являются программируемыми устройствами, но они не вписаны в стандарт МЭК 61131-3, несмотря на то, что некоторые из этих устройств можно запрограммировать на языках программирования стандарта МЭК 61131-3.

Основной причиной является то, что это не промышленные и не серийные устройства. Иными словами, если на объекте сделано решение при помощи Arduino, то рано или поздно оно сломается, и возникнет вопрос, а на что его менять или как его починить.



Рисунок 1 – Одноплатный компьютер Firefly ROC-RK3588-RT

Хорошо, если специалист, который его устанавливал, все еще работает на объекте. Никто, кроме него не сможет разобраться, а даже если сможет, то скорее всего это будет дороже, дольше и сложнее, чем собрать систему заново на промышленной автоматике.

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод, что для коммерческих целей при осуществлении автоматизации процессов целесообразно использовать серийные изделия, ПР, ПЛК, которые можно в любой момент заказать и приобрести у надежного поставщика, загрузить необходимое программное специализированное обеспечение и включить в систему на место вышедшего из строя оборудования.

Так как это стандартизированное оборудование и выпускается в рамках международных стандартов. Тогда как одноплатные компьютеры, Arduino и прочие устройства лучше всего оставить для учебно-опытной автоматизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Z. Zhu, W. Lu, L. Zhang and N. Ansari, "Dynamic Service Provisioning in Elastic Optical Networks With Hybrid Single-/Multi-Path Routing," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 31, no. 1, pp. 15-22, Jan.1, 2013, doi: 10.1109/JLT.2012.2227683.

2. О.Е. Наний, В.Н. Трешиков Форматы модуляции для оптических DWD систем связи с канальной скоростью 40 и 100 Гбит/с // *Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт*. Т. 2011. № 8. С. 76–78.

ВИРТУАЛЬНЫЕ ПЛК В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА: АРХИТЕКТУРА, ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Современные промышленные предприятия широко используют программируемые логические контроллеры (ПЛК) для автоматизации производственных процессов. В крупных заводских системах могут функционировать десятки, а иногда и сотни ПЛК, каждый из которых управляет определённым сегментом производства. Обмен данными между этими устройствами осуществляется через протоколы реального времени, которые определены в стандарте “IEC 61158”, что обеспечивает необходимую точность и надёжность управления.

В последние годы промышленность активно трансформируется под влиянием концепций «Индустрии 4.0» и «Промышленным IoT» (“IIoT”), которые направлены на повышение автономности, эффективности и гибкости. Это приводит к росту требований к вычислительным ресурсам, хранению данных и сетевой пропускной способности.

Инновационные технологии, такие как граничные и облачные вычисления, сети “5G”, протоколы “TSN” и детерминированные “IP”-сети (“DetNet”), ускоряют интеграцию и изменяют традиционную архитектуру производственных систем.

Виртуализация позволяет отделять программные функции от аппаратного обеспечения, используя виртуальные машины на гипервизорах или контейнеры (например, “Docker”). Это не только снижает затраты, но и повышает гибкость и масштабируемость. В производстве уже виртуализированы “ERP”, “MES” и “SCADA”-системы, и следующий шаг – виртуализация управления, что станет ключом к дальнейшей цифровой трансформации [1].

На рис. 1 представлена обобщенная архитектура виртуального ПЛК. Программа контроллера выполняется наряду с другими процессами в рамках независимой виртуальной машины с операционной системой, оптимизированной для рабочих нагрузок.

Модуль ввода и вывода отвечает за физическое подключение периферийных устройств и датчиков. Модуль взаимодействует с внешними устройствами через полевую шину реального времени, обеспечивая передачу данных на аппаратное обеспечение сервера.



Рисунок 1 – Архитектура виртуального ПЛК на сервере с одним виртуальным ПЛК

Следующий уровень – это аппаратное обеспечение хост-сервера, на котором виртуальный ПЛК работает и взаимодействует с устройствами на местах. Сервер должен обладать высокой производительностью, достаточным объёмом памяти и сетевыми возможностями для обработки сигналов в реальном времени. Сетевой интерфейс сервера напрямую подключается к полевой шине для минимизации задержек.

За этим уровнем следует гипервизор «голового железа». Гипервизор управляет виртуальными машинами, где работают виртуальные ПЛК и другие процессы. Он распределяет ресурсы хост-сервера (ядра процессора, оперативную память и дисковое пространство) между виртуальными машинами. Гипервизор настроен на работу в реальном времени, что обеспечивает минимальные задержки и высокий уровень детерминизма.

Образ виртуальной машины включает виртуальные ПЛК и некритические по времени процессы. ПЛК осуществляет управление производственными процессами, в то время как некритические задачи (например, аналитика или настройка системы) выполняются параллельно, не влияя на работу основных компонентов. Операционная система должна быть выбрана с учетом совместимости со временем выполнения ПЛК, поскольку оно является наиболее важным процессом.

Современная архитектура управления промышленными процессами, основанная на виртуальных ПЛК, демонстрирует гибкость, масштабируемость и высокую производительность благодаря интеграции технологий виртуализации и четкому разделению функциональных слоев. Каждый уровень архитектуры выполняет свои задачи, начиная от обработки данных на физическом оборудовании и заканчивая выполнением виртуальных машин с приложениями реального времени.

Одним из ключевых преимуществ такой архитектуры является возможность работы нескольких образов виртуальных машин на одном сервере. Это позволяет распределять задачи, такие как управление производственными процессами, анализ данных или тестирование, между отдельными виртуальными машинами. Таким образом, предприятие может эффективно использовать вычислительные ресурсы и минимизировать задержки в выполнении критически важных процессов.

Кроме того, сервер предприятия может быть интегрирован в облачную или граничную инфраструктуру, что открывает дополнительные возможности. Современные стандарты детерминированных сетей, такие как “IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking” (“TSN”), “IETF Deterministic IP Networking” (“DetNet”) и “3GPP 5G Ultra-Reliable Low Latency Communication” (“URLLC”), обеспечивают высокую надежность и минимальные задержки передачи данных, даже в распределенных средах. Эти технологии позволяют перемещать задачи между физическими серверами, облачными платформами и граничными центрами обработки данных в зависимости от текущих потребностей производства.

Эта гибкость управления рабочими нагрузками известна как “Software-Defined Factory” (“SDF”) [2]. Концепция “SDF” позволяет предприятиям развертывать и управлять задачами там, где это наиболее необходимо, что ещё больше повышает уровень автоматизации и адаптивности заводов. Например, сложные вычислительные задачи, такие как предиктивное обслуживание оборудования или оптимизация производственных процессов с использованием алгоритмов машинного обучения, могут быть выполнены в облаке, тогда как критически важные процессы управления выполняются на граничных серверах в реальном времени. Внедрение подобных технологий способствует трансформации производства в сторону более интеллектуальных, гибких и автоматизированных систем, что полностью соответствует концепциям «Индустрии 4.0» и будущей «Индустрии 5.0».

ЛИТЕРАТУРА

1. Kim Y.S., Kim Hak-Man, Design of a New Virtual Interaction Based PLC Training Using Virtual Sensors and Actuators (2013) <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1155/2013/505920>

2. Tobias Grocholl, Revolutionizing Manufacturing: The Software-Defined Factory for Agile, Intelligent, and Scalable Production (2024) <https://www.linkedin.com/pulse/revolutionizing-manufacturing-software-defined-agile-tobias-grocholl--vzoje>

Е.В. Дубиковская, магистрант (БГТУ, г. Минск)
Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ИНТЕГРАЦИЯ ВНЕШНИХ СКРИПТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ ПЛК

Современные промышленные контроллеры (ПЛК) играют ключевую роль в автоматизации производства, обеспечивая управление процессами в реальном времени. Однако стандартные функциональные возможности таких устройств, как правило, имеют ограничения, которые могут препятствовать выполнению сложных вычислений, интеграции с современными ИТ-системами или подключению к облачным сервисам. Для преодоления этих ограничений и расширения возможностей ПЛК разработчики все чаще используют сторонние решения, такие как интеграция внешних скриптов.

Среда программирования CODESYS, являющаяся одной из самых популярных платформ для разработки ПЛК-программ, предоставляет множество инструментов для управления промышленными процессами. Тем не менее, в некоторых случаях возникает потребность в дополнительной гибкости, которая может быть достигнута за счет вызова внешних программ. Такие подходы позволяют реализовывать сложные вычислительные алгоритмы, взаимодействовать с базами данных, подключаться к веб-API, а также обмениваться данными с облачными платформами, значительно расширяя функционал стандартных ПЛК.

Настоящая статья посвящена рассмотрению методов интеграции внешних скриптов в среде CODESYS. В ней демонстрируется, как такие решения могут повысить эффективность управления, обеспечить адаптацию к сложным производственным задачам и интеграцию с современными цифровыми технологиями.

Разработанная компанией 3S-Smart Software Solutions, платформа CODESYS реализует стандарт IEC 61131-3 и предлагает широкий функционал для автоматизации промышленных систем любой сложности. Среда предоставляет полный набор инструментов для разработки программного обеспечения ПЛК, включая проектирование, тестирование и отладку. Она поддерживает более тысячи моделей контроллеров и устройств ведущих производителей, таких как Beckhoff, WAGO, Siemens, Schneider Electric и других.

Программная платформа поддерживает основные промышленные протоколы связи, такие как EtherCAT, Modbus, PROFIBUS, CANopen, EtherNet/IP и OPC UA. Это делает возможной интеграцию

контроллеров с различным оборудованием и налаживание эффективного обмена данными между уровнями автоматизированной системы. Хотя CODESYS предоставляет гибкие решения для управления промышленными процессами, интеграция внешних скриптов открывает новые перспективы для расширения функционала контроллеров. Это позволяет добавить в систему инструменты для анализа данных, взаимодействия с облачными платформами и интеграции с различными API, что значительно улучшает возможности автоматизации.

Для запуска внешних команд и скриптов CODESYS использует библиотеку SysProcess, которая предоставляет функции для инициализации и управления внешними процессами. С помощью этой библиотеки разработчики могут запускать Python-скрипты, программы на других языках или исполняемые файлы (.exe на Windows или исполняемые файлы на Linux). Она позволяет дополнить стандартные функции CODESYS внешними задачами, которые проще или удобнее реализовать через сторонние программы.

Внешние скрипты, написанные на Python с использованием таких библиотек, как NumPy, Pandas или Scikit-Learn, позволяют запускать сложные алгоритмы для анализа данных и прогнозирования. Например, CODESYS может передавать данные в Python-скрипт, который выполнит необходимые вычисления с использованием моделей машинного обучения, а затем вернет результат и рекомендации для дальнейших шагов.

Библиотека SysProcess включает несколько ключевых функций для управления внешними процессами:

- SysProcessExecuteCommand – выполняет внешнюю команду и возвращает её результат. Это особенно полезно для запуска скриптов и исполняемых файлов, включая Python.
- SysProcessGetState – позволяет отслеживать состояние работающего процесса, что важно для мониторинга длительных операций и получения статуса их выполнения.
- SysProcessExit – даёт возможность завершить процесс принудительно, если он завис или требуется остановить его по какой-то другой причине.

Для работы с файлами, которые могут использоваться во внешних скриптах, полезна библиотека SysFile. Она позволяет эффективно управлять файловой системой устройства, обеспечивая операции чтения и записи данных, создание и удаление файлов и папок, а также мониторинг изменений в файловой системе. Эта библиотека особенно полезна для регистрации данных, создания логов и архивирования информации на ПЛК.

Использование библиотек SysProcess и SysFile в CODESYS значительно расширяет возможности системы, позволяя эффективно работать с внешними процессами и управлять файловой системой. Это открывает новые перспективы для создания более сложных и адаптивных автоматизированных решений.

Использование внешних скриптов предоставляет значительные возможности для преодоления ограничений традиционных функций ПЛК, расширяя их функциональность и повышая гибкость системы. Это открывает новые пути для решения более сложных и специализированных задач, которые невозможно или крайне сложно реализовать с использованием только стандартных возможностей ПЛК.

Одной из таких задач является анализ и обработка данных. Внешние скрипты, написанные на языках программирования, таких как Python, позволяют выполнять сложные вычисления, анализировать большие объемы данных, применять методы машинного обучения или искусственного интеллекта для прогнозирования или оптимизации процессов. Например, данные с сенсоров и устройств могут быть переданы во внешний скрипт для обработки и принятия решений на основе алгоритмов, что значительно улучшает точность и эффективность управления.

Кроме того, интеграция с базами данных является важным аспектом, который существенно расширяет возможности ПЛК. Внешние скрипты позволяют подключаться к различным базам данных, таким как SQL или NoSQL, для хранения и обработки данных. Это может включать запись показаний сенсоров в базы данных для последующего анализа, создание отчетов и проведение долгосрочных исследований, что невозможно сделать эффективно в пределах традиционной среды ПЛК.

Подключение к облачным сервисам и взаимодействие с веб-API также являются важными возможностями, которые открываются при использовании внешних скриптов. ПЛК может обмениваться данными с облачными платформами (например, AWS или Azure), что позволяет использовать ресурсы облака для более сложной аналитики, хранения больших объемов данных и управления оборудованием на удаленных объектах.

Также внешние скрипты могут взаимодействовать с различными веб-сервисами через REST API, что открывает возможности для интеграции с другими системами и устройствами, а также для создания решений в области Интернета вещей (IoT).

Автоматизация процессов и управление в реальном времени также становятся значительно более гибкими с использованием внешних скриптов. Например, обработка данных и принятие решений в реальном времени, мониторинг состояния оборудования и системы в целом, а также оперативное вмешательство при возникновении неисправностей становятся возможными через интеграцию с внешними программами и скриптами.

Таким образом, использование внешних скриптов позволяет значительно расширить потенциал ПЛК и системы автоматизации в целом, предоставляя дополнительные инструменты для анализа данных, интеграции с другими системами, улучшения принятия решений и повышения эффективности управления промышленными процессами.

Таким образом, CODESYS является мощной и универсальной платформой для разработки программного обеспечения для ПЛК, поддерживающей множество промышленных стандартов и протоколов связи.

С использованием CODESYS можно создавать высокоэффективные автоматизированные системы для различных отраслей, от машиностроения до энергетики и логистики, что подтверждает его востребованность на рынке. Возможности интеграции с внешними программами и системами, включая поддержку Python-скриптов, делают его одним из самых перспективных решений для автоматизации промышленных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. CODESYS Development System V3.5 SP16 Documentation: <https://www.codesys.com/>
2. Heß, Manfred и Baumeister, Thomas. Introduction to CODESYS V3 for PLC Programming. CODESYS Group, 2021.
3. Python Documentation: <https://docs.python.org/>

М.А. Карабань, магистрант (БГТУ, г. Минск)
В.П. Кобринец, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАРГАРИНА

Смешивание является ключевым компонентом для обработки в комбинаторах, которые широко используются в пищевой, химической или фармацевтической промышленности для различных тепловых применений, таких как заморозка, стерилизация, охлаждение и желатинизация. Комбинаторы разработаны для решения проблем, возникающих при обработке вязких продуктов питания, таких как маргарин, мороженое, шоколад, спреды, арахисовое масло, йогурт и джем. Особенностью аппарата является его способность термически обрабатывать высоковязкие жидкости. Они широко используются в пищевой промышленности для стерилизации или охлаждения высоковязких жидкостей, таких как майонез, сливочный сыр, арахисовое масло и мороженое. Наличие в конструкции вращающихся лопаток в кольцевом пространстве позволяет избежать возможной проблемы загрязнения на поверхности теплообмена и улучшить теплопередачу. Эффективное управление работой аппарата позволяет повысить качество получаемой продукции, снизить потребление электроэнергии.

Комбинатор, расположенный на ОАО «Минский маргариновый завод» состоит из трех охлаждающих цилиндров и одного цилиндра для дополнительной обработки. После прохождения через комбинатор смесь направляется в кристаллизатор.

Каждый охлаждающий цилиндр оснащен испарительной камерой, в которую из аммиачной системы охлаждения подается аммиак под давлением менее 2 МПа. Давление аммиака регулируется клапаном, что позволяет поддерживать оптимальные условия для охлаждения и кристаллизации жировой эмульсии.

Этот процесс обеспечивает эффективное охлаждение и стабилизацию маргарина, что способствует достижению необходимой текстуры и качества конечного продукта. Использование аммиака в системе охлаждения позволяет поддерживать стабильную температуру и предотвращать перегрев, что особенно важно для сохранения свойств маргарина.

В каждом охлаждающем цилиндре комбинатора вращается вал с ножами [1]. Ножи обеспечивают непрерывное соскабливание продукта со стенок цилиндров. Ножевые валы подогреваются теплой водой. Требуемые температуры выхода жировой эмульсии из цилиндров комбинатора: из 1-го – 35-30°C; из 2-го – 27-21°C; из 3-го – 22-8°C. После

комбинатора охлажденная смесь попадает в кристаллизатор для дальнейшей механической обработки.

Кристаллизатор имеет три секции, каждая из них обогревается водой температурой 24-30°C. Температура маргарина на выходе должна быть 10-12°C. На выходном конце кристаллизатора имеется компенсирующее устройство для предохранения переохладителя и всей системы от чрезмерных давлений.

Хотя система автоматизации оптимально спроектирована для процесса, сам процесс характеризуется недостаточной точностью и стабильностью управления. Для решения этой проблемы предлагается внедрение каскадной системы управления температурой на охлаждающих цилиндрах комбинатора и замена клапана на компрессор для подачи аммиака. Анализ показал, что такое решение улучшит динамику регулирования и позволит экономить ресурсы.

Использование каскадной системы управления и компрессора позволяет снизить энергозатраты и повысить общую эффективность процесса. Это особенно важно в условиях растущих требований к энергоэффективности и устойчивому развитию. Внедрение таких технологий также способствует снижению эксплуатационных затрат и увеличению срока службы оборудования.

Таким образом, модернизация системы управления процессом охлаждения в комбинаторе с использованием каскадной системы и компрессора для подачи аммиака является важным шагом к повышению точности, стабильности и эффективности управления. Это решение позволяет не только улучшить качество продукции, но и снизить затраты на производство, что делает его экономически выгодным и технологически обоснованным.

Для построения эффективной системы управления необходимо разработать математическую модель комбинатора, с учетом тепловых процессов, происходящих в аппарате. Так же необходимо сформулировать критерии управления для синтезируемой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная система управления технологическим процессом производства маргарина/Н. Ф. Васильев, С. В. Лачков, М. Ш. Аблавский и др.; под ред. Н. Ф. Васильева – М.: Агропром издат, 1988. – 200 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ КОНВЕРСИИ ОКСИДА УГЛЕРОДА

Модернизация системы управления процессом конверсии оксида углерода включает несколько технологических стадий производства. В рамках данного процесса осуществляется управление технологическим оборудованием производства, включая блок конверсии оксида углерода. Технологические стадии производства могут включать в себя следующие шаги:

1. Подготовка сырья: подготовка и исходное обработка оксида углерода для дальнейшего превращения в целевой продукт.

2. Конверсия оксида углерода: процесс химической реакции превращения оксида углерода в другие соединения в соответствии с целями производства.

3. Управление процессом: контроль и регулирование технологических параметров, температуры, давления и других условий, необходимых для эффективной конверсии оксида углерода.

4. Отделение конечного продукта: процесс разделения конечного продукта от нежелательных компонентов или отходов.

5. Контроль качества: проверка качества и соответствия конечного продукта установленным стандартам.

Эти технологические стадии играют важную роль в процессе конверсии оксида углерода, и их эффективное управление позволяет достичь желаемых результатов производства.

Модернизация системы управления процессом конверсии оксида углерода включает несколько технологических стадий производства. В рамках данного процесса осуществляется управление технологическим оборудованием производства, включая блок конверсии оксида углерода. Технологические стадии производства могут включать в себя следующие шаги:

1. Подготовка сырья: подготовка и исходное обработка оксида углерода для дальнейшего превращения в целевой продукт.

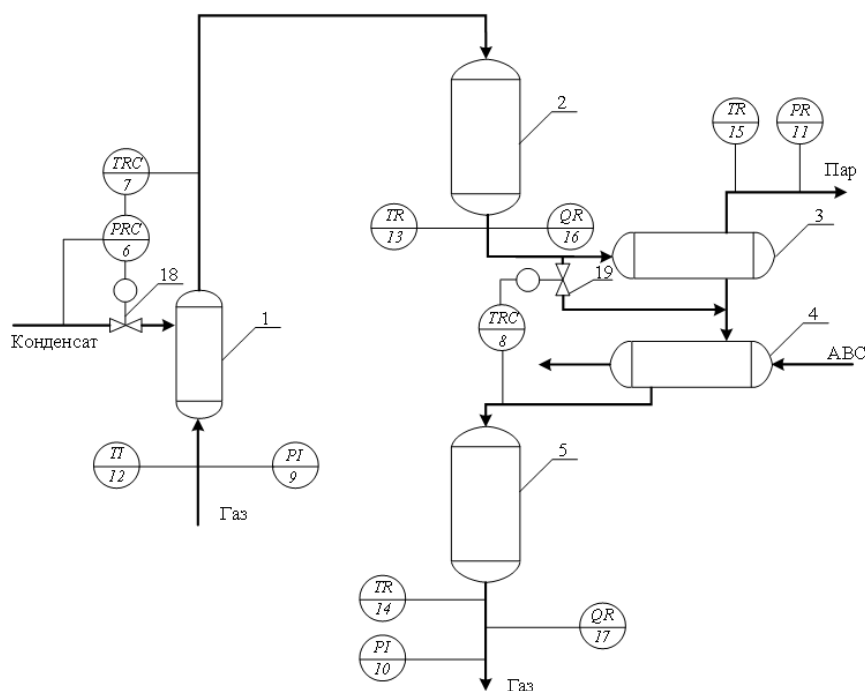
2. Конверсия оксида углерода: процесс химической реакции превращения оксида углерода в другие соединения в соответствии с целями производства.

3. Управление процессом: контроль и регулирование технологических параметров, температуры, давления и других условий, необходимых для эффективной конверсии оксида углерода.

4. Отделение конечного продукта: процесс разделения конечного продукта от нежелательных компонентов или отходов.

5. Контроль качества: проверка качества и соответствия конечного продукта установленным стандартам.

Эти технологические стадии играют важную роль в процессе конверсии оксида углерода, и их эффективное управление позволяет достичь желаемых результатов производства.



1 – увлажнитель; 2 – конвертор первой ступени; 3 – котел-утилизатор; 4 – теплообменник; 5 – конвертор второй ступени,

Рисунок 1 – Технологическая схема и схема автоматизации процесса конверсии оксида углерода

В конверторе 2 первой ступени, загруженном среднетемпературным катализатором, процесс проводят при температуре на входе 320 – 380°C. По мере прохождения через катализатор температура парогазовой смеси повышается до 400 – 450°C, а содержание оксида углерода снижается до 2,5 – 4%. Из конвертора 2 газ поступает в котел-утилизатор 3 (где его тепло используют для получения пара), а затем в газовый теплообменник 4 где осуществляется нагрев газа, поступающего на метанирование. При этом парогазовая смесь охлаждается до 210 – 220°C и направляется в конвертор 5 второй ступени, загруженный низкотемпературным катализатором, где происходит конверсия оксида углерода до остаточного содержания 0,2 – 0,5%, а температура на выходе повышается до 240 – 270°C.

Процесс конверсии СО идет без изменения объема, поэтому давление не сказывается на равновесной степени превращения. Реакцию желательно проводить при возможно более низкой температуре. Уменьшение остаточного содержания СО может быть достигнуто снижением температуры и увеличением концентрации водяного пара в газе. Нижний температурный предел определяется условиями конденсации водяного пара. Количество конденсата, подаваемого в увлажнитель 1, регулируют с помощью регулятора расхода б, воздействующего на регулирующий клапан 18, а температуру на входе в конвертор 2 первой ступени – изменением подачи этого конденсата с помощью регулятора температуры 7. Температуру газа на входе во вторую ступень конверсии регулируют байпасированием части газа мимо котла-утилизатора с помощью регулятора температуры 8 и регулиującego клапана 19. К основным контролируемым параметрам процесса относятся: давление газа на входе в увлажнитель 1 (датчик 9) и выходе из конвертора 5 (датчик 10) и пара, получаемого в котле-утилизаторе 3 (датчик 11); - температуры газа на входе в увлажнитель (датчик 12), на выходе конверторов 2 и 5 (датчики 13 и 14) и пара (датчик 15); - составы (содержание СО) конвертированного газа после конверторов 2 и 5 (датчики 16 и 17).

Критика существующей системы управления процессом конверсии оксида углерода может включать следующие аспекты:

1. Устаревшее оборудование: текущее оборудование управления процессом конверсии оксида углерода устарело и не соответствует современным стандартам и технологиям.

2. Недостаточная автоматизация: если система управления требует слишком много человеческого вмешательства, это может замедлять процессы и делать их менее эффективными.

3. Недостаточные меры безопасности: существующая система управления недостаточно обеспечивает безопасность операций конверсии оксида углерода, что может привести к аварийным ситуациям или опасным для здоровья человека условиям.

4. Недостаточное соблюдение стандартов качества: если текущая система управления не обеспечивает должного контроля за процессом конверсии оксида углерода, это может привести к неправильным результатам и низкому качеству продукции.

Для улучшения системы управления процессом конверсии оксида углерода рекомендуется провести тщательный анализ ее недостатков и потребностей, а затем разработать и внедрить соответствующие изменения и модернизации с учетом современных технологий и лучших практик в данной области.

Модернизация системы управления должна быть направлена на следующие аспекты:

1. Создание информационной базы: модернизированная система нуждается в надежной информационной базе и эффективной системе ее использования. Это должно обеспечить эффективное планирование и управление различными аспектами процесса преобразования монооксида углерода. Благодаря использованию передовых возможностей сбора, обработки и анализа данных система сможет обеспечить более обоснованный и стратегический подход.

2. Расширенные возможности планирования и управления: обновленная система должна предлагать улучшенные функции планирования и контроля, которые позволят лучше координировать и управлять процессом преобразования угарного газа. Это предполагает интеграцию прогнозного моделирования, мониторинга в реальном времени и инструментов поддержки принятия решений для оптимизации производительности и использования ресурсов.

3. Повышение эффективности и устойчивости: проектируемая система должна уделять первостепенное внимание эффективности и устойчивости путем реализации мер по минимизации отходов, снижению энергопотребления и выбросов.

4. Интегрированная система управления: модернизированная система должна включать в себя интегрированную систему управления, которая упрощает коммуникацию, сотрудничество и координацию между различными заинтересованными сторонами, участвующими в процессе преобразования угарного газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шувалов В. В., Огаджанов Г. А., Голубятников В. А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, учебник для средних специальных учебных заведений, [Текст]: Москва: Химия, 1991. – 478 с.

РАСЧЁТ НАБЛЮДАТЕЛЯ КАЛМАНА В СИСТЕМЕ MATLAB

Рассмотрим непрерывную модель объекта управления

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + Gw \\ y_v = Cx + Du + Hw + v \end{cases}$$

с известными входами u и возмущениями по входам w и измерениям v , которые являются "белым" шумом со следующими характеристиками:

$$\begin{aligned} M\{w\} &= M\{v\} = 0, \\ M\{w[t]w[\tau]\} &= Q\delta(t - \tau), \\ M\{v[t]v[\tau]\} &= R\delta(t - \tau), \\ M\{v[t]w[\tau]\} &= N\delta(t - \tau), \end{aligned}$$

Требуется выполнить синтез наблюдателя для оценивания вектора переменных состояния объекта, который минимизирует установившуюся ошибку оценивания

$$P = \lim_{t \rightarrow \infty} M\{(x - \tilde{x})(x - \tilde{x})\}$$

Оптимальным решением является фильтр Калмана, описываемый уравнениями

$$\begin{cases} \dot{\tilde{x}} = A\tilde{x} + Bu + L(y_v - C\tilde{x} - Du), \\ \begin{bmatrix} \tilde{y}_v \\ \tilde{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \\ I \end{bmatrix} \tilde{x} + \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix} u + Hw + v, \end{cases}$$

где L матрица коэффициентов обратных связей. L определяется на основе решения алгебраического матричного уравнения Риккати.

Наблюдатель (фильтр) Калмана-Бьюси использует известные входы u и результаты измерений, искаженные случайными помехами, для того, чтобы вычислить оценки вектора переменных состояния \hat{x} и выходов \hat{y} .

Для синтеза фильтра Калмана в системе Matlab предназначены следующие функции:

`[kest, L, P] = kalman(sys, Qn, Rn, Nn)`

`[kest, L, P] = kalman(sys, Qn, Rn, Nn, sensors, known)`

для дискретных моделей

`[kest, L, P, M, Z] = kalman(sys, Qn, Rn, Nn)`

для синтеза дискретного фильтра Калмана для непрерывных систем

`[kest, L, P, M, Z] = kalmz(sys, Qn, Rn, Nn)`

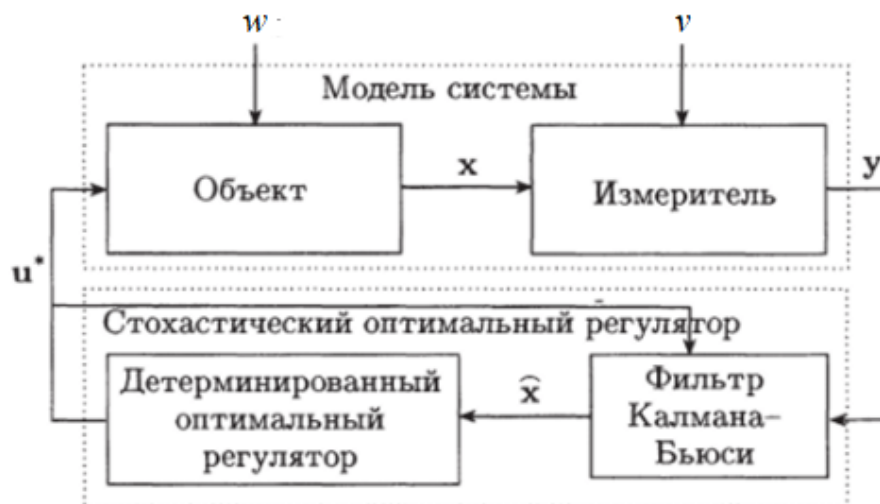


Рисунок 1 – Использование наблюдателя Калмана в структуре системы оптимального управления

Приведенные выше функции выполняют синтез фильтров Калмана для оценки переменных состояния объекта управления на основе данных о случайных внешних возмущениях и ошибках измерений.

Функция $[kest, L, P] = kalman(sys, Qn, Rn, Nn)$ возвращает модель фильтра Калмана $kest$ в пространстве состояний для модели объекта управления sys и ковариационной матрицы случайных возмущений и помех Qn, Rn, Nn . Система sys должна быть представлена моделью в пространстве состояний с матрицами $A, [B, G], C, [D, H]$.

Функция $Kalman$ позволяет выполнять расчеты фильтра Калмана-Бьюси как для непрерывных, так и для дискретных моделей объекта управления. При этом для непрерывных моделей рассчитывается непрерывный фильтр Калмана-Бьюси, а для дискретных – дискретный.

Для непрерывных моделей функция $Kalman$ также возвращает матрицу коэффициентов обратных связей L и ковариационную матрицу ошибок оценивания P . Матрица P является решением соответствующего уравнения Риккати.

Для дискретных моделей функция $[kest, L, P, M, Z] = kalman(sys, Qn, Rn, Nn)$ возвращает матрицу коэффициентов обратных связей L , обновлённую матрицу обратных связей M и ковариационные матрицы ошибок оценивания P и Z .

Функция $[kest, L, P] = kalman(sys, Qn, Rn, Nn, sensors, known)$ применяются для объектов управления общего вида, в которых не все выходы измеряются и не все входы известны. Векторы индексов $sensors$ и $known$ определяют, какие выходы системы измеряются и какие входы известны. Все другие входы подразумеваются случайными и неизвестными.

Пример синтеза САУ с оптимальным регулятором и фильтром

Калмана-Бьюси:

```
V=normrnd(0,1,1,N);% генерация случайного процесса с нормальным законом распределения, математическим ожиданием =0 и дисперсией = 1 (помеха по выходу)
```

```
W=normrnd(0,1,n,N); );% генерация случайного процесса с нормальным законом распределения, математическим ожиданием =0 и дисперсией = 1 (помеха по входу)
```

```
H=0; % Матрицы весовых коэф. при помехах
```

```
G=0.01*ones(n,1); % Матрицы весовых коэф. при помехах
```

```
%зададим расширенную модель объекта с учетом помех
```

```
S1=ss(A,[B G],C,[D H]);
```

```
Disp1=cov(W(1,:)); % Найдём ковариационные матрицы
```

```
Disp2=cov(V); % Матрицы весовых коэф. при помехах
```

```
%расчет Фильтр Калмана
```

```
[kest, L, P]=kalman(S1,Disp1,Disp2);
```

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие для вузов по спец. «Автоматика и упр. в техн. системах». М.: Высш. шк, 1989. – 263 с.

2. Picinbono B., Duvaut P. Optimal Linear Quadratic systems for detection and estimation / IEEE Trans. Infor. Theory. 1988. Vol. 34. P.304-311

3. Балакришнан А.В. Теория фильтрации Калмана. М.: Мир, 1988. – 168 с.

4. Дэвис М.Х.А. Линейное оценивание и стохастическое управление. М.: Наука, 1984. – 203 с.

УДК 69: 620.9.004.18

Р.Р. Мороз, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

МЕРОПРИЯТИЯ И МЕТОДЫ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Топливо-энергетический комплекс представляет собой единую систему добычи, производства топливо-энергетических ресурсов, их переработку, распределение и использование. На развитие этого комплекса расходуется третья часть всех капиталовложений, в ней сосредоточена значительная часть всех трудовых затрат. Современное строительство, насыщенное большим количеством строительных машин, сварочного оборудования, ручного инструмента по потреблению электроэнергии не уступает промышленному комплексу, поэтому экономия электроэнергии в строительстве является важной задачей.

Бережно расходовать сырье и материалы, сокращать расходы, устранять потери – значит экономить труд миллионов людей и капитальные вложения.

Мероприятия по снижению потерь энергии подразделяются на две группы: к первой группе относятся технические решения, предусматриваемые в проектах электроснабжения и электрооборудования, ко второй – мероприятия, осуществляемые в процессе эксплуатации. Из мероприятий первой группы можно отметить правильный выбор местоположения и принципиальной схемы сети, количества и расположения питающих и распределительных пунктов и щитков внутри зданий, количества отходящих питающих и групповых линий, мероприятия по резервированию и меры по обеспечению надежности, автоматизацию и некоторые другие.

Ко второй группе можно отнести мероприятия по повышению пропускной способности сети, прокладку дополнительных параллельных линий или замену существующих проводов и кабелей на проводники большего сечения, перевод сети на более высокое напряжение, в частности на 660 В; установку компенсирующих и симметрирующих устройств. Перечисленные мероприятия следует отнести к области реконструкции, поскольку они требуют определенных капиталовложений. Ко второй группе следует отнести также и мероприятия, не требующие серьезных капиталовложений, выравнивание нагрузок фаз, выбор оптимальных точек тока раздела, частичное изменение схемы и конфигурации сети (без прокладок новых линий), оперативное отключение части трансформаторов в периоды снижения нагрузок, поддержание оптимального уровня напряжения в сети путем регулирования на питающих центрах (под нагрузкой), правильная постановка учета энергии, расходуемой потребителями.

Важно отметить, что мероприятия, при которых обеспечивается минимум приведенных затрат, как правило, обеспечивают и наименьшие потери мощности и энергии во всех элементах сети. Остановимся на некоторых мероприятиях и оценим их с точки зрения сокращения потерь мощности в сети прежде всего внутренней сети здания. Очень важное значение имеет правильный выбор местоположения и их количество вводно-распределительного устройства (ВРУ) и числа отходящих линий.

В жилых домах ВРУ надо располагать в секции, ближайшей к питающей тяговой подстанции. Как показывают расчеты, указанные количества ВРУ и линий обеспечивают не только наименьшие приведенные затраты и капиталовложения, но и более удобные условия эксплу-

атации и минимальные потери энергии. Сложившаяся практика устройства на каждые две-три секции отдельного ВРУ приводит к перерасходам средств и уменьшению жилой площади, так как ВРУ размещаются на первых этажах жилых домов.

Существенное значение имеет также выбор экономичной схемы вертикальных участков (стояков); выбор расположения тяговых подстанций (ТП); тяговая подстанция должна быть расположена как можно ближе к месту, где находятся потребители максимальной мощности; повышение качества напряжения и снижение неравномерности нагрузок фаз.

Идя по любому пути энергосбережения, надо особое внимание уделять комплексному решению задач, а не ограничиваться пользой, полученной – и даже доказанной – в одном месте.

Экономия энергоресурсов – одна из ключевых проблем современной науки, она своевременна и актуальна.

УДК 681.5

В.П. Кобринец, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

О.Г. Барашко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

Д.С. Карпович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СУШКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

Промышленная переработка калийных руд выполняется преимущественно флотационным и галургическим способом.

Технология переработки сильвинитовой руды флотационным способом в условиях ОАО «Беларуськалий» включает следующие операции: измельчение, классификацию, обесшламливание, флотацию, обезвоживание продуктов обогащения, осветление оборотных потоков и сушку концентрата.

Галургический метод переработки калийных руд также содержит операцию сушки. Сушка является завершающей стадией на пути для получения товарного продукта. Высушивание проводится до остаточной влажности не более 1%, если продукт предназначен для отправки потребителю, и не более 0,5%, если он идет после сушки на грануляцию. В калийной промышленности в основном применяются барабанные сушилки (и сушилки с псевдооживленным кипящим слоем (аппараты КС)). Все эти аппараты имеют топки для сжигаемого топлива, а сушка проводится горячими продуктами сжигания. Процесс осуществляется при прямом контакте между теплоносителем и концентратом

КС1. При этом наиболее эффективным по производительности по энергосбережению является процесс сушки в аппаратах КС, особенности автоматизации которого представляют практический и научный интерес. В аппарате КС взаимодействие твердых частиц и газов происходит в псевдооживленном слое, создаваемым на газораспределительной решетке, при подаче на нее сверху влажного продукта, а снизу теплоносителя, который создает эффект псевдосжижения. Скорость газа в слое 1-2 м/с в зависимости от крупности частиц, продолжительность высушивания – несколько минут.

Основной задачей автоматического контроля и управления процессом сушки в аппарате КС является минимизация расхода топлива при получении продукта заданной конечной влажности. Основными возмущающими воздействиями являются изменение количества сырого материала или его начальной влажности, или того и другого вместе взятых. Основной выходной параметр – конечная влажность продукта.

Особенностью установок для сушки в аппарате КС является большая интенсивность процесса и большая скорость изменения параметров, которые характеризуют процесс сушки. Одной из основных задач регулирования промышленных установок КС является поддержание теплового баланса процесса путем стабилизации температуры слоя в аппарате. Этот параметр является наиболее важным показателем процесса сушки в КС, потому что однозначно определяет конечную влажность продукта.

Регулирование температуры слоя можно осуществить двумя разными способами. При первом способе стабилизируется температура и количество теплоносителя, которые определяют природную часть теплового баланса, а постоянство температуры слоя поддерживается путем регулирования количества влажности материала, подаваемого в слой. При таком способе регулирования температуры слоя между сушкой и предыдущим процессом целесообразно установить промежуточный бункер, который должен сглаживать возможные небольшие колебания нагрузки.

Второй способ регулирования температурного слоя можно использовать в том случае, если по технологическим условиям установка КС должна работать без промежуточного бункера. Стабилизация температурного слоя достигается в этом случае изменением температуры теплоносителя. Поскольку при постоянном расходе воздуха температура теплоносителя определяется только расходом топлива, то этот способ сводится к регулированию расхода топлива в зависимости от температуры слоя.

Выбор способа регулирования температуры зависит от конкретных условий сушки и работы предыдущих ей производственных отделений. Кроме управления температурой слоя, для нормальной работы аппарата КС необходимо также поддерживать на определенном заданном уровне сопротивление слоя, от которого зависит аэродинамический режим сушки. Сопротивление слоя может быть измерено по разности давлений среды до и после него. При этом стабилизация сопротивления слоя может быть достигнута путем изменения количества выгружаемого из слоя сухого материала при помощи изменения производительности разгрузочного устройства. Для нормальной работы аппарата КС также необходимо обеспечить определенную скорость газа в слое, т.е. подачу определенного количества воздуха в систему путем стабилизации величины разряжения в верхней части аппарата КС.

Проведенный анализ динамических свойств установки КС показал, что по каналам связи «загрузка – температура в слое», «влажность материала – температура в слое» установка КС может быть описана апериодическими звеньями 1-го порядка. Эти динамические характеристики могут быть использованы для синтеза системы управления процессом сушки, инвариантной к указанным возмущениям.

ЛИТЕРАТУРА

1 Кузьміцкі, І.Ф. Аўтаматызацыя хімічна-тэхналагічных працэсаў і вытворчасцяў. І.Ф. Кузьміцкі, В.П. Кобрынец. – Мн.: БДТУ, 2004. – 232 с.

2 Головков, Б.Ю. Системы и средства автоматизации обогатительных фабрик. Б.Ю. Головков, Л.А. Рейбман, Г.Т. Колмаков. – М.: Наука, 1990. – 232 с.

УДК 652.52

В.П. Кобрынец, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

Д.С. Карпович, канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

О.Г. Барашко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ В БАРАБАННЫХ СУШИЛКАХ В УСЛОВИЯХ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛІЙ»

Основной задачей системы управления процессом сушки материала в барабанной сушилке является поддержание желаемого качества высушенного продукта, независимо от возмущения в процессе сушки и колебания подачи питания.

Для решения данной задачи необходима разработка математической модели данного процесса сушки с учетом химико-техно-логических процессов, происходящих в нем и конструктивных особенностей барабанной сушилки.

Процессы тепло- и массообмена (влагообмена) в барабанной сушилке зависят от ее конструктивных характеристик (размеров, числа и профиля лопаток и т. д.), а также от технологических параметров (числа оборотов барабана, угла наклона аппарата, расхода, температуры и влагосодержания воздуха и материала на входе в сушилку).

При определении динамических свойств данного аппарата естественно считать его конструктивные характеристики неизменными. Таким образом, в качестве возмущающих воздействий (входных величин) принимаем изменения расхода, температуры и влагосодержания материала и воздуха на входе в сушилку.

При составлении математической модели барабанной сушилки сделаем следующие допущения: [1]

1. Теплоемкости материала, влаги (воды) и барабана и коэффициенты теплоотдачи от воздуха к материалу и барабану постоянны по длине и в поперечном сечении сушилки, а также во времени

2. Температура и влагосодержание материала распределены по длине аппарата и сосредоточены в его поперечном сечении (одномерная задача), так как при вращении барабана материал хорошо смешивается.

3. Поперечное сечение слоя материала, находящегося на лопастях барабана, значительно меньше его длины, а скорость воздуха намного больше скорости перемещения материала вдоль сушилки. Температура и влагосодержание воздуха одинаковы по длине и в поперечном сечении слоя материала и равны температуре и влагосодержанию на выходе

4. Передачей тепла материалу при соприкосновении его с лопастями барабана пренебрегаем

5. Температура барабана в статике равна температуре воздуха на выходе из сушилки

6. Передачей тепла от воздуха к материалу путем лучеиспускания пренебрегаем

7. Движение материала по сечению аппарата происходит равномерно, без турбулентного смещения

При составлении уравнений сохранения энергии для воздуха и материала учитываем лишь тепло, затраченное на нагрев «сухого» материала, поскольку тепло, переданное воздухом материалу и затраченное на испарение влаги из него, возвращается обратно в воздух вместе с испаренной влагой.

На основании анализа процесса сушки как объекта управления можно определить воздействия, оказывающие влияние на данный объект:

- возмущающие воздействия: входное влагосодержание материала; расход материала; входное влагосодержание воздуха;
- регулирующие воздействия: расход теплоносителя; расход первичного воздуха; расход вторичного воздуха;
- регулируемая величина: выходное влагосодержание материала.

Для разработки математической модели процесса сушки с учетом распределенности параметров с учетом приведенных допущений составляем следующие дифференциальные уравнения:

Уравнение сохранения энергии для воздуха

$$LI_1 - LI_2 - \alpha_{f,г.м.} F_M \left(t_{2г} - \frac{t_{1м} - t_{2м}}{2} \right) - \alpha_{f,г.б.} F_б (t_{2г} - t_б) = M_г \frac{dI_2}{d\tau} \quad (1)$$

Уравнение сохранения массы для влаги в воздухе

$$L(d_1 - d_2) + G(w_1 - w_2) = M_г \frac{dd_2}{d\tau} \quad (2)$$

Уравнение сохранения энергии для материала

$$c_m G \frac{\partial t_m}{\partial \bar{y}} + c_m t_m \frac{\partial G}{\partial \bar{y}} - \alpha_{f,г.м.} F_M (t_{2г} - t_m) + \frac{\partial}{\partial \tau} (c_m M_m t_m) = 0 \quad (3)$$

Уравнение сохранения массы для сухого материала

$$\frac{\partial G}{\partial \bar{y}} + \frac{\partial M_m}{\partial \tau} = 0 \quad (4)$$

Уравнение сохранения массы для влаги в материале

$$G \frac{\partial w}{\partial \bar{y}} + w \frac{\partial G}{\partial \bar{y}} + K F_M (w - w_{равн.}) + \frac{\partial}{\partial \tau} (M_m w) = 0 \quad (5)$$

Уравнение сохранения энергии для сушильного барабана

$$\alpha_{f,г.б.} F_б (t_{2г} - t_б) = c_б M_б \frac{dt_б}{d\tau} \quad (6)$$

где L – расход теплоносителя (по абсолютно сухому веществу), I – энтальпия, α_f – поверхностный коэффициент теплообмена, F – площадь, t – температура, M – количество вещества, d – влагосодержание теплоносителя, G – расход материала (по абсолютно сухому веществу), c – истинная теплоемкость, K – коэффициент сушки.

На основании данных уравнений, которых получена система нелинейных уравнений в частных производных. Проведена линеаризация данной системы и получена математическая модель процесса сушки по основным динамическим каналам.

$$\begin{aligned}
& a_1 \frac{d\Delta t_{2\Gamma}}{d\tau} + a_2 \Delta t_{2\Gamma} + a_3 \frac{d\mu_{2d}}{d\tau} + a_4 \mu_{2d} = \\
& = a_5 \Delta t_{1\Gamma} + a_6 \Delta t_{1\Gamma} + a_6 \mu_L + a_7 \Delta t_{1M} + a_7 \Delta t_{2M} + \\
& \quad + a_8 \Delta t_6 + a_9 \mu_{1d} + a_{10} \mu_{F,M}
\end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
& a_{11} \frac{d\mu_{2d}}{d\tau} + a_{12} \mu_{2d} = \\
& = a_{13} \mu_{1d} + a_{14} \mu_{1w} + a_{15} \mu_L - a_{14} \mu_{2w} + a_{16} \mu_G
\end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
& a_{17} \frac{\partial \Delta t_M}{\partial \bar{y}} + a_{18} \frac{\partial \Delta t_M}{\partial \tau} + a_{19} \Delta t_M = \\
& = a_{19} \Delta t_{2\Gamma} + a_{20} \mu_{F,M} + a_{21} \frac{\partial \mu_{M,M}}{\partial \tau} + a_{22} \frac{\partial \mu_G}{\partial \bar{y}}
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\frac{\partial \mu_G}{\partial \bar{y}} + a_{23} \frac{\partial \mu_G}{\partial \tau} = 0 \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
& a_{24} \frac{\partial \mu_w}{\partial \tau} + a_{25} \frac{\partial \mu_w}{\partial \bar{y}} + a_{26} \mu_w + [a_{27} \exp(-a_0 \bar{y}) + a_{28}] \mu_{2d} + \\
& + [a_{29} \exp(-a_0 \bar{y}) + a_{30}] \Delta t_{2\Gamma} + [a_{31} \exp(-a_0 \bar{y}) + a_{32}] \frac{\partial \mu_G}{\partial \tau} + \\
& + a_{33} \exp(-a_0 \bar{y}) \mu_L + [a_{34} \exp(-a_0 \bar{y}) + a_{35}] \frac{\partial \mu_G}{\partial \bar{y}} + [a_{36} \exp(-a_0 \bar{y}) \\
& \quad + a_{39}] \mu_G = 0 \tag{11}
\end{aligned}$$

$$a_{38} \frac{d\Delta t_6}{d\tau} + a_{39} \Delta t_6 = a_{39} \Delta t_{2\Gamma} \tag{12}$$

Однозначность решения системы уравнений (7-12) зададим крайними условиями

$$\text{При } y = 0 \quad \mu_w = \mu_{1w} \quad \Delta t_M = \Delta t_{1M} \mu_G = \mu_{1G}$$

$$\text{При } \tau = 0 \quad \Delta t_{2\Gamma} = \mu_{2d} = \Delta t_M = \mu_G = \mu_w = \Delta t_6 = 0$$

Применяя к уравнениям (7-12) преобразование Лапласа $\varphi(p) = L|F(\tau)|$ и $\varphi(s) = L|F(\bar{y})|$ и одно обратное преобразование $F(y) = L^{-1}|\varphi(s)|$ можно получить передаточные функции по каналам, приведенным на структурной схеме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баумштейн И.П. Автоматизация процессов сушки в химической промышленности / И.П. Баумштейн, Ю.Н. Майзель – М.: Химия, 1970 – 232 с.

2. Кузьміцкі І.Ф. Мадэляванне аб'ектаў і сістэм аўтаматызацыі. І.Ф. Кузьміцкі, В.П. Кобрынец, Д.С. Карповіч, –Мн.:БДТУ, 2011, –251с.

И.С. Шетько, магистрант (БГТУ, г. Минск)
И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
А.М. Алексеюк, магистрант (БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ПРОТОКОЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ: МНОГОСЛОЙНАЯ АДАПТАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ

Современные сети передачи данных становятся всё более сложными и динамичными, требуя от протоколов гибкости и способности адаптироваться к изменяющимся условиям. Рост объёмов информации, обмен которой происходит между устройствами и системами, а также разнообразие типов данных создают дополнительные вызовы для обеспечения надёжности, скорости и эффективности передачи. Применение статических параметров передачи, таких как фиксированный размер пакетов или частота отправки, не всегда может обеспечить оптимальное использование сетевых ресурсов и соблюдение требований к качеству обслуживания (“QoS”) [1].

В условиях высокой нагрузки или нестабильной пропускной способности сети требуется подход, который позволяет изменять параметры передачи в реальном времени. Один из ключевых аспектов – это адаптация размера пакетов и частоты передачи в зависимости от состояния сети, что позволяет минимизировать потери данных, избегать перегрузок и поддерживать стабильное соединение. Также важным элементом является режим приоритизации, который обеспечивает оптимальное распределение ресурсов между критически важными и вспомогательными сообщениями, что особенно актуально для промышленных приложений и систем реального времени.

В статье рассматриваются основные принципы и алгоритмы, которые позволяют реализовать данный функционал, а также преимущества в контексте передачи данных для измерительных систем в “BLE”-сети.

Одним из ключевых элементов адаптивного протокола является возможность динамического изменения размера пакетов и частоты передачи данных в зависимости от состояния сети. Эта функция позволяет минимизировать задержки, снизить вероятность потерь данных и повысить общую эффективность передачи, адаптируя протокол под текущие условия сети и требования конкретного устройства или приложения.

Для передачи данных выбор оптимального размера пакетов играет ключевую роль, так как размер пакета влияет на:

- скорость передачи: большие пакеты могут содержать больше данных, что уменьшает количество пакетов и повышает общую пропускную способность;

- надежность передачи: при ухудшении качества сигнала, например, в условиях высокого уровня помех, большие пакеты более подвержены потере или искажению данных. В таких случаях более мелкие пакеты будут предпочтительнее, так как при ошибке потребуется повторно отправлять меньший объём информации;

- энергоэффективность: оптимизация размера пакетов позволяет снизить количество операций передачи и подтверждения пакетов, что положительно сказывается на энергопотреблении.

Для адаптивного изменения размера пакетов и частоты передачи данных можно использовать алгоритм, который будет принимать решения на основе оценки текущего качества канала и интенсивности трафика. Например, алгоритм может использовать метрики, такие как:

- “RSSI” (“Received Signal Strength Indicator”): индикатор силы сигнала, позволяющий оценить текущее качество связи [2];

- Потери пакетов: процент потерянных пакетов позволяет определить, стабильна ли связь, и корректировать размер пакетов, уменьшая его при ухудшении соединения;

- Задержка и время подтверждения: если время подтверждения пакетов (“ACK”) увеличивается, это может указывать на ухудшение сети, что потребует уменьшения размера пакетов.

Алгоритм может работать следующим образом:

- Инициализация параметров: в начале соединения протокол устанавливает средний размер пакета и начальную частоту передачи, исходя из предполагаемой нагрузки и начального качества соединения;

- Мониторинг состояния сети: на протяжении соединения протокол отслеживает “RSSI”, уровень потерь и задержку пакетов;

- Изменение размера пакетов и частоты передачи данных: если показатели сети ухудшаются, размер пакета и частота уменьшаются для увеличения вероятности успешной передачи; при улучшении условий связи размер пакета и частоту можно увеличить для повышения эффективности передачи;

- Динамическая адаптация: если приложение требует повышенной частоты обновлений (например, при возникновении важных событий), протокол временно увеличивает частоту передачи. Когда такая потребность отпадает, частота возвращается к стандартному уровню.

Для обеспечения надёжной и быстрой передачи информации в измерительных системах, особенно в условиях ограниченных ресурсов,

необходимо предусмотреть механизм приоритизации данных. Это позволит ускорить передачу критически важных сообщений, минимизировать задержки для основных данных и оптимизировать использование сетевых ресурсов.

Приоритизация данных позволяет распределять доступные ресурсы передачи таким образом, чтобы критически важные данные обрабатывались и отправлялись в первую очередь, тогда как вспомогательные сообщения или данные с низким приоритетом передаются по мере освобождения канала. Основные преимущества такого подхода:

- Минимизация задержек для критичных данных: высокая приоритетность важных сообщений позволяет уменьшить время их доставки;

- Эффективное использование сетевого канала: распределение ресурсов в зависимости от важности данных позволяет снизить вероятность перегрузки канала низкоприоритетными сообщениями;

- Обеспечение устойчивости и надежности: при возникновении проблем в сети (помехи, высокая загруженность) протокол приоритизирует важные данные, что повышает надежность передачи.

Для реализации эффективной приоритизации все передаваемые данные можно разделить на несколько классов по уровню важности:

1. Высокоприоритетные сообщения: критически важные данные, такие как данные о состоянии устройства, аварийные сигналы, или обновления параметров, которые должны быть переданы с минимальными задержками;

2. Среднеприоритетные данные: данные, которые важны для работы системы, но допускают небольшие задержки. К этому классу могут относиться обновления состояния параметров, данные мониторинга в режиме реального времени и периодические отчеты;

3. Низкоприоритетные данные: вспомогательные данные, которые не критичны для работы системы и могут передаваться с существенными задержками. Это могут быть, например, служебные данные, диагностические отчеты, статистика и отладочная информация.

Для реализации системы приоритизации в адаптивном протоколе предлагается следующая структура передачи данных:

1. Буферизация сообщений по приоритетам: протокол должен иметь буфер, в котором данные сортируются в зависимости от их приоритетного уровня. Высокоприоритетные сообщения находятся в начале очереди и передаются в первую очередь;

2. Динамическое управление очередью передачи: при формировании очереди передачи система проверяет наличие сообщений более

высокого приоритета и отдает им предпочтение. Сообщения с низким приоритетом передаются только при отсутствии более важных данных;

3. Адаптивное распределение ресурсов: в зависимости от состояния сети, протокол может динамически изменять количество передаваемых данных каждого приоритетного уровня. Например, при высокой загрузке сети может быть временно приостановлена передача низкоприоритетных данных;

4. Механизм прерывания передачи: если в процессе передачи низкоприоритетного сообщения поступает важное сообщение, протокол прерывает передачу текущего пакета и переключается на высокоприоритетное сообщение.

Предложенные методы и механизмы позволяют не только эффективно распределять сетевые ресурсы, но и адаптироваться к динамическим условиям, минимизируя потери данных и задержки. Это особенно важно в современных сетях, обслуживающих промышленные системы, «Интернет вещей» и телекоммуникации, где гибкость и надежность становятся ключевыми факторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марат, Сети для самых матерых. Часть пятнадцатая. QoS (2018) <https://habr.com/ru/articles/420525/>
2. Mohammad Afaneh, Intro to Bluetooth Low Energy: The easiest way to learn BLE (2018), <https://novelbits.io/intro-bluetooth-low-energy-version-2/>

УДК 004.6

А.А. Королёв, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)
Т.П. Фокин, преп.-стажёр (БГТУ, г. Минск)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОНЯТИЙ BIG DATA И SMART DATA

В промышленной и информационной индустрии данные играют центральную роль. С развитием более быстрых сетей, более широкого пространства для хранения и новых сенсорных технологий компании получают доступ к все большим объемам информации. Иногда даже слишком большим.

Увеличение такого масштаба может оказаться слишком большой проблемой для управления. Отсюда растущая потребность в фильтрации этого огромного объема доступной информации для получения ценных, умных и полезных данных. Это главное различие между Big Data (большими данными) и Smart Data (умными данными).

Термин Big Data описывает огромные объемы данных, как структурированных, так и неструктурированных, собираемых каждый день предприятиями. Большие данные могут поступать из любого количества источников – от социальных сетей и поиска Google до данных, собранных датчиками с промышленного оборудования.

Большие данные отличаются от других наборов данных тем, что из-за их размера их сложно обрабатывать с использованием традиционных методов обработки данных. Большие данные определяются, используя следующие четыре измерения – 4V больших данных:

- **Объем:** объем (структурированных и неструктурированных) данных, сгенерированных и сохраненных;
- **Разнообразие:** различные типы доступных данных, такие как текст, изображения, видео и т. д.;
- **Достоверность:** достоверность и качество данных, включая точность, согласованность и полноту;
- **Скорость:** скорость, с которой компания генерирует и обрабатывает данные.

С другой стороны, Smart Data – это «данные, которые передают и предоставляют достоверную, четко определенную и значимую информацию». Таким образом, они представляют собой большие данные (Big Data), которые были отфильтрованы, обработаны и подготовлены для производственного контекста, чтобы после анализа привести к более эффективному процессу принятия решений. Расширенные алгоритмы аналитики и машинного обучения позволяют извлекать интеллектуальные данные из структурированных и неструктурированных текстов, документов, вложений, электронных писем и т. д., чтобы убедиться в их осмысленности и возможности получения ценных сведений.

Если рассматривать Smart Data с точки зрения измерений, как и Big Data, то к уже существующим 4V добавляется ещё одно измерение – ценность (Value), так как они более надежны, актуальны, полны, консолидированы и очищены.

Основные различия между Big Data и Smart Data:

1. Умные данные более целенаправленны. Большие данные не всегда нацелены на удовлетворение конкретных потребностей компании. В противном случае, умные данные более точны, позволяя компаниям использовать собранную информацию полезным и функциональным способом.

2. Smart Data качественнее. Умные данные – это данные, которые уже были отфильтрованы и проверены, что делает их превосходными по качеству, поскольку они безошибочны и более точны.

3. Smart Data обеспечивает более высокий уровень настройки. В

отличие от Big Data, Smart Data более контекстуализированы и откалиброваны под конкретные потребности.

4. Умные данные более полезны для машинного обучения, так как если машины получают отфильтрованную информацию, они могут выявлять закономерности и выполнять конкретные задачи самостоятельно более эффективно и результативно.

Таким образом, переход с Big Data на Smart Data для предприятий и компаний необходим в случае, если задачей является не просто накопление и медленная обработка огромных неконтекстуализированных данных, а также выявление закономерностей, тенденций и аномалий, так как умные данные меньше по объёму и при этом являются отфильтрованными, очищенными и более структурированными.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://netconomy.net/blog/big-data-smart-data/>– «Big Data vs. Smart Data»;

[2]. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.esa-automation.com/en/difference-between-big-data-and-smart-data/>– «Difference Between Big Data and Smart Data».

УДК 655.52-529

В.П. Кобринец, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

Д.С. Карпович, канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ В КОЛОННЕ К-102

Для повышения эффективности основная задача управления процессом в колонне К-102 связана с увеличением выхода светлых нефтепродуктов. Это также вызвано повышенными требованиями к стабилизации качества получаемых в колонне фракций, изменениями количества, качества и температуры сырья, подаваемого в колонну, а также необходимостью оперативного решения задач по управлению колонной при изменении плановых заданий на номенклатуру получаемых в колонне К-102 топлив и величин отбора фракций.

Для решения указанных задач, а также в соответствии с технологической целью процесса в колонне К-102 разработан алгоритм оптимизации статических режимов и программа решения задачи оптимизации на ЭВМ.

Математическая постановка задачи оптимизации формулируется следующим образом:

$$\begin{aligned}
X(F, f) &= X_{\text{зад}} \\
W_i &= W_{i,\text{зад}} \quad (i = 1, 2, 3) \\
T_i &\leq T_i(X, U) \leq T_i \quad (i = 1, 2, 3) \\
U_i &\leq U_j \leq U_j \quad (j = 1, 2, \dots, 10)
\end{aligned} \tag{1}$$

где W_1, W_2, W_3 – расходы фракций соответственно $140^\circ\text{--}180^\circ, 180^\circ\text{--}230^\circ\text{C}, 230^\circ\text{--}360^\circ\text{C}$; T_1, T_2, T_3 – температуры выкипания 98% соответственно фракций $140^\circ\text{--}180^\circ, 180^\circ\text{--}230^\circ\text{C}$ и 50% фракции $230\text{--}360^\circ\text{C}$;

$U_j (F_n, F_o, S_1, S_2, S_3, t_1, t_2, t_3, t_n)$ – вектор управляющих параметров, где F – расход пара; F_o – расход острого орошения; S_1 – расход верхнего циркуляционного орошения; S_2 – расход 1-го ЦО; S_3 – расход 2-го ЦО; P – давление в колонне; t_1 – температура верха колонны; t_2 – температура 1-го ЦО в колонну; t_3 – температура 2-го ЦО в колонну; t_n – температура низа колонны.

$X(F, t_f)$ – вектор входных параметров (F – расход отбензиненной нефти, t_f – температура нефти).

В данном варианте задача оптимизации статических режимов работы колонны К-102 сводится при заданном значении вектора $X(F, f)$ к определению заданных значений расходов всех фракций W_1, W_2, W_3 при выполнении заданных ограничений на качественные показатели: температуры выкипания 98% фракций $T_1 = 140\text{--}180^\circ\text{C}$, и $T_2 = 180\text{--}230^\circ\text{C}$, и 50%(96%) фракции при $230\text{--}300^\circ\text{C}$. Кроме того, накладываются позиционные ограничения на все управляющие воздействия $U_j (j = 1, 2, \dots, 10)$. Решение задачи оптимизации в данном случае получается в виде зависимости:

$$U_{\text{opt}} = \bar{U}(X, W_1, W_2, W_3) \tag{2}$$

С учетом многофакторности и многосвязности технологических параметров процесса ректификации нефти в колонне К-102 для управления им в данных условиях целесообразно применить статистическую математическую модель [2]. Для получения данной модели использованы данные о технологических параметрах процесса, взятые из режимных листов нормальной эксплуатации колонны в количестве 124 опробований с интервалом 2 ч. в условиях ЛК-6У № 2 Мозырского НПЗ. При этом интервал времени между измерениями входных (в том числе и управляющих) и выходных параметров принят с учетом времени запаздывания.

Корреляционный анализ показал, что параметры процесса многокомпонентной ректификации находятся в сложной нелинейной зависимости друг от друга, то целесообразно принять нелинейную форму ре-

грессионной зависимости между данными параметрами. Ввиду значительного количества входных (X_i) и управляющих параметров (U_j) целесообразно применить параболическую зависимость 2-го порядка [2].

В данном варианте алгоритма оптимизации (3) расходы фракции W_1, W_2, W_3 являются управляющими параметрами. Поэтому для всех выходных параметров T_1, T_2, T_3 нелинейные уравнения регрессии в общем виде имеют следующее выражение

$$\begin{aligned}
 Y_i = & b_{i0} + b_{i1}F + b_{i2}F_0 + b_{i3}S_1 + b_{i4}S_2 + b_{i5}S_3 + b_{i6}F_p + b_{i7}P + b_{i8}t_1 + \\
 & + b_{i9}t_2 + b_{i10}t_3 + b_{i11}t_n + b_{i12}t_f + b_{i13}W_1 + b_{i14}W_2 + b_{i15}W_3 + b_{i16}F^2 + \\
 & + b_{i17}F_0^2 + b_{i18}S_1^2 + b_{i19}S_2^2 + b_{i20}S_3^2 + b_{i21}F_p^2 + b_{i22}P^2 + b_{i23}t_1^2 + b_{i24}t_2^2 + \\
 & + b_{i25}t_3^2 + b_{i26}t_n^2 + b_{i27}t_f^2 + b_{i28}W_1^2 + b_{i29}W_2^2 + b_{i30}W_3^2
 \end{aligned} \quad (3)$$

С учетом принятой формы уравнений регрессии (2) с использованием статистических данных о технологических параметрах процесса для всех выходных параметров процесса (T_1, T_2, T_3) рассчитаны коэффициенты уравнений регрессии и оценена их адекватность.

При проведении расчетных исследований по данному варианту алгоритма оптимизации в качестве интервала ограничений по каждому выходному параметру ($T_1, T_2, T_3, W_1, W_2, W_3$) и некоторым управляющим воздействиям (F_n, t_1, t_2, t_3, t_n), как наиболее реальные для данного диапазона изменения расхода отбензиненной нефти, можно принять ограничения по i -тому параметру в диапазоне

$$M(x_i) - \sigma_{xi} \leq x_i \leq M(x_i) + \sigma_x, \quad (4)$$

где $M(x_i)$ – среднее значение параметра x_i , σ_x – среднее квадратическое отклонение x_i .

Величины $M(x_i)$ и σ_x для всех параметров процесса приведены в таблице 1. При определении интервала ограничений на такие управляющие воздействия как расходы всех орошений (F_0, S_1, S_2, S_3), которые существенно влияют на результате расчетов, целесообразно принять следующее соотношение:

$$\hat{S}_i - \sigma_{Si} \leq S_i \leq \hat{S}_i + \sigma_{Si} \quad (i = 0, 1, 2, 3) \quad (5)$$

где \hat{S}_i – рассчитанное по уравнению регрессии вида

$$S_i = a_{i0} + a_{i1}F \quad (6)$$

значение соответствующего расхода i -го орошения при заданном расходе отбензиненной нефти F .

Таблица 1 – Коэффициенты a_{i0}, a_{i1} , рассчитанные для всех S_i

Обозначение коэффициента	F_0	S_1	S_2	S_3	F_p
a_{i0}	127.799654	-337.913723	229.739692	340.69676	-0.401577
a_{i1}	-0.070847	0.589658	0.144351	0.050514	0.010296

Решение задачи оптимизации по данному алгоритму при выбранных по вышеприведенной методике интервалов ограничений для всех параметров было приведено для некоторых режимов работы колонны.

Программа, составленная по данному оптимальному алгоритму (1) с применением метода нелинейного программирования [2] на языке C++ представляет собой средство для проведения расчетов оптимальных режимов работы колонны для всех рассмотренных режимов работы по видам сырья и номенклатуре получаемой продукции в указанных интервалах расхода и температуры отбензиненной нефти. Разработано редактируемое окно данной программы, в которое можно вносить значения необходимых технологических параметров процесса и получать результаты вычислений оптимальных режимов его работы (советов оператору). Результатом работы программы является расчет и отображение численных значений в соответствующем поле оптимальных значений всех управляющих параметров и соответствующих им величин расходов фракций и их качественных показателей. Эти данные являются рекомендацией оператору для управления процессом в колонне при соответствующем варианте работы при заданной нагрузке по сырью.

Рассчитанные по данной программе усредненные данные по выходным параметрам ($W_1, W_2, W_3, T_1, T_2, T_3$) для некоторых фактических и расчетных оптимальных режимов приведены в таблице 2.

Таблица 2

W_1		W_2		W_3	
Расч.	Факт.	Расч.	Факт.	Расч.	Факт.
30.935	30.935	155.6	155.6	205.9	205.9
T_1		T_2		T_3	
Расч.	Факт.	Расч.	Факт.	Расч.	Факт.
173.2095	172.4	241.3333	239.4	361.9744	363.8

Из данных таблицы 2 видно, что при заданных значениях W_1, W_2, W_3 расчетные показатели T_1, T_2, T_3 близки к соответствующим фактическим и соответствуют технологической норме.

При этом расчетный режим (советы оператора) позволяют для некоторых режимов существенно уменьшить расходы ЦО, что способствует улучшению динамических свойств процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химии и химической технологии.– М.; Химия, 1980 г.
2. Кузьміцкі І.Ф. Мадэляванне аб'ектаў і сістэм аўтаматызацыі. І.Ф. Кузьміцкі, В.П. Кобрынец, Д.С. Карповіч, – Мн.:БДТУ, 2011, –251с.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

Хлорное производство – это сложный технологический процесс, включающий несколько этапов, каждый из которых играет важную роль в получении конечного продукта.

Первый этап – приготовление и очистка рассола. На этом этапе происходит подготовка раствора, который будет использован в электролизе для получения хлора, гидроксида натрия и водорода.

Следующий этап – электролиз. Это ключевая стадия процесса, на которой происходит разложение хлорида натрия под воздействием электрического тока на его составные элементы – хлор, гидроксид натрия и водород.

После этого идет сушка и очистка водорода и хлоргаза. Этот этап важен для получения чистых и безопасных газов, готовых к использованию в различных отраслях промышленности.

Производства-потребители можно разделить на две основные группы: потребители хлора и хлорида водорода. Потребители хлора могут использовать его в различных процессах, таких как сжижение хлора, синтез хлорида водорода, производство хлорпродуктов и других органических соединений.

Центром хлорного технологического комплекса является стадия электролиза, на которой происходит разложение хлорида натрия под воздействием электрического тока на его составные элементы – хлор, гидроксид натрия и водород.

Технологическая схема процесса включает в себя систему автоматического регулирования, что позволяет оптимизировать процесс и обеспечить высокое качество конечного продукта.

После печи синтеза газообразный хлорид водорода поступает в нижнюю часть колонны абсорбции; в верхнюю ее часть в качестве орошения подают воду насосом. Полученная соляная кислота с низа колонны абсорбции, охлажденная водой в холодильнике, поступает далее в сборник 6. Газы с верха абсорбера направляют в хвостовую колонну, где они орошаются водой для связывания оставшегося хлорида водорода.

Статические характеристики печи синтеза дают зависимость изменения параметров хлористоводородного газа от изменения параметров входных потоков.

Наиболее вероятными возмущающими воздействиями являются колебания расхода и концентрации хлора в исходном хлоргазе. Зависимость концентрации HCl от соотношения расходов водорода и хлора носит экстремальный характер.

Процесс синтеза ведут с избытком водорода («водородный режим»), чтобы избежать проскока хлора с хлоридом водорода; концентрация водорода колеблется от 2 до 10%.

Таким образом, основная задача автоматического регулирования работы печей синтеза – поддержание такого соотношения расходов хлора и водорода на входе в печь, которое необходимо для получения хлорида водорода заданной концентрации. Расход хлора стабилизируют с помощью регулятора. Соотношение расходов хлора и водорода поддерживают регулятором соотношения, на который также поступает сигнал от анализатора, определяющего содержание водорода или хлорида водорода в газе на выходе печи синтеза. Этот сигнал является корректирующим, автоматически изменяющим заданное соотношение расходов хлора и водорода.

Любая система управления имеет свои недостатки, поэтому требуется провести критический анализ системы автоматического управления для процесса производства соляной кислоты.

Одноконтурная замкнутая автоматическая система регулирования для стабилизации температуры в колонне абсорбции характеризуется существенными колебаниями температуры на входе в печи синтеза. Таким образом можно говорить о существенном уменьшении проскока соляной кислоты и увеличении выхода за счет уменьшения потерь вещества.

Таким образом предлагается внедрить в уже существующую систему поддержания температуры в колонне абсорбции за счет подачи воды на орошение дополнительное компенсирующее воздействие по температуре газа на входе из печи синтеза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шувалов В. В., Огаджанов Г. А., Голубятников В. А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, учебник для средних специальных учебных заведений, [Текст] Москва : Химия, 1991.– 478 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ФОСФАТА АММОНИЯ

Производство сложных гранулированных удобрений, содержащих фосфаты аммония (аммофоса, диаммофоса, нитроаммофоса, диаммонифоски и др.), может быть представлено в общем виде тремя основными стадиями: приготовление пульпы, сушка в распылительных сушилках с абсорбцией отходящих газов, грануляция и сушка в барабанных сушилках с абсорбцией отходящих газов, классификацией и кондиционированием.

В производстве аммофоса (смесь 95 – 80% моно- и 5 – 20% диаммонийфосфата) пульпу получают нейтрализацией экстракционной фосфорной кислоты газообразным аммиаком до моно- или диаммонийфосфата. Для уравнивания удобрений недостающий азот вводят путем добавления аммиачной селитры, карбамида или сульфата аммония. Основными реакциями процесса нейтрализации являются следующие:

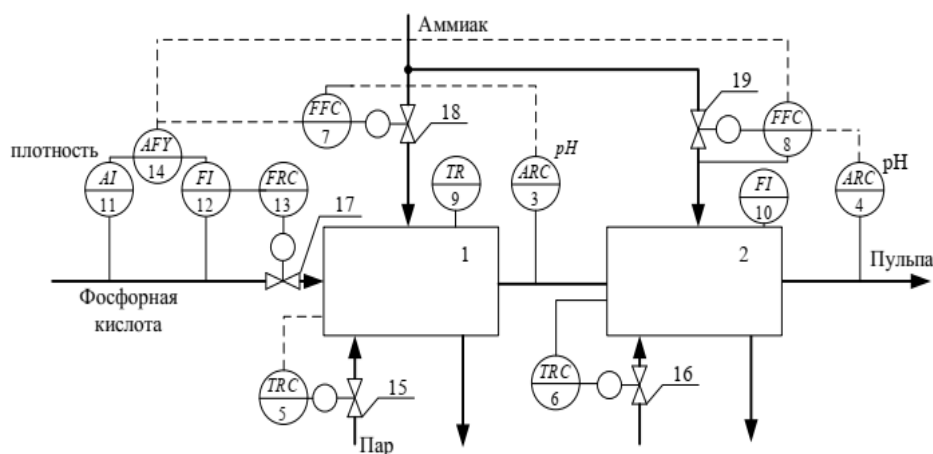
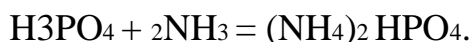
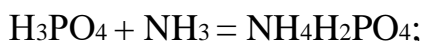


Рисунок 1 – Схема автоматизации процесса

Автоматизация получения пульпы аммофоса. Нейтрализацию фосфорной кислоты аммиаком проводят в двух последовательно включенных реакторах 1 и 2 до $\text{pH}_1 = 2,5$ и $\text{pH}_2 = 4,5$ при температуре $100 - 105^\circ\text{C}$. Температуру в реакторах стабилизируют с помощью подаваем-

мого пара исходя из показаний датчиков температуры внутри реакторов. Расход фосфорной кислоты, подаваемой в реактор 1, измеряют датчиком расхода и стабилизируют регулирующим клапаном.

Концентрацию фосфорной полученной пульпы фосфорной кислоты на выходе из реактора 1 определяем с помощью датчика плотности и стабилизируем за счет регулирования подачи аммиака в аппарат. Аналогично происходит в реакторе 2.

Дополнительно измеряется давление в реакторах 1 и 2.

Выполнение основной задачи автоматизации – поддержание плотности пульпы на выходе из реактора 2 в требуемых пределах. Чего можно достичь путем ее контроля и регулирования. Для этой цели мы установим датчик плотности и соответствующий регулирующий клапан. Принимая во внимание рассмотренные методы управления и регулирования заключаем о необходимости синтеза на базе существующей инвариантной системы регулирования с возмущением. Выходом проектируемой системы является плотность пульпы на выходе из реактора 2. Возмущающим воздействием будет являться – температура пульпы на входе в реактор 2.

Технической задачей модернизации является повышение качества выходного материала и снижение энергопотребления системы, за счет стабилизации и автоматического поддержания необходимой плотности пульпы на выходе реактора 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шувалов В. В., Огаджанов Г. А., Голубятников В. А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, учебник для средних специальных учебных заведений, [Текст] Москва : Химия, 1991.– 478 с.

УДК 681.7.014.3: 004.932.2

С. С. Карпович, канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск)

С. И. Карпович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

О.А. Джумаев, проф., д-р техн. наук
(НавГГТУ, г. Навои, Республика Узбекистан)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Задача распознавания графической информации в настоящее время используется в самых различных областях, начиная со сканирования и последующего сохранения в электронных библиотеках различ-

ных книг и рукописей и заканчивая вопросами безопасности и идентификации правонарушителей. В деревообрабатывающей промышленности с помощью таких систем возможно отслеживание различных пород древесины с последующим устранением выявленных недостатков в материале.

При этом, несмотря на различные сферы применения систем распознавания, существуют одни и те же задачи при работе с изображениями [1]:

- восприятие поля зрения;
- сегментация;
- нормализация выделенных объектов;
- распознавание.

При этом для решения в целом задачи по распознаванию информации можно использовать следующие основные принципы:

Принцип целостности – распознаваемый объект рассматривается как единое целое, состоящее из структурных частей, связанных между собой пространственными отношениями.

Принцип двунаправленности – создание модели ведется от изображения к модели и от модели к изображению.

Принцип предвидения. Заключается в формировании гипотезы о содержании изображения.

Принцип целенаправленности, включающий сегментацию изображения и совместную интерпретацию его частей.

Принцип максимального использования модели проблемной среды, использование заранее известных, априорных параметров.

Наиболее простым методом решения задачи распознавания информации является идея сравнения изображения с эталонами по ряду каких-либо признаков. Несмотря на кажущуюся простоту и легкость реализации, использование данного метода затруднено рядом проблем и сложностей:

Фон. Как правило, изображения предъявляются на сложном динамическом фоне;

Ориентация. Изображения эталона и входные изображения отличаются положением в поле зрения;

Помехи. Входные изображения не совпадают с эталонами за счет случайных и локальных помех;

Освещение. Отличия входных и эталонных изображений возникает за счет изменения освещенности, подсветки;

Преобразования. Эталоны и изображения могут отличать сложные геометрические преобразования.

Вышеуказанные особенности не позволяют использовать достаточно простой алгоритм сравнения с эталоном, поэтому на практике в настоящее время более предпочтительными являются более сложные алгоритмы распознавания графической информации.

Графически задачу распознавания образов можно представить в виде следующей схемы.

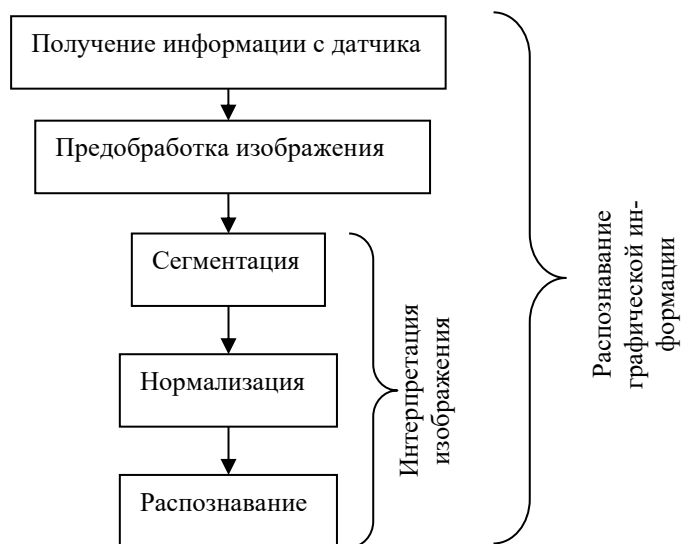


Рисунок – Основные этапы при распознавании графической информации

Этап интерпретации изображения не обозначен четкими границами и включается частично в процесс сегментации и окончательно завершается на этапе распознавания.

Для решения задачи в целом и на отдельных ее этапах применяются различные методы сегментации, нормализации и распознавания.

1. Предобработка

Процедура предварительной обработки используется практически всегда после получения информации с датчика, и представляет собой применение операций усреднения и выравнивания гистограмм, различного типа фильтров для исключения помех, возникающих в результате аппаратной дискретизации и квантования, а также подавления внешних шумов [2], [3].

2. Сегментация

Под сегментацией будем понимать процесс поиска однородных областей на изображении. Наиболее часто применяются методы, основанные на определении однородных цветов или текстур, однако для произвольной задачи этот этап не имеет четкого алгоритма [4].

При существовании стабильных различий в яркостях отдельных областей поля зрения применяются пороговые методы. Приведем пример: для сегментации методом порогового распределения необходимо получить бинарное изображение из полутонного. Для этого устанавливается некоторое пороговое значение. После квантования функция

изображения отображает элементы изображения с уровнем яркости больше порогового в значение 1, меньшее порогового – 0. При наличии устойчивой связности внутри отдельных сегментов эффективны методы наращивания областей. Этот принцип состоит в том, что происходит группировка соседних элементов с одинаковыми или близкими уровнями яркости, а затем объединение их в однородные области. Один из типов – центроидное связывание – предполагает выбор стартовых точек либо с помощью оператора, либо автоматически. Эффективным представляется метод водоразделов, основанный на поиске локальных минимумов с последующей группировкой вокруг них областей по связности.

Метод выделения границ хорошо применять, если границы достаточно четкие и стабильные. Выделение контурных линий наиболее часто используется в системах технического зрения и основано на учете изменения яркости и дальнейшем ее сравнении с пороговой. Перечисленные методы служат для выделения сегментов по критерию однородных яркостей.

Все перечисленные принципы приемлемы с точки зрения вычислительных затрат, тем не менее, для каждого из них характерна не единственность разметки точек в реальных ситуациях из-за необходимости применения эвристик. Для описания и сегментации свойств изображений, к которым относятся однородность, шероховатость, регулярность, применяют текстурные методы, подразделяющиеся условно на две категории - статистические и структурные. Использование матриц совпадений, формируемых из исходных изображений, с последующим подсчетом статистических моментов и энтропии – есть основа статистического метода. При структурном подходе строится множество многоугольников и производится исследование на предмет общих свойств. Многоугольники с общими свойствами объединяют в области.

3. Нормализация

Задача нормализации изображения – это задача определения параметров геометрических преобразований, которым подверглось изображение, с целью их компенсации. Компенсация может проводиться за счет изменения пространственного положения системы ввода изображения, либо алгоритмически путем применения обратного преобразования к входному изображению. Процедура преобразований производится с помощью операторов нормализации - нормализаторов, а вычисление параметров выполняется функциями, действующими на множестве изображений.

Методы нормализации при распознавании занимают промежуточное место между корреляционными и признаковыми алгоритмами.

В отличие от признаковых, при нормализации изображение не исключается из рассмотрения, а только замещается изображением того же класса эквивалентности.

В то же время, в отличие от корреляционных методов, множество входных изображений заменяется множеством нормализованных изображений. Каждая нормализованная картинка, вообще говоря, находится гораздо ближе к своему эталону (с позиции групповых преобразований), что значительно сокращает количество корреляций на завершающем этапе распознавания.

Наибольший интерес в настоящее время в теории нормализации представляют последовательные методы, основанные на поэтапном вычислении параметров сложных преобразований и применении частичных нормализаторов на каждом этапе.

4. Распознавание

Рассмотрим конечный этап обработки изображения – распознавание. Для этого этапа входными данными являются изображения, полученные в результате шумоподавления и процесса сегментации. Как правило, они отличаются от эталонных геометрическими и яркостными искажениями, а также сохранившимися шумами [5].

Для решения задач распознавания применяются, в основном, четыре подхода:

4.1. Корреляционный подход. Основан на принятии решений по критерию близости с эталонами. В основном применяется при обнаружении и распознавании изображений в системах навигации, слежения, промышленной роботизации.

Наиболее трудоемкий подход с точки зрения потребления вычислительных ресурсов. Подразумевает под собой многошаговую корреляцию при полностью заданном эталоне, путем сканирования входного поля зрения. Другими словами, происходит перебор всех входных сигналов и сравнение их с эталонным [6].

4.2. Признаковый подход. Такие методы основаны на переходе в пространство признаков, а соответственно, требуют значительно меньших вычислительных мощностей. В зависимости от поставленной задачи, выполняется корреляционная обработка признаков, полученных от эталона и входного изображения. При этом возникает задача объединения и комплексной обработки признаков различной размерности (метрических, статистических, логических, текстурных и т. д.), полученных различными измерительными средствами с целью решения задачи распознавания.

4.3. Корреляционно-признаковый метод подразумевает под собой обработку статистическими методами признаков, полученных следующим образом. Изначально применяется метод частных корреляций

для различных фрагментов эталонного изображения, а затем в сигнальном пространстве полученные корреляционные коэффициенты рассматриваются как признаки.

Основной проблемой в признаковых методах составляет выбор признаков. При этом исходят из естественных правил:

1. Признаки изображений одного класса могут различаться лишь незначительно (за счет влияния помех, шумов);

2. Признаки изображений разных классов должны существенно различаться;

3. Набор признаков должен быть минимальным (от их количества зависит надежность, сложность, скорость обработки).

4.4. Синтаксический подход основан на получении структурно-грамматических признаков, когда в изображении выделяются производные элементы - признаки. Вводятся правила соединения этих элементов, одинаковые для эталона и входного изображения. Анализ полученной таким образом грамматики обеспечивает принятие решений.

Каждый из подходов в распознавании имеет право на существование. Более того, в рамках каждого подхода есть свои конкретные алгоритмы, имеющие определенную область применения, которая зависит от характера различий входных и эталонных изображений, от помеховой обстановки в поле зрения, требований к объемам вычислений и скорости принятия решений. Признаковые и синтаксические методы – наиболее распространенные в теории распознавания образов.

Таким образом, использование данного системного подхода к задаче технического зрения позволяет на современном уровне развития техники и программного обеспечения успешно решать задачи по поиску и идентификации различных объектов, в том числе и различных пороков древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прэтт У.К. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. Т.1.– 2. 792 с.

2. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. – М: Сов. радио, 1979 – 312 с.

3. Рудаков П.И., Сафонов В.И. "Обработка сигналов и изображений". – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. – 416 с.

4. Форсайт, Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М. : ИД «Вильямс», 2004

5. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006

УДК 681.5

С. И. Карпович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

С. С. Карпович, канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск)

С.Г. Тихомиров, проф., д-р техн. наук (ВГУИТ, г. Воронеж, Россия)

БИНАРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Формирование изображений включает следующие подэтапы: настройка системы, в том числе подбор освещения рабочей сцены; аналоговые преобразования видеосигнала; ввод изображения в компьютер или другое решающее устройство; предварительная обработка оцифрованного изображения и сжатия информации в целях облегчения дальнейших этапов технического зрения [1].

Настройка СТЗ. Алгоритмы автоматизированной настройки системы очень сильно зависят от используемой аппаратуры, а также от конкретного вида рассматриваемой сцены.

В ряде современных систем применяется управляемая подстройка интенсивности источников света и/или их пространственной направленности, которая осуществляется в контуре обратной связи по специальным программам до удовлетворения выбранных критериев зрительного восприятия [2].

Автоматизация настройки видеосистемы предусматривает также наведение видеосенсора на нужный объект – выбор поля зрения, фокусировку и диафрагмирование объекта. При рассмотрении сцен с изолированными объектами определяется такое расположение камеры и такие параметры оптического тракта, при которых объекты полностью попадают в заданную рамку; в других случаях эту рамку можно наложить на нужный фрагмент сцены, «привязывая» её к некоторым характерным точкам.

Аналоговые преобразования. Алгоритмы аналоговых преобразований видеосигнала на стадии формирования изображения в СТЗ, как правило, реализуются аппаратными средствами и служат для обеспечения требуемых электрических характеристик сигнала.

Ввод изображения в компьютер. В общем случае под изображением рабочей сцены будем понимать двумерную функцию $g(x, y)$, где g – яркость соответствующей точки сцены (x, y) . Вместо исходного изображения $g(x, y)$ в память компьютера вводится массив значений $G(i, j)$, задаваемый на целочисленной решетке $i = \overline{0, N_x}, j = \overline{0, N_y}$, по-

казывающей всю область $X \times Y$ или её некоторую подобласть. Значение G в узловой точке представляет усредненную яркость g элемента изображения в окрестности этой точки.

После квантования функция $G(i, j)$ принимает целочисленные значения: $G(i, j) = k$ при $T_{k-1} \leq G(i, j) < T_k$, $k \in [0, k_{\max}]$, где T_k – значение k -го порогового уровня. В случае $k_{\max} = 1$ оцифрованное изображение называется бинарным (двухградационным), в случае $k_{\max} > 1$ – полутоновым (многоградационным).

Для автоматического выбора порога бинаризации T чаще всего строят гистограмму яркости (показывающая, какое число n пикселей картинной плоскости имеют данную яркость), после чего ищут минимум гистограммы на впадине между двумя основными её пиками, отвечающими яркостям фона и объектов (рис. а).

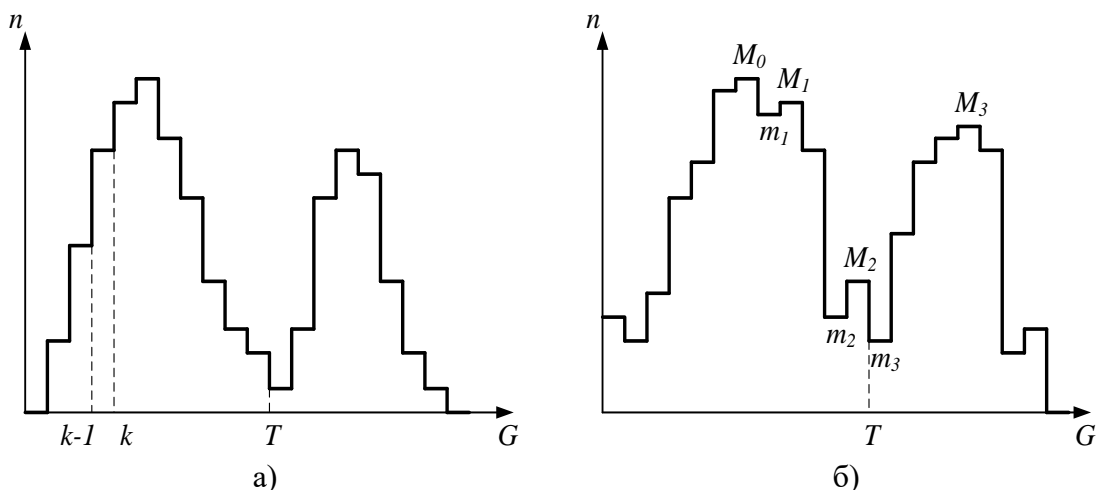


Рисунок – Определение порога бинаризации по гистограммам яркости

Однако вследствие неидеальной контрастности реальная гистограмма редко бывает бимодальной: наряду с двумя основными пиками она имеет множество дополнительных отражающих, наличие теней и бликов, шумов и неоднородной чувствительности видеосенсора (рис. б).

Бинаризация изображения с глобальным порогом осуществляется по формуле [3]:

$$G(i, j) = \begin{cases} 1, & G(i, j) \geq T \wedge |G(i, j)| \leq \varepsilon; \\ 0. & \end{cases} \quad (1)$$

где ε – дополнительный порог по градиенту.

Бинаризация изображения с локальным порогом осуществляется по формуле:

$$G(i, j) = \begin{cases} 1, G(i, j) > \bar{G}(i, j) - D(i, j); \\ 0. \end{cases} \quad (2)$$

где $D(i, j) = 0,5[G(i, j) - G(i-1, j) + G(i, j) - G(i+1, j)]$, а $\bar{G}(i, j)$ – среднее значение яркости на выбранном окне.

Если разбить всё поле зрения на подобласти, в которых легко выбрать локальные пороги, то далее можно провести пространственную интерполяцию порога бинаризации через центры таких подобластей. Это даёт переменный (динамический) порог для всего поля зрения в целом.

Предварительная обработка изображения. Эта группа операций направлена на облегчение дальнейших этапов технического зрения и проводится в целях коррекции различных искажений, улучшения контрастности, удаления шумов и т. п..

Традиционным методом фильтрации изображений в целях выделения полезной информации из «зашумленной» картины является использование Фурье-преобразования, которое основано на хорошо исследованном теоретическом аппарате и позволяет применять современные средства, как цифровой (например, быстрое Фурье-преобразование), так и аналоговой реализации.

Дискретное Фурье-преобразование, реализуемое программным путем, даёт спектр $\Gamma(l, m)$ функция яркости $G(j, k)$ в соответствии с формулой:

$$\Gamma(l, m) = \frac{1}{n_x n_y} \sum_{j=0}^{n_x-1} \sum_{k=0}^{n_y-1} G(j, k) \exp \left[-2\pi i \left(j \frac{l}{n_x} + k \frac{m}{n_y} \right) \right]. \quad (3)$$

Обозначив Фурье-преобразование F , определим обратное образование F^{-1} и получаем

$$G(j, k) = \sum_{l=0}^{n_x-1} \sum_{m=0}^{n_y-1} \Gamma(l, m) \exp \left[2\pi i \left(j \frac{l}{n_x} + k \frac{m}{n_y} \right) \right]. \quad (4)$$

Введем функцию $H(l, m)$, задающую линейный пространственный фильтр. Произведение спектра $\Gamma(l, m)$ и этой функции определит Фурье-образ на выходе фильтра $\Gamma_0(l, m) = \Gamma(l, m) \times H(l, m)$, откуда получаем выходную функцию яркости следующего вида:

$$G_0(i, j) = F^{-1} \{ \Gamma_0(l, m) \} = F^{-1} \{ \Gamma_0(l, m) H(l, m) \} = G(i, j) * h(i, j), \quad (5)$$

где $h(i, j) = F^{-1} \{ H(l, m) \}$, а символом * обозначена операция свёртки.

Поскольку программная реализация алгоритмов, базирующихся на Фурье-преобразованиях, требует сравнительно больших вычислительных затрат, ниже представлено более простое преобразование. Так, преобразование Адамара имеет спектр (при $n_x = n_y = n$)

$$\Gamma_1(l, m) = \frac{1}{n} \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{n-1} G(j, k) (-1)^{\alpha_{jk}(l, m)}, \quad (6)$$

где $\alpha_{jk}(l, m) = \sum_{v=0}^{n-1} [\beta_v(j)\beta_v(l) + \beta_v(k)\beta_v(m)]$, а коэффициенты $\beta_v(q)$ равны либо 0, либо 1 в соответствии со значением v -го разряда числа q , представленного в двоичной системе счисления.

Перечисленные выше алгоритмы фильтрации и сглаживания, устраняя высокочастотные шумы, одновременно приводят к потере мелких деталей изображения и к размыванию границ объектов, что напоминает эффект расфокусировки.

Стремясь ослабить это нежелательное побочное явление, обращаемся к выборочным усреднениям, пользуясь следующими методами:

1) Провести усреднение не по всем элементам выбранного окна, а лишь по тем, которые лежат вблизи границы между фоном объектом; как модификация такого метода применяется усреднение по элементам, находящимся по ту сторону от границы, что и рассматриваемый пиксель;

2) При усреднении учитывают только те пиксели выбранного окна, яркость которых отличается от яркости рассматриваемого элемента не более чем на заранее заданное значение;

3) В выбранном окне выделяют подмножество элементов, лежащих по разные стороны от рассматриваемого пикселя и дающих минимальный разброс значений яркости, и усреднение проводят только по этому подмножеству.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мошкин, В.И. Техническое зрение роботов / А.А. Петров, В.С. Титов, Ю.Г. Якушенков. – Москва: Под общ. ред. Ю.Г. Якушенкова. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

2. Shirai Y. Robot vision // Robotics. 1986. V. 2. N. 3. P. 175-203.

3. Келли, Р.Б. Три алгоритма технического зрения для задачи взятия деталей из бункеров / Р.Б. Келли, Э.А.Ш. Мартиш, Дж.Р. Берк, Ж.Д. Дессимос: Пер. с англ. ТИИЭР. 1983. Т.71. № 7. С. 23-44.

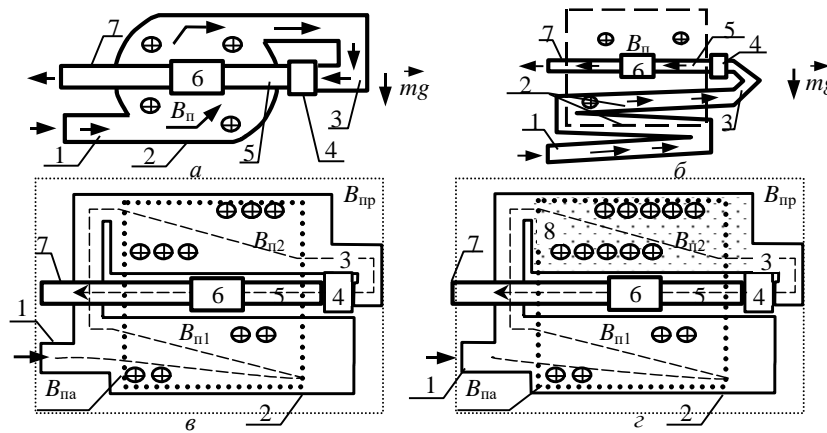
И. О. Оробей, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
В. В. Сарока, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
Д. А. Гринюк, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
М. А. Анкуда, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕТОЧНЫХ ЯМР-РАСХОДОМЕРОВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Разработка ЯМР-расходомеров для технологических процессов требует специальных мер по снижению релаксационных погрешностей и погрешностей смены режима течения, что может достигаться рациональным выбором проточной части с целью смещения диапазона с изменением режима течения в область малых расходов при искусственной турбулизации потока. Снижение погрешностей достигается в расходомерах с плоским распределением скоростей на выходе поляризатора и с малой длиной транспортного и измерительного участков, не обеспечивающей формирование ламинарного или турбулентного потоков. Итоговое распределение скоростей по сечению на измерительном участке приближается к равномерному, что уменьшает погрешности. Снизить погрешности можно корректировкой выходного сигнала по вязкости, но вискозиметр увеличивает гидравлическое сопротивление и время измерения, что усложняет конструкцию. Для технических жидкостей, у которых изменение вязкости связано с температурой, корректировка может проводиться по температуре и плотности жидкости. При работе с одним типом жидкости достаточно температуры, которая связана с индукцией поля анализатора.

При разработке ЯМР-расходомера точностные характеристики обеспечиваются оптимизацией проточной части преобразователя. Поэтому расчет его конструкции кроме определения диапазона расходов должен включать минимизацию релаксационных погрешностей и погрешностей смены режима течения с использованием метода расчета информативного параметра. На первом этапе выбирается схема преобразователя. Известны устройства с пространственным разделением поляризатора, датчика меток и анализатора. Поскольку к постоянному полю отметки особых требований не предъявляется, катушку отметки помещают в поле рассеяния магнитов поляризатора или анализатора, получая систему с совмещением отметчика с поляризатором или анализатором. Первичные преобразователи с отдельными поляризатором и анализатором обладают рядом недостатков: большие масса и габариты; низкая помехоустойчивость; значительное размагничивание на транспортном участке. Это затрудняет измерение расходов жидкостей с малыми временами релаксации T_1 . Данных недостатков лишены

тракты с совмещенными поляризатором и анализатором. Для них поляризация, отметка и анализ намагниченности производятся в поле одной магнитной системы.



а – однокамерный поляризатор с перетеканием жидкости над измерительным участком; границы полюсных наконечников совпадают с границами кюветы; б – однокамерный поляризатор без перетекания с восходящим потоком; штриховыми линиями показаны границы полюсных наконечников; в – двухкамерный поляризатор с перетеканием жидкости над измерительным участком; границы полюсных наконечников совпадают с границами кюветы; г – двухкамерный поляризатор с перетеканием жидкости над измерительным участком, в объем второй камеры введены парамагнитные ионы; границы полюсных наконечников совпадают с границами кюветы;

1 – входной патрубков; 2 – поляризатор; 3 – транспортный участок; 4 – катушка отметки; 5 – измерительный участок; 6 – катушка регистрации; 7 – выходной патрубков; 8 – наполнитель с парамагнитными ионами; индукция ортогональна плоскости чертежа; mg – сила тяжести.

Рисунок 1 – Гидравлические тракты первичных преобразователей с совмещенными поляризатором и анализатором

Схемы первичных преобразователей с совмещенными поляризатором и анализатором отличаются исполнением поляризаторов и магнитной системы. В расходомерах для сред с большими T_1 используется однокамерный поляризатор с перетеканием жидкости над измерительным участком (рисунок 1а). Достоинство конструкции – полное использование объема рабочего зазора магнитной системы для поляризации, недостатки – увеличение длины рабочего зазора (что снижает индукцию поля) и наличие застойных зон с накапливанием в них газовых пузырей.

Для измерителя малых расходов быстрорелаксирующих жидкостей, например, дизельного топлива, можно выбрать гидравлический тракт по однокамерной схеме без перетекания с восходящим потоком (рисунок 1б), что снижает объем поляризатора, но обеспечивает его стабильность при минимальной длине рабочего зазора. Для измерения

расходов растворов солей подходит гидравлический тракт, выполненный по двухкамерной схеме (рисунок 1г), у которого введение парамагнитных ионов снижает объем поляризатора, но обеспечивает сокращение времени релаксации и обеспечивает стабильность при минимальной длине рабочего зазора. Магнитное поле первичного преобразователя с совмещенными поляризатором и анализатором может создаваться любыми системами на основе постоянных магнитов или электромагнитов. Экспериментально исследовались открытая магнитная система П-образного типа и закрытая система броневого типа. Система броневого типа является электромагнитным экраном, обеспечивая помехозащищенность расположенных внутри электронных компонентов, а также исключает влияние внешних полей на индукцию в центре зазора.

На следующем этапе проводится расчет намагниченностей [1] для нескольких наборов параметров трактов с совмещенными поляризатором и анализатором. По зависимостям намагниченностей от расхода для известных релаксационных характеристик определяется диапазон измеряемых расходов. Выбор гидравлического тракта завершается расчетом информативного параметра и определением на его основе погрешностей смены режима течения и релаксационных погрешностей, причем исследование погрешностей смены режима течения требует информации о возможных границах переходного режима течения. Анализ литературных источников указывает большой (до 10%) вклад погрешностей смены режима течения в основную приведенную погрешность для отобранных первичных преобразователей, тогда как вклад релаксационных погрешностей значительно меньше. Снижение погрешностей достигается использованием пространственной протяженности процесса установления ламинарного потока. У трубопровода, длина которого меньше длины начального участка, распределение скоростей приближается к равномерному по сечению.

Использование такого механизма требует уменьшения длин транспортного и измерительного участков по сравнению с внутренним диаметром трубопровода, в идеале – отказа от транспортного участка, формирующего ламинарный поток. Поэтому гидравлический тракт целесообразно выполнить в виде колен с поворотом потока на 90° , обеспечивающих перемешивание жидкости на входе в катушку отметки. Проверка [1] подтверждает равномерное распределение скоростей и снижение вклада погрешностей смены режима течения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика определения информативного параметра меточного ЯМР – расходомера по спектральному разложению намагниченности при движении метки по измерительному участку / В.В. Сарока, О.И. Оробей, Д.А. Гринюк, М.А. Анкуда, И.О. Оробей // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. – 2009. – Вып. XVII. – С. 77–81.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Богданович Д.А., Карпович Д.С.</i> Автоматизация управления системами электроснабжения на предприятиях, тенденции, возможности и пути решения возникающих проблем	5
<i>Якименко А.А.</i> Модальное управление одной запаздывающей системой	8
<i>Гринюк Д.А., Олиферович Н.М., Арпентий П.Д., Ежиков Д.Ю.</i> Наступление виртуальных контроллеров	12
<i>Бакаленко В.И., Дайнеко Т.А.</i> Автоматический весовой потомер	16
<i>Алексеюк А.М., Шетько И.С.</i> Адаптивное регулирование процесса водоочистки	18
<i>Оробей И.О., Сарока В.В., Гринюк Д.А., Анкуда М.А.</i> Адаптивный измеритель расхода методом ЯМР с коррекцией измерительной базы по индукции поля анализатора	20
<i>Фокин Т.П., Королёв А.А.</i> Анализ применения нейронных сетей в промышленности	24
<i>Анкуда М.А., Карпович Д.С., Олиферович Н.М., Анкуда М.К.</i> Анализ влияния электромагнитных возмущений на сопротивление пленочных полупроводниковых сенсоров	26
<i>Анкуда М.А., Оробей И.О., Сарока В.В., Анкуда М.К.</i> Измеритель концентрации газовых смесей при наличии шумового воздействия	30
<i>Карпович Д.С., Анкуда М.А., Олиферович Н.М., Анкуда М.К., Оробей И.О.</i> Моделирование энергетических процессов в пленочном полупроводниковом сенсоре	34
<i>Барашко О.Г., Кобринец В.П.</i> Проблемы внедрения ERP-систем на стадии фиксации ожидаемого результата по этапам	39
<i>Барашко О.Г., Кобринец В.П.</i> Оптимальная комплектация лабораторно-информационных систем	40
<i>Овсянников А.В., Барашко О.Г.</i> Анализ амплитудных фильтров для распределенных систем	41
<i>Чжан Цзябао, Барашко О.Г.</i> Предварительные информационные переменные для создания мнемосхемы процесса производства фосфата аммония	43
<i>Вагизов М.Р., Кузин П.И., Е.И. Кузина.</i> Выбор оптимальных программируемых устройств при автоматизации процессов	44
<i>Шетько И.С.</i> Виртуальные ПЛК в цифровой трансформации производства: архитектура, возможности и перспективы	48

<i>Дубиковская Е.В., Гринюк Д.А.</i> Интеграция внешних скриптов для повышения функциональности ПЛК	51
<i>Карабань М.А., Кобринец В.П.</i> Управление тепловыми процессами в кристаллизаторе при производстве маргарина	55
<i>Лин Шусян, Олиферович Н.М.</i> Управление процессом конверсии оксида углерода	57
<i>Лялько А.А.</i> Расчет наблюдателя Калмана в системе MATLAB	61
<i>Мороз Р.Р.</i> Мероприятия и методы экономии электроэнергии в строительстве	63
<i>Кобринец В.П., Барашко О.Г., Карпович Д.С.</i> Некоторые проблемы автоматизации процесса сушки в производстве калийных удобрений	65
<i>Кобринец В.П., Карпович Д.С., Барашко О.Г.</i> Методы и алгоритмы математического моделирования процесса сушки в барабанных сушилках в условиях ОАО “Беларуськалий”	67
<i>Шетько И.С., Оробей И.О., Алексеюк А.М.</i> Разработка адаптивного протокола передачи данных. Многослойная адаптация параметров передачи	71
<i>Королёв А.А., Фокин Т.П.</i> Сравнительный анализ понятий BIG DATA и SMART DATA	74
<i>Кобринец В.П., Карпович Д.С.</i> Разработка алгоритма оптимального управления процессом переработки нефти в колонне К-102	76
<i>Чжан Сяо Юй, Карпович Д.С.</i> Управление процессом производства соляной кислоты	80
<i>Чжан Цзя Бао, Барашко О.Г.</i> Управление процессом производства фосфата аммония	82
<i>Карпович С. С., Карпович С. И., Джумаев О.А.</i> Использование распознавания графической информации для обнаружения неоднородностей на изображениях	83
<i>Карпович С. И., Карпович С. С., Тихомиров С.Г.</i> Бинаризация изображения в системах технического зрения	89
<i>Оробей И.О., Сарока В.В., Гринюк Д.А., Анкуда М.А.</i> Оптимизация конструкции первичных преобразователей меточных ЯМР-расходомеров для минимизации погрешностей	93

Научное издание

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ**

Сборник материалов
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ

Электронный ресурс

В авторской редакции

Компьютерная верстка
С.В. Бушева, Е.О. Черник

Усл. печ. л. 5,64. Уч.-изд. л. 5,82.

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,

изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.