



ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2026

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»
ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
Филиал ПАО «Россети» – МЭС Центра

VII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ, МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
И СПЕЦИАЛИСТОВ

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

СБОРНИК ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Тамбов, 24 декабря 2025 года

Научное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2026

УДК 658.26
ББК 31.3
Ц75

Председатель конференции Муромцев Дмитрий Юрьевич

Редакционная коллегия:

О. А. Белоусов, М. А. Каменская – *ответственные редакторы*,
А. Н. Грибков, А. В. Кобелев

Ц75 Цифровая трансформация в энергетике. Вып. VII [Электронный ресурс] : сб. тр. VII Междунар. науч.-практ. конф. для студентов, молодых ученых и специалистов / отв. ред. Д. Ю. Муромцев ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2026. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium IV ; RAM 512 Mb ; необходимое место на HDD 11,0 Mb ; Windows 7/8/10/11 ; дисковод CD-ROM ; мышь. – Загл. с экрана.
ISBN 978-5-8265-2981-2

Представлены тезисы докладов участников VII Международной научно-практической конференции для студентов, молодых ученых и специалистов «Цифровая трансформация в энергетике», в которых раскрываются вопросы эффективного использования энергоресурсов, построения эффективных систем переработки, передачи и хранения энергии, применения нетрадиционных источников энергии, разработки энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий, развития производственных отношений на основе цифровых подходов и средств. Отражены правовые аспекты, регулирующие отношения в области энергетики.

Материалы могут быть полезны студентам-исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

УДК 658.26
ББК 31.3

Организаторы конференции и издательский центр не несут ответственности за материалы, опубликованные в сборнике. Все материалы даны в авторской редакции и отображают персональную позицию участников конференции

Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком. Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.

ISBN 978-5-8265-2981-2

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2026

Секция 1

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

ТЕПЛОЕМКОСТИ И ПОКАЗАТЕЛЬ АДИАБАДЫ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ

К. А. Анохин

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: a9kil9@yandex.ru)*

В соответствии с экспериментальными данными для реальных газов по мере того как возрастает температура T газа, высокоэнергетические колебательные состояния становятся достижимыми для молекулярных газов, и таким образом количество степеней свободы возрастает, и уменьшается показатель адиабаты γ .

Рассмотренные в работе основные теплотехнические газы представляют собой молекулы, состоящие из $N = 2, 3, 4$ атомов.

В соответствии с теорией статистической термодинамики квазиклассического идеального газа [1] формула для определения истинной изобарной массовой теплоемкости двухатомной молекулы имеет вид

$$C_p = C_{p\text{ пост}} + C_{p\text{ вращ}} + C_{p\text{ кол}} = R \left[\frac{i_2 + 2}{2} + \frac{\left(\frac{hc\omega_{e(\text{газа})}}{kT} \right)^2 \exp\left(\frac{hc\omega_{e(\text{газа})}}{kT} \right)}{\left(\exp\left(\frac{hc\omega_{e(\text{газа})}}{kT} \right) - 1 \right)^2} \right], \quad (1)$$

где R – газовая постоянная, Дж/(кг·К); i_2 – количество поступательных и вращательных степеней свободы двухатомной молекулы, $i_2 = 5$; h – постоянная Планка, $h = 6,6260693$ Дж·с; c – скорость света в вакууме, $c = 2,99792458 \cdot 10^8$ м/с; k – постоянная Больцмана, $k = 1,3806505 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; $\omega_{e(\text{газа})}$ – гармоническая колебательная постоянная молекулы газа, определяется из анализа спектров молекулы [3], см^{-1} ; T – термодинамическая температура, К.

Можно преобразовать выражение $\frac{hc\omega_{e(\text{газа})}}{k} = \theta_{\text{кол(газа)}}$, где k – характеристическая колебательная температура молекулы газа; и для трех и более, т.е. многоатомной молекулы, линейной и нелинейной:

$$C_p = C_{p\text{пост}} + C_{p\text{вращ}} + C_{p\text{кол}} = R \left(\frac{i_{\text{мн}} + 2}{2} + \sum_{i=1}^{\alpha} \frac{\left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T} \right)^2 \exp\left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T} \right)}{\left(\exp\left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T} \right) - 1 \right)^2} \right), \quad (2)$$

где $i_{\text{мн}} = 5$ – для многоатомной линейной молекулы; $i_{\text{мн}} = 6$ – для многоатомной нелинейной молекулы.

Многоатомная молекула, состоящая из $N = 3, 4$, и т.д. атомов, имеет всего $3N$ степеней свободы. Из них 3 поступательные степени свободы, 3 вращательные степени свободы для нелинейных молекул или 2 вращательные – для линейных молекул, а остальные – колебательные. Таким образом, α – число колебательных степеней свободы для:

- нелинейной N -атомной молекулы – $\alpha_{\text{нл}} = (3N - 6)$;
- линейной – $\alpha_{\text{л}} = (3N - 5)$.

Для актуализации значений среднеинтегральных изобарный массовых теплоемкостей из работы [2] необходимо найти такие же среднеинтегральные изобарные массовые теплоемкости из истинных, определенных по формулам (1) и (2):

$$C_p \Big|_{T_1}^{T_2} = \frac{R \left(\frac{i_2 + 2}{2} \int_{T_1}^{T_2} dT + \int_{T_1}^{T_2} \frac{\left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T} \right)^2 \exp\left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T} \right)}{\left(\exp\left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T} \right) - 1 \right)^2} dT \right)}{\int_{T_1}^{T_2} dT}, \quad (3)$$

$$C_p \Big|_{T_1}^{T_2} = \frac{R \left(\frac{i_{\text{мн}} + 2}{2} \int_{T_1}^{T_2} dT + \int_{T_1}^{T_2} \sum_{i=1}^{\alpha} \frac{\left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T} \right)^2 \exp\left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T} \right)}{\left(\exp\left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T} \right) - 1 \right)^2} dT \right)}{\int_{T_1}^{T_2} dT}. \quad (4)$$

После интегрирования

$$C_p \Big|_{T_1}^{T_2} = R \left(\frac{i_2 + 2}{2} + \frac{\theta_{\text{кол(газа)}} \left(\exp \left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T_1} \right) - \exp \left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T_2} \right) \right)}{(T_2 - T_1) \left(\left(\exp \left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T_1} \right) - 1 \right) \exp \left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T_2} \right) - \exp \left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T_1} \right) + 1 \right)} \right), \quad (5)$$

$$C_p \Big|_{T_1}^{T_2} = R \left(\frac{i_{\text{мн}} + 2}{2} + \sum_{i=1}^{\alpha} \frac{\theta_{\text{кол(газа)}} \left(\exp \left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T_1} \right) - \exp \left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T_2} \right) \right)}{(T_2 - T_1) \left(\left(\exp \left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T_1} \right) - 1 \right) \exp \left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T_2} \right) - \exp \left(\frac{\theta_{\text{кол(газа)}}}{T_1} \right) + 1 \right)} \right). \quad (6)$$

Представим полученные результаты расчета в графическом виде для вычисленных отклонений между экспериментальными значениями теплоемкостей из работы [2] и полученными по результатам расчета по формулам (6) и (7). Также представим график отклонений для среднеинтегральных изохорных массовых теплоемкостей $C_v \Big|_{T_1}^{T_2}$, которые можно найти из уравнения Майера:

$$C_v \Big|_{T_1}^{T_2} = C_p \Big|_{T_1}^{T_2} - R, \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Среднеинтегральный показатель адиабаты

$$\gamma \Big|_{T_1}^{T_2} = \frac{C_p \Big|_{T_1}^{T_2}}{C_v \Big|_{T_1}^{T_2}}.$$

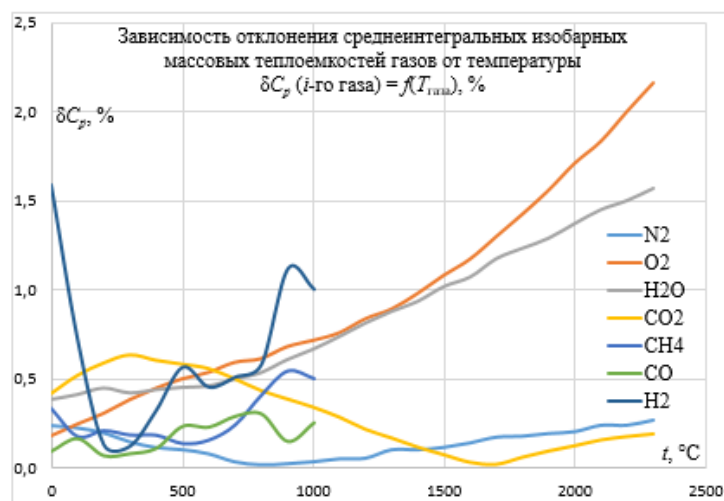


Рис. 1. Отклонения значений среднеинтегральных изобарных массовых теплоемкостей теплотехнических газов, вычисленных с помощью квантовомеханических формул от экспериментальных значений

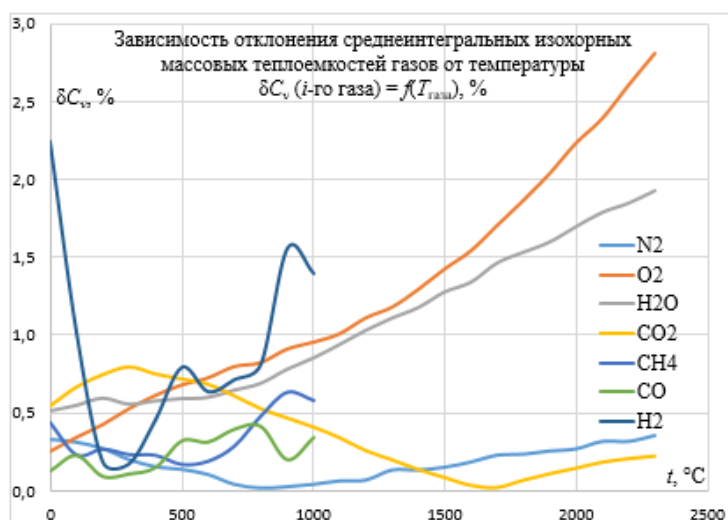


Рис. 2. Отклонения значений среднеинтегральных изохорных массовых теплоемкостей теплотехнических газов, вычисленных с помощью квантовомеханических формул от экспериментальных значений

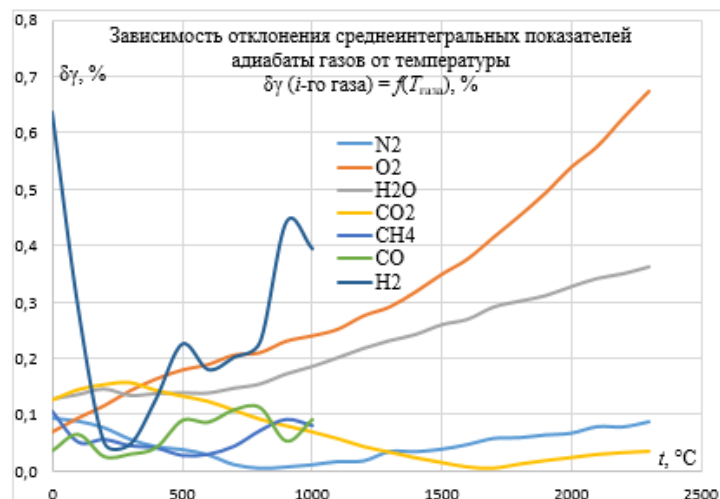


Рис. 3. Отклонения значений среднеинтегральных показателей адиабаты теплотехнических газов, вычисленных с помощью квантовомеханических формул от экспериментальных значений

Библиографический список

1. Леванов, А. В. Определение термодинамических свойств статистическими методами. Классический идеальный газ / А. В. Леванов, Э. Е. Антипенко // МГУ им. М. В. Ломоносова. – М. : 2006. – 46 с.
2. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод) / Коллектив авторов ; РАО «ЕЭС РОССИИ» ВТИ, НПО ЦКТИ. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : 1998. – 259 с.
3. Ельяшевич, М. А. Атомная и молекулярная спектроскопия / М. А. Ельяшевич. – М. : Эдиториал УРСС, 2001. – 896 с.

СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

А. В. Архипова, А. В. Иванов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: Asay1710@yandex.ru, aleksandr-ivanov68@yandex.ru)

В настоящее время беспилотная авиация совершила революцию в ведении разведки и боевых действий. Способность автономно преодолевать тысячи километров, удерживать позицию в воздухе, обходить средства ПВО и точно выходить на цель зависит от слаженной работы систем, устройств и датчиков, входящих в состав навигационной системы, а также от используемых алгоритмов обработки информации. Для обеспечения связи и передачи данных с пункта управления на борт беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и с борта БПЛА на пункт наведения при полете по маршруту в современных БПЛА используется несколько способов:

- прямая радиосвязь. Используется тактическими БПЛА (например, RQ-7 Shadow, Orlan-10) только в пределах прямой видимости;
- спутниковый Интернет. БПЛА подключается к низкоорбитальной спутниковой группировке и через нее получает доступ в Интернет;
- ретрансляция через другие БПЛА или самолеты. Для увеличения дальности прямой связи используются промежуточные узлы – ретрансляторы в виде другого БПЛА или самолета;
- сотовая сеть (4G/LTE/5G). БПЛА подключается к ближайшей вышке сотового оператора и передает данные по защищенному VPN-каналу в Интернет. Недостаток – зависимость от инфраструктуры сотовой связи, уязвимость для помех, временная задержка;
- спутниковая связь. Это основной способ управления БПЛА дальнего радиуса и передачи данных с них за пределами прямой видимости.

Методы определения координат местоположения БПЛА. Полет БПЛА по маршруту и вывод его в заданную точку пространства обеспечивается с помощью систем навигации [1]. Состав систем навигации зависит от метода, заложенного для определения местоположения БПЛА. В качестве таких методов могут использоваться:

- обзорно-сравнительные, в качестве которых используются, например: корреляционно-экстремальная навигация по физическим полям Земли [2];

сравнение изображений местности с соответствующими картами. Корреляционно-экстремальная навигация предполагает использование рельефа местности на отдельных участках полета БПЛА для коррекции текущих координат местоположения. Сравняется текущий профиль высот под собой с заранее загруженной картой. Требуется предварительной загрузки карт, а также наличие на борту БПЛА двух радиовысотомеров. Сравнение изображений местности с соответствующими картами предполагает использование специального алгоритма, который анализирует последовательность кадров, отслеживая смещение ключевых точек, и вычисляет собственное перемещение и скорость относительно земли;

- позиционные, в качестве которых используются, например: методы линий положения с использованием радиотехнических устройств и систем [3], астрономические методы. радионавигация по наземным маякам. БПЛА летит на сигнал заранее развернутых наземных радиомаяков. Методы линий положения предполагают использование на борту радиооборудования, которое определяет координаты местоположения БПЛА, засекая направление на несколько маяков. Требуется развертывания инфраструктуры маяков на поверхности Земли или сети навигационных спутников на орбите Земли. Астрономические методы предполагают оснащение БПЛА оптическим сенсором, который определяет положение Солнца, Луны или звезд. Сравнивая их положение с расчетным для данной точки маршрута, определяется ошибка координат местоположения и производится их коррекция;

- методы счисления пути, в качестве которых используются инерциальное, доплеровское, воздушное счисление пути. Эти методы предполагают определение текущего местоположения БПЛА по известным начальным координатам и параметрам движения (скорости, ускорения).

Состав систем навигации БПЛА. Состав систем навигации на борту современных боевых беспилотных летательных аппаратов приведен в табл. 1.

Анализ состава современных БПЛА, приведенного в табл. 1, показывает, что основными системами, входящими во все навигационные системы, являются:

- аппаратура приема сигналов спутниковых радионавигационных систем. В качестве таких систем используются российская система ГЛОНАСС, американская система GPS, китайская система BeiDou [4, 5]. Как правило, аппаратура приема является многоканальной, совмещенной и использует сигналы всех видов спутниковых радионавигационных систем;

– инерциальная навигационная система или бесплатформенная инерциальная система на основе гироскопов и акселерометров. Эта система постоянно измеряет ускорения и угловые скорости летательного аппарата. Путем математического интегрирования этих данных она вычисляет текущие координаты положения, вектор скорости и ориентацию продольных и поперечных осей в пространстве.

Таблица 1

Название БПЛА	Страна	Система навигации, состав
Орион	Россия	Инерциально-спутниковая навигационная система
Орлан-10	Россия	Глобальная спутниковая система позиционирования ГЛОНАСС/GPS, инерциальная система, магнитный компас
Жнец	США	Инерциальная навигационная система, приемник GPS/ГЛОНАСС, система воздушных сигналов (Pitot-Static System), даталогикер (Data Link)
Хищник	США	Инерциальная навигационная система, приемник GPS, даталогикер (Data Link)
X-47B	США	Высокоточная инерциальная навигационная система с GPS, радиолокационная система (RADAR), оптоэлектронная/инфракрасная система, даталогикер (Data Link)
Пума	США	Приемник GPS, инерциальная измерительная система (IMU): гироскопы, акселерометры, магнитометр, датчики воздушной скорости
Гранат-4	Россия	Приемник ГЛОНАСС/GPS, инерциальная измерительная система (IMU): гироскопы, акселерометры
Дозор-100	Россия	Приемник ГЛОНАСС/GPS, инерциальная навигационная система, система воздушных сигналов
BPT-300	Россия	Приемник ГЛОНАСС/GPS, инерциальная навигационная система, радиовысотомер, барометрический высотомер, оптические и лазерные датчики, датчики для системы управления двигателем и несущей системой
Энрон-3	Россия	Приемник ГЛОНАСС/GPS, инерциальная навигационная система, радиовысотомер, барометрический высотомер, система технического зрения
Пила-1T	Россия	Приемник ГЛОНАСС/GPS, инерциальная измерительная система (IMU), барометрический высотомер, магнитометр
Cai Hong (CH)系列 / Rainbow (Rainbow)	Китай	Приемник BeiDou / GPS / ГЛОНАСС, инерциальная навигационная система, система воздушных сигналов, радиовысотомер
WZ-7 Soaring Dragon	Китай	Приемник BeiDou / GPS, высокоточная инерциальная навигационная система, интегрированная система воздушных сигналов

Применение этих двух систем предполагает использование для определения координат местоположения БПЛА метода инерциального счисления пути с коррекцией счисленных координат выходными сигналами с аппаратуры приема сигналов спутниковых радионавигационных систем. При этом, как правило, создается комплексная система обработки информации, обеспечивающая высокие характеристики точности [6, 7].

Проанализированы методы определения координат местоположения БПЛА и состав устройств и систем, обеспечивающих определение координат местоположения. Основу всех современных навигационных систем БПЛА составляют две системы, а именно: аппаратура приема сигналов спутниковых радионавигационных систем и инерциальная навигационная система.

Библиографический список

1. Ярлыков, М. С. Статистическая теория радионавигации / М. С. Ярлыков. – М. : Радио и связь, 1985. – 344 с.
2. Белоглазов, И. Н. Основы навигации по геофизическим полям / И. Н. Белоглазов, Г. И. Джанджгава, Г. П. Чигин. – М. : Наука, 1985. – 328 с.
3. Иванов, А. В. Определение координат местоположения объекта в сетях GSM и UMTS на основе использования информации о направлении приема сигналов от базовых станций / А. В. Иванов, Д. В. Комраков // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 70 – 75.
4. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. – 3-е изд., перераб. – М. : Радиотехника, 2005. – 688 с.
5. Соловьев, Ю. А. Системы спутниковой навигации / Ю. А. Соловьев. – М. : Эко-Трендз, 2000. – 270 с.
6. Иванов, А. В. Обработка сигналов спутниковых радионавигационных систем в бортовом навигационно-посадочном комплексе / А. В. Иванов // Радиотехника. – 2001. – № 10. – С. 29 – 36.
7. Информационно-измерительная и управляющая система на основе спутниковой радионавигационной системы для решения задач посадки летательных аппаратов / А. В. Иванов, С. П. Москвитин, Н. А. Лежнева, А. А. Иванов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2024. – Т. 30, № 4. – С. 608 – 620.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЫ

А. А. Балашов, Т. А. Листопадская

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: balashovalexei@yandex.ru)*

В работе представлены результаты численного моделирования стационарного процесса свободной конвекции от вертикальной трубы в программном комплексе ELCUT [1]. Целью исследования являлась оценка влияния различных тепловых потоков и наличие тонкослойных поверхностных загрязнений на распределение температур. Построена параметрическая модель, проведена ее верификация путем сравнения с эмпирическими критериальными уравнениями. Установлено количественное влияние толщины слоя загрязнения на эффективность теплообмена.

Точное определение коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции является актуальной задачей для проектирования энергоэффективных теплообменных аппаратов, систем охлаждения электронного оборудования и отопительных приборов. Проведение натурных экспериментов сопряжено со значительными погрешностями измерения, обусловленными трудностью контроля всех внешних факторов и условиями теплообмена на концах объекта.

Использование методов компьютерного моделирования позволяет создать виртуальный аналог установки, проводить параметрические исследования в контролируемых условиях и с высокой точностью определять температурные поля и интегральные характеристики. Особый практический интерес представляет моделирование неидеальных условий эксплуатации, таких как наличие на поверхности теплообмена оксидных пленок, отложений или слоя пыли, что существенно влияет на термическое сопротивление системы.

Целью данной работы является создание верифицированной двумерной модели свободноконвективного теплообмена у вертикальной трубы и исследование на ее основе влияния мощности тепловыделения и слоя поверхностных загрязнений на распределение значений температур.

Для начала моделирования выстраиваем геометрию задачи исходя из размеров лабораторной установки в программе Elcut [1]. Следует отметить, что модель задается симметричной относительно вертикальной оси. Диаметр наружной трубы 25 мм, толщина стенок 1 мм, диаметр внутренней трубы 23 мм, толщина стенок внутренней трубы 1 мм. Длина труб 1500 мм. Трубы изготовлены из меди. С двух сторон для снижения влияния концевых эффектов установлены заглушки из текстолита длиной по 5 мм (рис. 1).

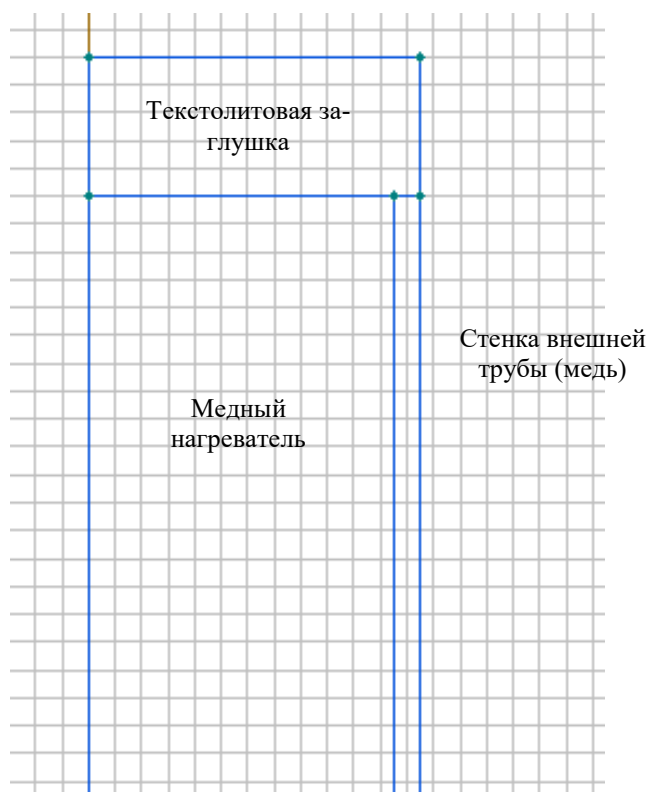


Рис 1. Осесимметричная геометрия расчетной области

Граничные условия: на внутренней поверхности нагревателя задана постоянная плотность теплового потока $q = 507 \text{ [Вт/м}^2\text{]}$; на внешних границах воздушной области заданы условия конвекции и радиации с коэффициентом теплоотдачи $15 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ и температурой окружающей среды 296 К ; текстолитовые заглушки считаются адиабатическими (теплоизоляция); ось симметрии – условие симметрии.

Для проведения параметрического исследования были заданы следующие серии расчетов:

Базовая модель: Мощность теплового потока $q = 507 \text{ Вт/м}^2$.

Влияние мощности: Значения $q = 200, 507, 800 \text{ Вт/м}^2$.

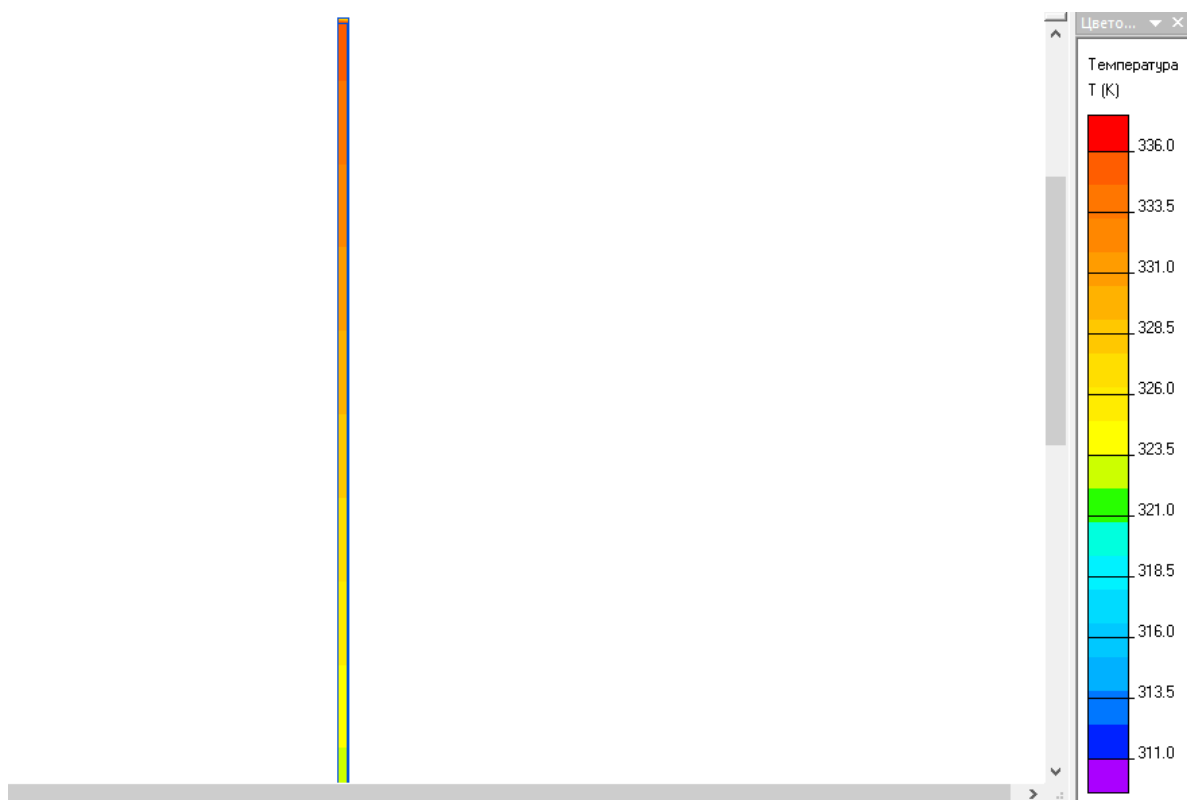
Влияние загрязнений: На внешнюю поверхность трубы наносился однородный слой материала с низкой теплопроводностью $\lambda_{\text{загр}} = 0,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ (аналог сажи, пыли). Толщина слоя δ варьировалась: $0,1; 0,5; 1,0 \text{ мм}$ при постоянной мощности $q = 507 \text{ Вт/м}^2$.

Создав модель и решив ее, программа Elcut выводит нам информацию о распределении температуры внутри модели (рис. 2).

В ходе работы была достигнута поставленная цель путем успешного решения всех сформулированных задач. На основе численного моделирования в ELCUT получено детальное описание процесса свободной конвекции у вертикальной трубы.



a)



б)

Рис. 2. Распределение температуры при заданных граничных условиях:

a – геометрия трубы от начала до середины участка;

б – геометрия трубы от середины до конца участка

Основные выводы работы заключаются в следующем:

1. Подтверждена эффективность применения ПО ELCUT для моделирования задач конвективного теплообмена.
2. Визуализированы и проанализированы поля температуры, показавшие классическую структуру свободноконвективного течения.
3. Установлено неоднородное распределение локального коэффициента теплоотдачи с максимумом у основания трубы.

Полученные результаты демонстрируют высокий потенциал использованной методики для инженерного проектирования теплообменных устройств [2 – 5]. В качестве направлений дальнейших исследований можно выделить: исследование смешанной конвекции; анализ влияния шероховатости поверхности и различных теплоносителей; оптимизацию форм теплоотдающих поверхностей для интенсификации теплообмена.

Библиографический список

1. ELCUT: Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 6.5. Руководство пользователя. – URL : https://elcut.ru/downloads/manual_r.pdf (дата обращения: 10.06.2021).
2. Королев, А. П. Контроль толщины эмиссионного слоя Al_2O_3 на катоде из высокочистого алюминия / А. П. Королев, М. В. Макаrchук, И. Л. Королева // Современные технологии композиционных материалов : материалы IV Всерос. науч.-практ. молодеж. конф. с междунар. участием, Уфа, 15 апреля 2019 года ; отв. ред. У. Ш. Шаяхметов. – Уфа : Башкирский государственный университет, 2019. – С. 159–160.
3. Буренина, А. И. Циклический отжиг высокоуглеродистой стали в среде углерода / А. И. Буренина, А. П. Королев, М. В. Макаrchук // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 329 – 333.
4. Влияние многократного отжига на структуру и свойства высокоуглеродистой стали / А. П. Королев, М. В. Буренина, А. И. Макаrchук, Н. А. Толстов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2018. – Т. 24, № 2. – С. 337 – 343.
5. Studying the Regimes of Forming Carbonic Nanoobjects on Copper Island Structure / A. P. Korolev, M. V. Makarchuk, M. N. Dutov, et al. // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE – 2018) : 14 International Scientific-Technical Conference: In 8 Volumes, Novosibirsk, 02 – 06 октября 2018 года. – Novosibirsk : Новосибирский государственный технический университет, 2018. – V. 1, Part 1. – P. 36 – 38.

О ЗНАЧЕНИИ ИНСТИТУТА ОБЩЕСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ В СИСТЕМЕ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА (ЖКХ)

И. А. Воликова

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: volikova4@yandex.ru)*

Проблемы предоставления качественных жилищно-коммунальных услуг вызывают серьезное беспокойство граждан, а ситуация в сфере ЖКХ является постоянным источником социального напряжения (жилищно-коммунального хозяйства) – это деятельность, направленная на обеспечение прав и законных интересов граждан, предусмотренных жилищным законодательством, и повышение прозрачности, открытости и эффективности деятельности органов государственной власти, местного самоуправления, государственных и муниципальных организаций, осуществляющих деятельность в жилищной сфере [1]. К задачам общественного контроля в сфере ЖКХ относятся: сбор обращений граждан, мониторинг соблюдения прав и обязательных требований; документирование фактов нарушений; обобщение и анализ информации о нарушениях прав, о пожеланиях, нуждах и предпочтениях граждан, проблемах развития сферы ЖКХ.

Сегодня во всех субъектах РФ, в том числе и в Тамбовской области, созданы региональные центры общественного контроля в сфере ЖКХ, объединяющие в своем составе некоммерческие и профессиональные организации, осуществляющие защиту прав потребителей жилищно-коммунальных услуг. Центры на постоянной основе осуществляют мониторинг региональных программ переселения из аварийного жилья, региональных программ капитального ремонта, динамики повышения коммунальных платежей граждан после очередного повышения коммунальных тарифов, подготовки и прохождения осенне-зимнего отопительного периода. Кроме того, силами региональных центров проводятся мероприятия по обсуждению проектов федеральных и региональных нормативных правовых актов в сфере ЖКХ, обучающие мероприятия для потребителей жилищно-коммунальных услуг [2]. Субъектами общественного контроля в сфере ЖКХ могут быть: общественные палаты и общественные советы субъектов и муниципальных образований при органах исполнительной и законодательной власти; органы территориальных общественных самоуправлений (ТОС); общественные объединения и некоммерческие организации. Граждане участвуют в общественном контроле в качестве общественных инспекторов и общественных экспертов.

Целью развития системы общественного контроля в сфере ЖКХ является формирование благоприятной, неконфликтной среды для коммуникации всех участников рынка ЖКХ и выработка взаимоприемлемых решений имеющихся проблем. Направлениями деятельности в сфере ЖКХ являются:

- мониторинг качества предоставляемых потребителям жилищно-коммунальных услуг и соблюдение требований законодательства в жилищно-коммунальной сфере;
- фотомониторинг объектов строительства домов в целях размещения их на сайте Фонда содействия реформированию ЖКХ www.fondgkh.ru в новом интерактивном разделе «Прожектор общественности», в котором размещается информация о ходе реализации региональных адресных программ переселения граждан из аварийного жилья;
- потребительский рейтинг управляющих организаций по методике, разработанной Фондом «Институт экономики города»;
- участие в разработке и содействие в реализации программ по жилищному просвещению в регионе;
- консультирование потребителей услуг ЖКХ и предоставление адресной правовой поддержки;
- содействие привлечению внимания молодежи к отрасли ЖКХ как перспективной сфере приложения своих навыков и способностей.

Основанием сотрудничества и взаимодействия по вопросам управления многоквартирным домом между собственниками его помещений и управляющей организацией является договор управления (ч. 1.3. ст. 161–162 Жилищного кодекса РФ). Договор считается заключенным, если сторонами заключено соглашение по всем существенным условиям договора (п. 1. ст. 432 Гражданского кодекса). К таким условиям относятся, в том числе, перечень работ по содержанию общего имущества многоквартирного дома и их стоимость. Собственники помещений выступают заказчиками подобных услуг, а управляющая организация их исполнителем (ч. 2. ст. 162 Жилищного кодекса). Возникает взаимозависимость управляющей организации и собственников помещений, управляемых ей многоквартирных домов. Данная зависимость заключается в том, что если управляющая организация будет опираться только на свои интересы и не учитывать интересы жильцов, то ее услуги могут быть не востребованы на рынке труда, и она растеряет, управляемые ей жилищный фонд. А если собственники не захотят оплачивать услуги по содержанию в необходимом объеме, то их дом перестанет быть привлекательным объектом управления, им просто никто не захочет управлять.

Эти обстоятельства заставляют стороны договариваться, несмотря на разность интересов. При этом необходимо учитывать тот факт, что управляющую организацию выбирают собственники помещений. Таким образом, взаимодействие исполнителя (управляющей организации) с заказчиком (собственники жилья) должно основываться на принципах выполнения услуг с таким качеством, которое устраивает другую сторону, и она оплачивает услуги, тем самым приносит прибыль исполнителю. Но на практике, к сожалению, не все так получается. Причинами этого является пассивность собственников помещений и пробелы законодательства. Последнюю проблему государство пытается изменить принятием нормативно-правовых актов, таких как «Правила предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям жилых помещений в многоквартирных жилых домах», утв. постановлением Правительства от 06.05.2011 г. № 354 (ред. от 07.03.2025), «Правила содержания общего имущества в многоквартирном доме и правил изменения размера платы за содержание жилого помещения..», утв. постановлением Правительства РФ от 13.08.2006 г. (ред. от 07.03.2025 – действует с 01.09.2025) и др. Таким образом, несмотря на разность интересов, возможно достижение договоренности между собственниками помещений и управляющими организациями [1].

Кроме того, на современном этапе применяется система лицензирования и лицензионного контроля деятельности по управлению многоквартирными домами в Российской Федерации. В нормативных актах подробно регламентируются обязанности управляющих организаций, а также санкции за несоблюдение установленных требований. Однако в документах не определены обязанности собственников помещений многоквартирных жилых домов (далее МКД). Важнейшие вопросы управления МКД отнесены к компетенциям общих собраний собственников. Техническая процедура таких собраний нормативно определена, но решения по назревшим проблемам, в частности по вопросам установления тарифов на услуги управляющих организаций, часто не соответствует даже таким документам, как Минимальный перечень услуг и работ, необходимых для обеспечения надлежащего содержания общего имущества в МКД. Большинство собственников помещений не в курсе того, что перечень и тарифы на подобные услуги, порядок их оказания устанавливаются Правительством РФ. Поэтому необходима дополнительная разъяснительная работа, которая может входить в направления работы комиссий по общественному контролю. Подлежит разъяснению и положение о том, что согласно подпункту «в» п. 4 Правил осуществления деятельности по управлению многоквартирными домами, утвержденных Постановлением Правительства РФ от 15.05. 2013

№ 416, может устанавливаться более подробный перечень услуг управляющих организаций и увеличение их периодичности по результатам решений общих собраний собственников многоквартирных жилых домов, чем установлен в законодательстве РФ [2].

На кафедре теории и истории государства и права Юридического института ТГТУ в рамках проекта «Общественный жилищный контроль» студенты направления подготовки «Юриспруденция в сфере энергетики» и преподаватели под руководством председателя комиссии по вопросам жилищно-коммунального хозяйства, энергетики и благоустройства Общественной палаты Тамбовской области А. Н. Пронькиным участвуют в мероприятиях по общественному контролю организаций системы ЖКХ Тамбовской области. Предметом общественного контроля является мониторинг повышения экономической эффективности услуг, в том числе за счет применения энергосберегающих технологий, оптимизации производства и структуры управления, обеспечения доступности, прозрачности и полноты информации о формировании тарифов, дополнительных плат, взимаемых с собственников помещений в целях содержания и текущего ремонта общего имущества МКД.

Таким образом, указанные обстоятельства формируют специфическую правовую основу деятельности организаций, осуществляющих предпринимательскую деятельность по управлению многоквартирными домами. А главной задачей общественного контроля в ЖКХ является повышение правовой грамотности потребителей коммунальных услуг по вопросам защиты своих прав и, в конечном счете, преодоление кризиса доверия в сфере ЖКХ.

Библиографический список

1. Пронькин, А. Н. Правовые основы взаимодействия собственников помещений многоквартирных домов и организаций, осуществляющих деятельность по управлению такими домами / А. Н. Пронькин // Молодой ученый. – 2020. – № 45(335). – С. 161 – 163. – URL : <https://moluch.ru/archive/335/74727> (дата обращения: 2.11.2025).

2. Пронькин, А. Н. Лицензионный контроль деятельности по управлению многоквартирными домами, как основной фактор, определяющий правовое положение управляющих организаций в Российской Федерации // А. Н. Пронькин // 25 лет гражданскому кодексу Российской Федерации: традиции и новации частноправового развития : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (с элементом школы молодого ученого), Тамбов, 29–30 ноября 2019 года. – Тамбов : Принт-Сервис, 2019. – С. 228 – 235.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

А. Н. Грибков¹, Н. Г. Буранова²

¹ Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: GribkovAlexey@yandex.ru)

² Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,
Уральск, Республика Казахстан
(e-mail: nurslu_1986@mail.ru)

Разработка и практическое применение систем оптимального управления (СОУ) является одним из ключевых этапов процесса цифровой трансформации, который в настоящее время охватывает практически все отрасли современной промышленности, энергетику, транспорт, сферу жилищно-коммунального хозяйства и др. Современные цифровые системы мониторинга и управления позволяют значительно повысить эффективность функционирования объектов управления. Например, положительными эффектами от внедрения таких систем в теплоэнергетическом секторе являются: уменьшение потребления энергетических ресурсов; минимизация материальных затрат; повышение уровней безопасности; сокращение загрязнения окружающей среды и т.д.

При проектировании СОУ в теплоэнергетике необходимо учитывать, что большинство объектов управления (например, котельные, тепловые пункты, мини-ТЭЦ) с точки зрения автоматизации представляют собой сложные многосвязные объекты, имеющие множество взаимосвязанных входных и выходных параметров. Разработка алгоритмического и программного обеспечения СОУ такими объектами представляет собой сложную инженерную задачу, включающую элементы научного исследования.

Также при разработке СОУ необходимо учитывать, что в процессе реальной эксплуатации могут происходить изменения режимов работы основного и вспомогательного оборудования, значений параметров теплотехнологического процесса и окружающей среды, интенсивности возмущающих воздействий и т.д. Эти изменения могут оказывать значительное влияние на результат решения задачи оптимального управления (ЗОУ), поэтому при разработке алгоритмического обеспечения СОУ необходимо на этапах постановки и решения ЗОУ рассматривать их на множестве состояний функционирования (МСФ).

При описании ЗОУ на МСФ вводится дополнительная переменная h , которая обозначает текущее состояние функционирования. При этом $h \in H$,

где H – МСФ, т.е. множество возможных значений переменной h . В процессе реальной эксплуатации теплоэнергетических объектов изменение значения переменной h может происходить в случайные моменты времени. В зависимости от характера изменений переменной h и возможности ее идентификации на временном интервале управления $\Delta t = [t_0, t_k]$ выделяют четыре основных класса ЗОУ на МСФ [1].

В задачах, относящихся к первому классу, значение переменной состояния функционирования h известно до начала управления, и на временном интервале управления Δt это значение не меняется. ЗОУ на МСФ первого класса используются при проектировании алгоритмического обеспечения СОУ простыми аппаратами периодического действия, в которых изменения h происходят только между временными интервалами реализации управляющих воздействий.

ЗОУ на МСФ второго класса характеризуются тем, что значение переменной состояния функционирования h до начала управления неизвестно, и на временном интервале управления Δt оно остается постоянным. При этом значение h неизвестно и на временном интервале управления, но могут быть известны вероятности возможных значений переменной h . ЗОУ на МСФ второго класса находят практическое применение при разработке стохастических систем.

В задачах третьего класса значение переменной состояния функционирования h до начала управления известно, но на временном интервале управления оно может неоднократно изменяться, оставаясь при этом известным в каждый момент времени $t \in \Delta t$. ЗОУ на МСФ третьего класса могут успешно решаться СОУ, в составе которых имеются модули, обеспечивающие оперативную идентификацию текущего значения переменной состояния функционирования h [2].

ЗОУ на МСФ четвертого класса характеризуются тем, что значение переменной состояния функционирования h до начала управления может быть или известно, или неизвестно, и на временном интервале управления оно может неоднократно меняться, но при этом не может быть оперативно и точно идентифицировано. При решении ЗОУ четвертого класса могут применяться программные модули, позволяющие проводить имитационное моделирование возможных траекторий изменения переменной состояния функционирования h в процессе реальной эксплуатации.

Множество состояний функционирования H также включает в себя множество состояний работоспособности (надежности) основного и вспомогательного оборудования объекта управления H_p , которое содержит состояния с нормальной работоспособностью и с отказами отдельных элементов.

В множестве H можно выделить два подмножества:

- наиболее вероятных состояний функционирования H_v ;
- критических состояний функционирования H_k .

В подмножество H_v входят все состояния функционирования с нормальной работоспособностью оборудования, а в подмножество H_k – состояния с отказами оборудования. При разработке СОУ, обеспечивающих решение ЗОУ на МСФ, создается алгоритмическое обеспечение, в состав которого включаются алгоритмы управления для наиболее вероятных состояний $h \in H_v$, а также возможные алгоритмы и действия для критических состояний $h \in H_k$ [2].

Следует отметить, что в качестве факторов, влияющих на изменение значения переменной состояния функционирования h , в теплоэнергетических объектах могут учитываться изменения значений теплотехнологических параметров (температуры, давления, расхода и др.), также ряд иных факторов, влияющих на результаты решения ЗОУ и достижение цели управления. В общем случае МСФ формируется исходя из особенностей и условий функционирования конкретного объекта управления, режимов работы основного и вспомогательного оборудования.

Очевидно, что наиболее сложными с точки зрения разработки алгоритмического и программного обеспечения являются СОУ, обеспечивающие решение ЗОУ на МСФ, относящиеся к третьему и четвертому классам. Алгоритмическое обеспечение таких систем может включать достаточно сложные алгоритмы, построенные на методах теории оптимальных систем, искусственного интеллекта, принятия решений в условиях неопределенности и др.

Программное обеспечение СОУ теплоэнергетическими объектами может иметь в своем составе следующие компоненты: [3]

- подсистему управления знаниями и данными (база знаний и машина вывода, база данных и система управления ею);
- подсистему интерфейса (модуль ввода данных, модуль когнитивной графики, интегрированная среда разработки);
- комплекс программных модулей (идентификации моделей, анализа ЗОУ, синтеза управляющих воздействий, имитационного моделирования, идентификации текущего состояния функционирования и др.).

Практика разработки и практического применения СОУ, которые решают ЗОУ на МСФ, показала, что они являются весьма эффективными и надежными, так как обеспечивают безотказную работу объекта управления в различных режимах и производственных ситуациях [4].

Библиографический список

1. Муромцев, Ю. Л. Моделирование и оптимизация сложных систем при изменениях состояния функционирования / Ю. Л. Муромцев, Л. Н. Ляпин, О. В. Попова. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1992. – 164 с.
2. Грибков, А. Н. Структура программного обеспечения информационно-управляющих систем многомерными объектами на множестве состояний функционирования / А. Н. Грибков, И. А. Куркин // Новые информационные технологии в научных исследованиях : материалы XVIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязань : Рязанский государственный радиотехнический университет, 2013. – С. 244–245.
3. Грибков, А. Н. Информационно-управляющие системы многомерными технологическими объектами: теория и практика : монография / А. Н. Грибков, Д. Ю. Муромцев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 164 с.
4. Артемова, С. В. Информационная технология синтеза оптимальной структуры алгоритмического обеспечения системы энергосберегающего управления / С. В. Артемова, А. Н. Грибков // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 4. – С. 14 – 19.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕНЫ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

К. Н. Губарев, О. Н. Попов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: gubarev.81@inbox.ru)

В современных условиях быстрого технологического развития и изменчивой экономической конъюнктуры предприятия постоянно сталкиваются с необходимостью принятия стратегических решений относительно производственного оборудования. Решение о модернизации или замене оборудования должно основываться на комплексном анализе технических, экономических и стратегических факторов, а не только на первоначальной стоимости приобретения [1].

Физический износ представляет собой постепенную утрату оборудованием своих первоначальных технико-эксплуатационных свойств под воздействием производственного процесса и окружающей среды. Моральный износ характеризуется снижением стоимости оборудования вследствие появления более современных и эффективных аналогов (табл. 1).

1. Типы износа

Тип износа	Признаки	Методы оценки	Критерии решения
Физический износ до 30%	Незначительное снижение производительности, увеличение расходов на обслуживание	Техническое диагностирование, анализ отказов	Профилактическое обслуживание
Физический износ 30...60%	Заметное снижение точности, рост простоев, увеличение энергопотребления	Экспертная оценка, сравнительный анализ	Частичная модернизация
Физический износ свыше 60%	Критическое снижение надежности, высокие затраты на ремонт	Комплексная техническая экспертиза	Полная замена
Моральный износ I рода	Появление более дешевых аналогов с аналогичными характеристиками	Рыночный анализ, сравнение стоимости	Экономическая оценка целесообразности
Моральный износ II рода	Появление технологически превосходящих аналогов	Технико-экономическое сравнение	Модернизация или замена

При принятии решения о модернизации необходимо учитывать возможность интеграции нового оборудования или компонентов в существующую производственную систему. Ключевыми факторами являются совместимость интерфейсов, соответствие техническим стандартам, возможность автоматизации и цифровизации процессов.

При проведении модернизации оборудования необходимо следует учитывать не только стоимость приобретения, но и сопутствующие расходы на доставку, монтаж, наладку, обучение персонала и утилизацию старого оборудования. В общем виде капитальные вложения при модернизации имеют вид

$$K = K_{\text{об}} + K_{\text{эл.устр.}} + K_{\text{м}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{п.н.}},$$

где $K_{\text{об}}$ – стоимость оборудования, руб.; $K_{\text{эл.устр.}}$ – стоимость электротехнических устройств, руб.; $K_{\text{м}}$ – стоимость строительно-монтажных работ, 15% от стоимости оборудования, руб.; $K_{\text{пр}}$ – стоимость проектно-изыскательных работ, 10% от стоимости строительно-монтажных работ; $K_{\text{п.н.}}$ – стоимость пуско-наладочных работ, 3% от стоимости оборудования, руб.

Для получения наиболее полного представления об эффективности реализации проекта по модернизации производства современная практика требует системного подхода с использованием нескольких взаимодополняющих показателей (табл. 2) [2].

2. Показатели эффективности

Показатель	Назначение	Ограничения
<i>PI</i>	Эффективность использования капитала	Не учитывает масштаб
<i>NPV</i>	Абсолютная прибыльность	Сложно сравнивать разные проекты
<i>IRR</i>	Максимальная стоимость капитала	Проблемы с нестандартными потоками
Срок окупаемости	Оценка рисков и ликвидности	Игнорирует доходы после окупаемости

Индекс доходности (*PI*) – ключевой индикатор, который используется для оценки перспективности инвестиционного проекта, с точки зрения его потенциальной доходности.

Индекс доходности

$$PI = \sum_{j=0}^n \frac{P_j}{(1+i)^j} \bigg/ \sum_{j=0}^n \frac{I_j}{(1+i)^j},$$

где $P_j / (1+i)^j$ – дисконтированные доходы; i – ставка дисконтирования; $I_j / (1+i)^j$ – дисконтированные расходы.

Чистая приведенная стоимость (*NPV*) является одним из наиболее точных методов оценки экономической эффективности инвестиционных решений. Данный показатель позволяет сравнить текущую стоимость ожидаемых денежных потоков с размером первоначальных инвестиций.

Расчет чистой приведенной стоимости

$$NPV = \sum \frac{Pk}{(1+i)^n},$$

где Pk – денежные поступления за n лет; i – ставка дисконтирования.

Внутренняя норма доходности (*IRR*) представляет собой ставку дисконтирования, при которой *NPV* проекта равен нулю. Данный показатель позволяет определить максимально допустимую стоимость капитала для проекта.

Внутренняя норма доходности

$$IRR = -1 + \sqrt[N]{\frac{\sum_{T=1}^N IS_T}{IS}},$$

где N – число расчетных периодов; IS_T – величина инвестиций каждого периода; IS – общее число инвестиций.

Простой срок окупаемости показывает время, необходимое для возмещения первоначальных инвестиций за счет генерируемых денежных потоков.

Дисконтированный срок окупаемости учитывает изменение стоимости денег во времени.

Предприятие рассматривает возможность модернизации оборудования, используемого для термической обработки деталей, эксплуатируемого более 16 лет. В настоящее время избыточная теплота, образующаяся в процессе термообработки деталей, сбрасывается непосредственно в производственное помещение, что приводит к повышению температуры в производственном помещении, вследствие чего нарушаются условия труда и эксплуатации оборудования. Нарушение условий эксплуатации оборудования привело к критическому снижению надежности, заключающемуся в заметном снижении точности, росте простоев и увеличении энергопотребления.

Для повышения эффективности процесса термообработки деталей предлагается заменить существующую систему охлаждения вакуумных камерных электропечей на чиллеры с воздушными выносными конденсаторами. С технической точки зрения реализация предложенного мероприятия по модернизации производства позволит отводить избыточную теплоту на улицу, а не как ранее в производственное помещение, что в свою очередь позволит использовать оборудование в соответствии с правилами эксплуатации.

Чтобы оценить предложенное мероприятие с экономической точки зрения, был выполнен финансовый анализ, в процессе выполнения которого были определены основные экономические показатели, дающие представление об эффективности предложенного решения. Результат выполненного анализа представлен в табл. 3.

Проведенная оценка экономических показателей предложенного мероприятия по замене оборудования показала, что:

- внутренняя норма доходности 40,23%, что больше, чем рассматриваемая ставка дисконтирования в 8,9%;
- индекс доходности инвестиций 6,07 без учета дисконтирования и 3,28 с учетом дисконтирования, что больше нормативного значения, равного 1,0;
- текущая ценность суммарной прибыли от мероприятия составит 16,8 млн руб., так как величина положительна, то инвестиции в проект экономически эффективны;
- дисконтированный срок окупаемости предложенного мероприятия по повышению эффективности процесса термообработки деталей составляет 2,9 года, при этом учитывалось, что планируется эксплуатировать данную систему охлаждения 15 лет.

В целом, несмотря на то, что инвестиции в реализацию данного мероприятия являются долгосрочными, мероприятие является экономически эффективным.

3. Экономические показатели эффективности предложенного мероприятия

Наименование показателей	Размерность	Величина
Капиталовложения в мероприятие, в том числе:		
стоимость оборудования	руб.	5 874 712
стоимость электротехнических устройств	руб.	340 802
стоимость строительно-монтажных работ	руб.	881 207
стоимость проектно-изыскательных работ	руб.	88 121
стоимость пуско-наладочных работ	руб.	176 241
Стоимость электроэнергии	кВт·ч/руб.	8,0
Годовое потребление электроэнергии	кВт·ч/год	230 400
Затраты на электроэнергию	руб./год	1 843 200
Годовая стоимость реализуемой продукции	руб./год	8 371 704
Чистый дисконтированный доход	млн руб.	16,802
Индекс доходности	–	3,28
Внутренняя норма доходности	%	40,23
Простой срок окупаемости	год	2,5
Динамический срок окупаемости	год	2,9

Библиографический список

1. Велижанская, С. С. Пути повышения эффективности производства / С. С. Велижанская // Планово-экономический отдел. – 2019. – № 7. – С. 37 – 48.
2. Измайлова, А. С. Экономическая оценка инвестиций : учебное пособие / А. С. Измайлова. – Новотроицк : НФ НИТУ «МИСиС», 2017. – 149 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Е. А. Дегтярев, О. Н. Попов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: ya.deg2012@yandex.ru)

Повышение эффективности производства электроэнергии на тепловых электростанциях представляет собой одну из приоритетных задач в контексте энергосбережения и рационального использования топливно-энергетических ресурсов. В современной энергетике России основная доля электроэнергии вырабатывается на ТЭС, использующих классические паротурбинные установки, эффективность которых, как правило, не превышает 35...40%. В связи с этим в последние годы особое внимание уделяется модернизации действующих мощностей, а также проектированию и сооружению новых энергоблоков, основанных на применении газотурбинных и парогазовых технологий [1].

На рисунке 1 показана принципиальная схема парогазовой установки с использованием газопоршневого двигателя. В газопоршневом двигателе 1 при сгорании газозоудной смеси вырабатывается механическая работа, передаваемая электрогенератору 2. Выхлопные газы направляются в котел-утилизатор 5 и, проходя через пароперегреватель (ПП), испаритель (ИСП), экономайзер (ЭК) и газовый подогреватель сетевой воды (ГПСВ), отдают тепло паровому контуру, после чего выбрасываются в окружающую среду.

В процессе работы двигателя образуется значительное отходящее тепло. Его отведение осуществляется водой, подаваемой насосом 3 и далее поступающей в водяной теплообменный аппарат 13, а также маслом, которое циркулирует через насос 4 и охлаждается в теплообменнике 14. Тепло, снятое в этих теплообменниках, передается потребителю, циркуляция у которого поддерживается насосом 12. Избыточное тепло сбрасывается в резервный контур охлаждения через чиллер 20.

Сырая вода подается насосом 16 в систему химводоочистки 15, затем смешивается с обратным потоком от потребителя и поступает в деаэратор 10 для удаления воздуха. После насоса 9 вода проходит экономайзер, поступает в барабан (Б) и испаритель, где превращается в пар. Пар после сепарации в барабане направляется в пароперегреватель, доводится до требуемых параметров и подается на вход паровой турбины 6.

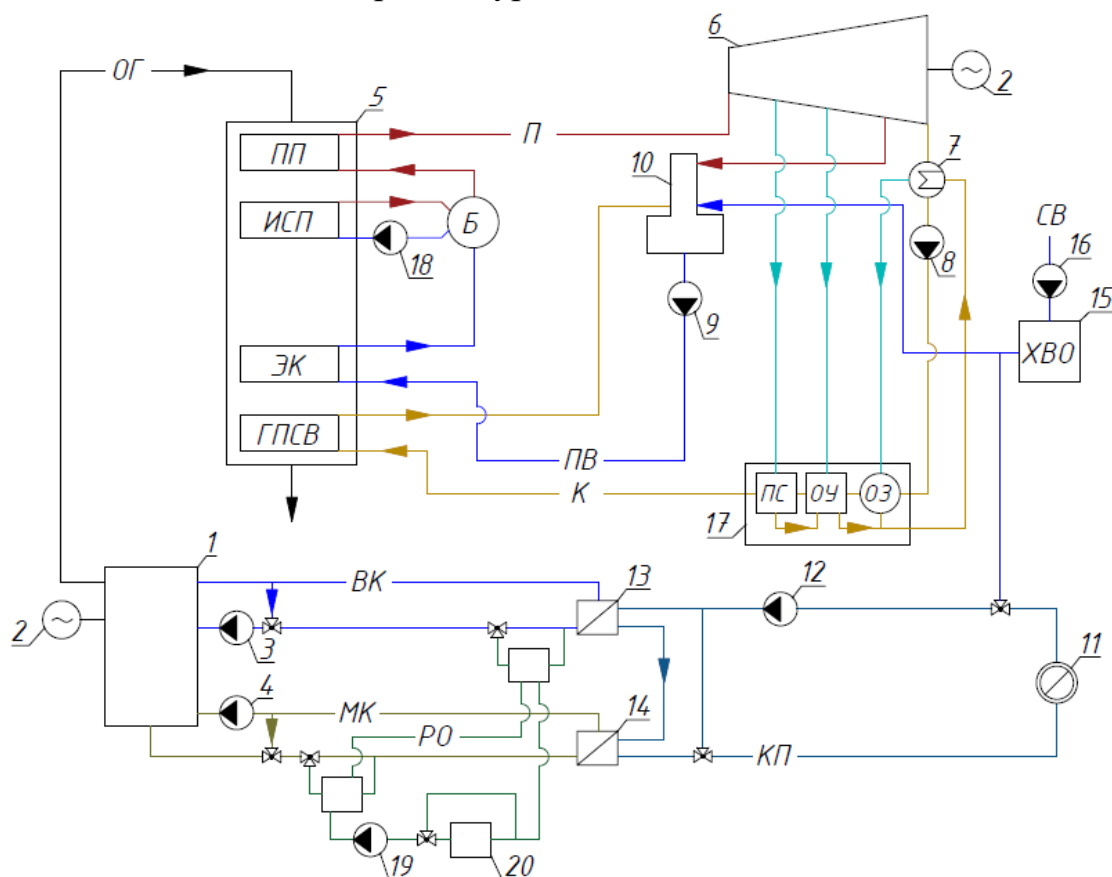


Рис. 1. Принципиальная схема ПГУ

В турбине пар совершает работу на валу генератора 2, затем конденсируется в конденсаторе 7. Конденсат через насос 8 подается во вспомогательные теплообменники 17, где догревается от отборов пара турбины и направляется в ГПСВ, а затем вновь в деаэратор 10. Более подробно принцип работы описан в работе [2].

Цикл ПГУ представляет собой бинарный цикл и состоит из газового цикла, занимающего область высоких температур, и парового, находящегося в области низких. Такое решение позволяет совместить высокотемпературный подвод и низкотемпературный отвод теплоты, характерные, соответственно, для газовых и паровых установок, тем самым позволяя использовать тепло отходящих высокотемпературных газов и увеличивая общий термический КПД.

Цикл работы парогазовой установки на базе газопоршневого двигателя показан на рис. 2. Процесс 1–2 показывает сжатие рабочего тела, точка 1 характеризует его состояние на момент окончания впуска, а точка 2, соответственно, в конце сжатия. Процесс 2–3 показывает процесс горения топливовоздушной смеси с последующим расширением газов по линии 3–4. Процесс 4–5 показывает изменение удаляемых из ДВС газов в котле-утилизаторе. Точка 5 характеризует параметры газов, удаляемых из цилиндра в условном процессе 5–1.

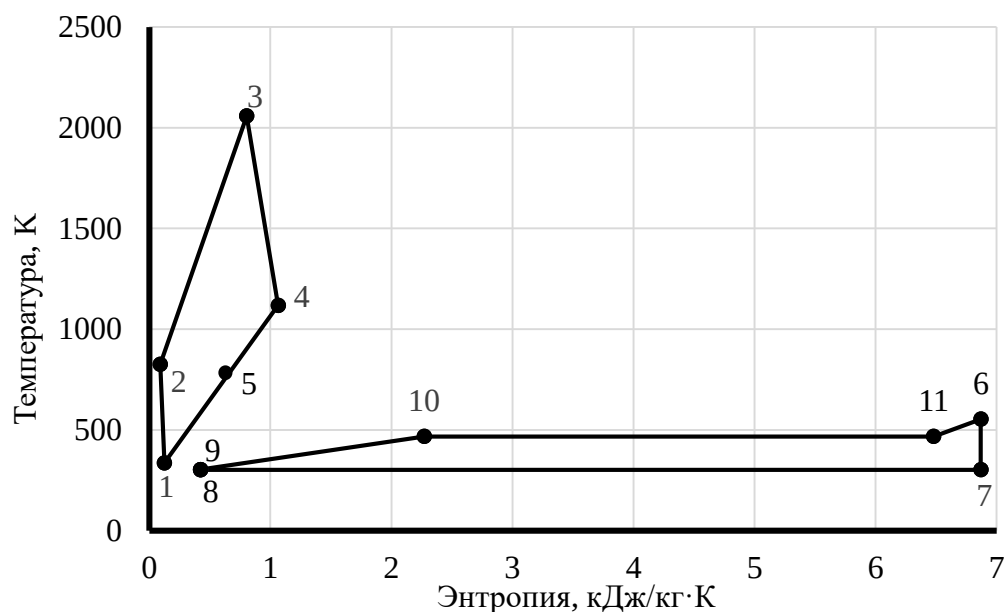


Рис. 2. Цикл установки в Ts -координатах

Процесс 6–7 показывает расширение перегретого пара, точка 6 характеризует его состояние после пароперегревателя, а точка 7, соответственно, после турбины. Линия 7–8 показывает конденсацию отработавшего пара до параметров в точке 8 перед водяным экономайзером. В процессе 8–9 происходит повышение давления рабочего тела в насосе. Процесс 9–10 характеризует подог-

грев воды до состояния насыщения в водяном экономайзере с последующим испарением в процессе 10–11. Далее происходит перегрев пара по линии 11–6 до его состояния перед турбиной.

Для анализа цикла необходимо определить параметры рабочего тела в ключевых точках: перед и после впуска рабочего тела, до и после его расширения в ДВС, на входе и выходе теплообменников котла-утилизатора, после паровой турбины. Результат расчета параметров цикла в характерных точках приведен в табл. 1.

Значения, приведенные в табл. 1, являются базой для дальнейшего анализа эффективности разрабатываемой установки.

Термический КПД ПГУ определяется работой, совершенной в газопоршневой и паротурбинной части установки, и подведенной теплотой:

$$\eta_t^{\text{ПГУ}} = \frac{m_n \cdot l^{\text{ПГУ}} + l^{\text{ДВС}}}{q_1^{\text{ДВС}}}, \quad (1)$$

где m_n – кратность циркуляции бинарного цикла, определяется из уравнения теплового баланса котла-утилизатора; $l^{\text{ПГУ}}$, $l^{\text{ДВС}}$ – удельные значения полезной работы, кДж/кг, полученной в цикле ПТУ и ДВС соответственно; $q_1^{\text{ДВС}}$ – теплота, подведенная в ДВС, кДж/кг.

1. Параметры в характерных точках бинарного цикла

№ узловой точки	Термодинамические параметры			
	P , МПа	T , К	h , кДж/кг	s , КДж/(кг·К)
1	0,14	335,85	337,5	0,12
2	4,12	825,38	829,5	0,09
3	10,28	2058,15	2068,4	0,8
4	0,46	1117,89	1123,5	1,06
5	0,12	750	753,75	1,03
6	1,4	553,15	2996	6,87
7	0,004	302,11	2071,1	6,87
8	0,004	302,11	121,4	0,422
9	1,4	302,15	122,8	0,422
10	1,4	467,01	824,8	2,27
11	1,4	467,01	2788,1	6,48

Основываясь на Ts -диаграмме, выражение (1) можно представить в следующем виде:

$$\eta_t^{\text{ПГУ}} = \frac{\frac{(h_4 - h_5)}{(h_6 - h_9)} \cdot ((h_6 - h_7) - (h_9 - h_8)) + ((h_3 - h_2) - (h_5 - h_1))}{(h_3 - h_2)}. \quad (2)$$

КПД ПГУ можно определить через КПД отдельных ее элементов [2]:

$$\eta_t^{\text{ПГУ}} = \eta^{\text{ДВС}} + (1 - \eta^{\text{ДВС}}) \cdot \eta^{\text{КУ}} \cdot \eta^{\text{ПГУ}}. \quad (3)$$

По определенным и представленным в табл. 1 значениям энтальпии вычислено значение КПД парогазовой установки, составившее 76,0%. Таким образом, использование газопоршневого двигателя в схеме утилизационной парогазовой установки позволяет существенно повысить эффективность генерации энергии по сравнению с существующими установками.

Библиографический список

1. Боруш, О. В. Парогазовые установки : учебное пособие / О. В. Боруш, О. К. Григорьева. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. – 64 с.
2. Злобин, М. Д. Парогазовая установка на основе газопоршневого двигателя / М. Д. Злобин, О. Н. Попов // Цифровая трансформация в энергетике : материалы Шестой Междунар. науч. конф. – Тамбов, 2025. – С. 38 – 40.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА СОБСТВЕННОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКИ

Е. А. Дегтярев, А. А. Шитиков, Н. А. Колядин

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: ya.deg2012@yandex.ru)*

На сегодняшний день на многих предприятиях задумываются о целесообразности приобретения собственного источника генерации энергии в качестве альтернативы или дополнения к существующей системе энергоснабжения [1 – 3]. Собственный источник генерации энергии – это гарантированная защита от производственных проблем, вызванных перебоями в энергоснабжении [4]. Одним из ключевых критериев анализа рациональности применения собственного источника генерации является финансовая сторона вопроса: ввиду высо-

кой стоимости электроустановки необходимо учесть влияние принятого решения на бюджет предприятия и дальнейшие перспективы развития.

На основании собранной информации и рекомендаций специалистов был произведен расчет окупаемости мини-ТЭЦ на основе газопоршневого двигателя внутреннего сгорания модели 20V35/44G фирмы *MAN Diesel & Turbo*, предлагаемой для внедрения на промышленном предприятии. Технические характеристики 20V35/44G указаны в табл. 1.

1. Характеристики двигателя 20V35/44G

Параметр	Значение
Диаметр/ход поршня, мм	350/440
Рабочий объем цилиндра, л	42,3
Расстояние между цилиндрами, мм	630
Угол развала цилиндров, °	55
Частота вращения, об/мин	750
Мощность на цилиндр, кВт	530
Среднее эффективное давление, МПа	2
Номинальная мощность, кВт	10 600
Средняя скорость поршня, м/с	11
Эффективный КПД двигателя, %	48,4

При расчете себестоимости производимой энергии необходимо учитывать не только цены на заводе-изготовителе, а реальную стоимость запасных частей, расходы на доставку, монтаж, наладку и т.д. Важно не забыть включить все основные категории затрат при определении полной себестоимости и дальнейшем расчете окупаемости собственного источника.

В основу расчета также положены данные, представленные в табл. 2.

2. Исходные данные

Параметр	Значение
Стоимость 1 кВт·ч ЭЭ, руб.	8,0
Стоимость 1000 нм ³ /ч газа, руб.	8003,35
Стоимость 1 л масла, руб.	900
Количество рабочих м.ч. за 1 год	8000
Полная стоимость строительства мини-ТЭЦ, руб.	673 096 600
Периодичность замены масла, м.ч.	2500
Тепловая мощность, кВт	8332
Объем газа, необходимый для получения 8332 кВт энергии, нм ³	973

На первом этапе необходимо выполнить расчет финансовых затрат на топливо. Расход газа для рассматриваемой мини-ТЭЦ мощностью 10 335 кВт составляет 3096 м³ в час на 100%-ной нагрузке.

$$З_{\text{топ}} = \frac{V_{\text{г}} \cdot C_{\text{г}}}{1000 \cdot N_{\text{ГПУ}}} = \frac{3096 \cdot 8003,35}{1000 \cdot 10335} = 2,40 \text{ руб./}(кВт \cdot ч).$$

где $V_{\text{г}}$ – расход газа, м³/ч; $C_{\text{г}}$ – стоимость 1000 м³/ч газа, руб.; $N_{\text{ГПУ}}$ – мощность мини-ТЭЦ, кВт.

Так как в процессе эксплуатации необходимо проведение регулярных технических обслуживаний, нужно учесть их стоимость в общем сроке окупаемости. Частью затрат на техническое обслуживание являются затраты на замену масла, в газопоршневой установке замену масла проводят каждые 2500 моточасов. Объем масла на замену в рассматриваемой установке составляет 2120 л.

$$З_{\text{з.м.}} = \frac{V_{\text{зам. масла}} \cdot C_{\text{л масла}}}{T_{\text{зам}} \cdot N_{\text{ГПУ}}} = \frac{2120 \cdot 900}{2500 \cdot 10335} = 0,07 \text{ руб./}(кВт \cdot ч).$$

где $V_{\text{зам. масла}}$ – объем заменяемого масла, м³; $T_{\text{зам}}$ – периодичность замены масла, моточасов; $C_{\text{л масла}}$ – стоимость 1 л масла, руб.

В процессе эксплуатации любой установки на основе двигателя внутреннего сгорания приходится сталкиваться с необходимостью пополнения масла, потраченного за счет его угара в камере сгорания. Расчетное количество масла на угар составляет 0,36 г на каждый выработанный кВт·ч.

$$З_{\text{у.м.}} = \frac{V_{\text{угар}} \cdot C_{\text{л масла}}}{1000} = \frac{0,36 \cdot 900}{1000} = 0,32 \text{ руб./}(кВт \cdot ч),$$

где $V_{\text{угар}}$ – объем заменяемого масла, м³.

Затраты на запасные части, включая капитальный ремонт. При расчете учитывается сумма всех запасных частей, заменяемых на протяжении всего жизненного цикла с учетом капитального ремонта. Для рассматриваемой станции стоимость всех запасных частей составляет 194,6 млн руб.

$$З_{\text{кап.рем.}} = \frac{C_{\text{рег. работ}}}{T_{\text{кап.рем.}} \cdot N_{\text{ГПУ}}} = \frac{194575000}{60000 \cdot 10335} = 0,31 \text{ руб./}(кВт \cdot ч),$$

где $C_{\text{рег. работ}}$ – стоимость регламентных сервисных работ, руб.; $T_{\text{кап.рем.}}$ – периодичность капитального ремонта, ч.

Финансовые затраты на регламентные сервисные работы составляют сумму в размере 36,55 млн руб.

$$Z_{\text{сервис}} = \frac{C_{\text{рег. работ}}}{T_{\text{кап.рем.}} \cdot N_{\text{ГПУ}}} \frac{36550000}{60000 \cdot 10335} = 0,06 \text{ руб./}(\text{кВт} \cdot \text{ч}),$$

где $C_{\text{рег. работ}}$ – стоимость регламентных сервисных работ, руб.

Так же необходимо учесть затраты, обусловленные налогом на имущество, которые определяются по выражению

$$Z_{\text{н}} = \frac{C_{\text{ГПУ}} \cdot 2,2}{100 \cdot N_{\text{ГПУ}} \cdot T_{\text{ч}}} = \frac{673096600 \cdot 2,2}{100 \cdot 10335 \cdot 8000} = 0,18 \text{ руб./}(\text{кВт} \cdot \text{ч}),$$

где $C_{\text{ГПУ}}$ – полная стоимость мини-ТЭЦ, руб.; $T_{\text{ч}}$ – количество рабочих часов в году, ч.

Амортизационные отчисления

$$Z_{\text{ам}} = \frac{C_{\text{ГПУ}}}{T_{\text{кап.рем.}} \cdot N_{\text{ГПУ}}} = \frac{673096600}{10335 \cdot 240000} = 0,27 \text{ руб./}(\text{кВт} \cdot \text{ч}),$$

где $T_{\text{кап.рем.}}$ – периодичность трех капитальных ремонтов, 240 000 моточасов.

Параллельно с выработкой электрической энергии электростанция производит выработку тепловой энергии. Для учета возможности использования вырабатываемой станцией тепловой энергии вводится тепловая поправка

$$\mathcal{E}_{\text{тепл}} = \frac{V_{\text{г.т.}} \cdot C_{\text{г}}}{N_{\text{ГПУ}} \cdot 1000} = \frac{973 \cdot 8003,35}{10335 \cdot 1000} = 0,75 \text{ руб./}(\text{кВт} \cdot \text{ч}),$$

где $V_{\text{г.т.}}$ – объем газа, необходимый для получения тепловой энергии, нм^3 .

Себестоимость станции складывается из суммы всех затрат на производство энергии и экономии средств за счет утилизации тепла:

– без учета утилизируемого тепла

$$C_1 = 2,40 + 0,07 + 0,32 + 0,31 + 0,06 + 0,18 + 0,27 = 3,61 \text{ руб./}(\text{кВт} \cdot \text{ч});$$

– с учетом утилизируемого тепла

$$C_2 = C_1 - \mathcal{E}_{\text{тепл}} = 3,61 - 0,75 = 2,86 \text{ руб./}(\text{кВт} \cdot \text{ч}).$$

Вычислим разность между стоимостью электрической энергии, покупаемой у энергоснабжающей организации, и электрической энергии собственного производства:

- без учета утилизации тепла

$$\Delta C_1 = C_{\text{пок}} - C_1 = \Delta C_1 = 8,0 - 3,61 = 4,69 \text{ руб./}(\text{кВт}\cdot\text{ч});$$

- с учетом утилизируемого тепла

$$\Delta C_2 = C_{\text{пок}} - C_2 = 8,0 - 2,86 = 5,14 \text{ руб./}(\text{кВт}\cdot\text{ч}).$$

Тогда экономия при равномерной полной загрузке мощностей в год

$$\mathcal{E} = N_{\text{ГПУ}} \cdot (\Delta C_1 \cdot T_{\text{ч.э.}} + \Delta C_2 \cdot T_{\text{ч.т.}})$$

$$\mathcal{E} = 10335 \cdot (4,69 \cdot 3320 + 5,14 \cdot 4680) = 409,5 \text{ млн руб./год.}$$

Срок окупаемости мини-ТЭЦ

$$T = C_{\text{ГПУ}} / \mathcal{E} = 673,1 / 409,5 = 1,6 \text{ года.}$$

Как видно из приведенных расчетов, наибольшее влияние на итоговый срок окупаемости оказывают затраты на техническое обслуживание. При выполнении расчетов необходимо помнить, что некоторые производители указывают не реальные данные по обслуживанию, а некие теоретические максимумы, которые достижимы только в идеальных условиях эксплуатации.

Библиографический список

1. Чубаров, Р. Ю. Перспективы развития когенерации в России / Р. Ю. Чубаров, О. Н. Попов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов, 2020. – С. 154–155.
2. Злобин, М. Д. Парогазовая установка на основе газопоршневого двигателя / М. Д. Злобин, О. Н. Попов // Цифровая трансформация в энергетике : материалы VI Междунар. науч. конф. – Тамбов, 2025. – С. 38 – 40.
3. Чубаров, Р. Ю. Оценка эффективности применения газотурбинной установки НК-16СТ в системе энергоснабжения / Р. Ю. Чубаров, М.Д. Злобин, О. Н. Попов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов, 2021. – С. 117–118.
4. Жуков, Н. П. Котельные установки. Паровые котлы : учебник / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, О. Н. Попов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 80 с.

ЭВОЛЮЦИЯ БАВР В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ

К. Б. Дорофеев, В. И. Зацепина

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: kirilldorofeev014@gmail.com)*

Надежность электроснабжения промышленных объектов остается одним из ключевых факторов обеспечения бесперебойного технологического процесса. В этих условиях системы быстродействующего автоматического ввода резерва (БАВР) играют критически важную роль, позволяя минимизировать длительность перерывов питания при кратковременных нарушениях в питающей сети [1, 2]. Согласно ПУЭ [1], применение автоматики резервирования является обязательным для большинства категорий потребителей.

С развитием цифровых технологий требования к БАВР эволюционировали: от простой логики переключения резерва – к интеллектуальной, самоадаптирующейся системе, способной интегрироваться в общую архитектуру промышленной автоматизации. Цифровая трансформация ставит новые задачи: обеспечить не только быстродействие и селективность, но и открытость, кибербезопасность и поддержку современных протоколов связи [6, 7].

Исторически первые системы БАВР строились на базе электромеханических реле. Такие решения отличались простотой и высокой помехоустойчивостью, однако обладали низкой чувствительностью и отсутствием диагностики [3]. С появлением микропроцессорных терминалов начался качественный скачок: высокое быстродействие (до 10...20 мс), самодиагностика, регистрация событий [4]. Однако многие системы страдали от коммерческой тайны и сложности интеграции в общую архитектуру управления [3].

Современный этап развития БАВР связан с использованием программируемых логических контроллеров (ПЛК) и стандарта IEC 61131-3 [5]. Язык лестничных диаграмм (LD), унаследованный от релейной логики, остается наиболее востребованным благодаря своей интуитивной понятности для инженеров-электриков [5]. Программа на LD визуально напоминает электрическую схему: две вертикальные шины питания, между которыми располагаются цепи с нормально-разомкнутыми и нормально-замкнутыми контактами, а также обмотками реле. Логические операции «И» и «ИЛИ» реализуются последовательным и параллельным соединением контактов соответственно [5].

В то же время современные ПЛК позволяют использовать и другие языки программирования (Structured Text, Function Block Diagram), а также интегрировать функциональные блоки, реализующие алгоритмы на основе нейросетей

или локальных составляющих сигнала [8]. Это расширяет возможности БАВР за счет адаптивной логики и распознавания аварийных режимов.

Цифровая трансформация предполагает не только «умную» автоматику, но и ее взаимодействие с другими уровнями системы: от датчиков до облачных платформ. Современные ПЛК и микропроцессорные терминалы оснащаются интерфейсами Ethernet и поддерживают протоколы OPC UA, MQTT, Modbus-TCP, что позволяет включать БАВР в архитектуру Промышленного Интернета вещей (IIoT) [6].

Такая интеграция дает возможность не только визуализировать состояние системы в реальном времени, но и осуществлять прогнозную диагностику, анализировать исторические данные для оптимизации уставок и предотвращать ложные срабатывания. Однако вместе с этим возрастают требования к электромагнитной совместимости (ЭМС) и кибербезопасности. Как отмечается в работе [7], микропроцессорные устройства особенно уязвимы к импульсным помехам, что требует строгого соблюдения норм ГОСТ 32144–2013 [2] и применения экранирования, фильтрации и гальванической развязки.

Перспективным направлением является использование генеративного искусственного интеллекта (Gen-AI) для автоматической генерации логики БАВР на основе типовых схем и требований технического задания [6]. Это особенно актуально для начинающих инженеров и при массовом развертывании решений на промышленных объектах.

Эволюция БАВР от электромеханических реле к интеллектуальным цифровым платформам отражает общий тренд энергетики – переход к гибким, адаптивным и связанным системам. При этом ядро функциональности – обеспечение бесперебойного электроснабжения – остается неизменным. Современные решения не просто заменяют старые, а дополняют их новыми возможностями: диагностикой, самонастройкой, интеграцией в IIoT и потенциалом для использования методов искусственного интеллекта. В ближайшей перспективе ключевыми направлениями станут дальнейшая стандартизация, повышение киберустойчивости и развитие гибридных подходов к моделированию и верификации логики БАВР.

Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд., с изм. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2023.
2. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Электромагнитная совместимость в низковольтных системах электроснабжения. Нормы качества элект-

трической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014.

3. Шевелева, А. В. Электромеханическое реле или микропроцессорные устройства релейной защиты – плюсы и минусы / А. В. Шевелева // Прогрессивные технологии и процессы : сб. науч. ст. – 2015. – С. 88 – 92.

4. Зубков, Д. В. Анализ особенностей микропроцессорных устройств релейной защиты / Д. В. Зубков, П. С. Пинчуков // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – Хабаровск, 2019. – Т. 1. – С. 62 – 66.

5. Язык релейных диаграмм LD (Ladder diagram) и его применение // Электрик Инфо. – URL : <https://electrik.info/main/automation/1298-yazyk-releynyh-diagramm-ld-i-ego-primenenie.html>

6. Будущее ПЛК: новый этап развития базовой платформы автоматизации // ElectricalSchool.info. – URL : <https://electricalschool.info/automation/3119-buduschee-plk-novyy-etap-razvitiya.html>

7. Звездкин, З. В. Электромагнитная совместимость микропроцессорных устройств релейной защиты в условиях функционирования современной энергетики / З. В. Звездкин, П. С. Пинчуков // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – Хабаровск, 2018. – Т. 1. – С. 237 – 241.

8. Макашкин, Ф. А. Нейросетевой классификатор как основной орган быстродействующего автоматического ввода резерва / Ф. А. Макашкин, А. Н. Маслов // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике : материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф., Чебоксары, 2022. – Чебоксары, 2022. – С. 134 – 137.

ТЕПЛОВЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПОДМЕШИВАНИИ ХОЛОДНОЙ ВОДЫ В СИСТЕМУ ГВС МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА

Н. А. Едренкин, Т. Г. Мануковская

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: nicotaedryonkin@gmail.com, rw3gl@inbox.ru)*

Централизованные системы горячего водоснабжения (ГВС) являются неотъемлемой частью инженерной инфраструктуры современных многоквартирных домов (МКД). Одной из ключевых задач эксплуатации таких систем

является обеспечение стабильной температуры горячей воды на водоразборных точках. На практике при эксплуатации систем ГВС часто наблюдается явление подмешивания холодной воды, вызванное нарушением гидравлического баланса, неисправностью запорной арматуры или неправильной регулировкой циркуляции. Подмешивание холодной воды в систему горячего водоснабжения приводит к снижению температуры в стояках, росту тепловых потерь и ухудшению санитарно-гигиенических показателей. Целью данного исследования является определение тепловых и гидравлических особенностей функционирования системы ГВС при подмешивании холодной воды в условиях многоквартирного дома высотного типа.

Согласно нормативным требованиям [1] к температурному режиму системы ГВС, по которому температура горячей воды у водоразборных точек должна составлять: не менее 60 °С при централизованном тепловом снабжении, не менее 50 °С при автономных источниках нагрева – отклонение температуры не должно превышать ± 3 °С в дневное и ± 5 °С в ночное время. Подмешивание холодной воды в циркуляционный контур ГВС чаще всего происходит через неисправные смесительные узлы, обратные клапаны или при неравномерности гидравлических сопротивлений, что приводит к нарушению температурного баланса и снижению энергоэффективности, а также из-за неправильного подключения водонагревателей в период отключения горячей воды потребителями [2].

При подмешивании холодной воды температура смеси определяется уравнением теплового баланса:

$$t_{\text{см}} = \frac{G_{\text{Г}}t_{\text{Г}} + G_{\text{Х}}t_{\text{Х}}}{G_{\text{Г}} + G_{\text{Х}}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{см}}$ – температура полученной смеси, °С; $t_{\text{Г}}$ – температура горячей воды, °С; $t_{\text{Х}}$ – температура холодной воды, °С; $G_{\text{Г}}$, $G_{\text{Х}}$ – массовые расходы горячей и холодной воды соответственно, кг/с.

В таблице 1 приведены данные для определения температуры воды после подмешивания холодной воды в систему горячего водоснабжения.

Расчеты проводили по формуле (1) при разных долях подмешивания холодной воды. Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, уже при подмешивании 20...30% холодной воды в систему ГВС температура горячей воды снижается ниже нормативных значений – 50 °С, что недопустимо по нормативным требованиям.

1. Исходные данные для расчета температуры смеси

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Температура горячей воды на подаче	t_{Γ}	60	°C
Температура холодной воды	t_x	15	°C
Удельная теплоемкость	c	4180	Дж/(кг·°C)
Массовый расход горячей воды	G_{Γ}	1,0	кг/с
Массовый расход холодной воды	x	0,1...0,5	кг/с

2. Расчет температуры смеси

№	Доля подмешивания холодной воды	Температура смеси, °C
1	0,1	53,4
2	0,2	49,9
3	0,3	48,5
4	0,4	46,6
5	0,5	43,4

Гидравлический расчет проводили для стояка системы ГВС высотой 17 этажей. Высота одного этажа принимается $h = 3,0$ м, тогда общая длина стояка составит $L = 51$ м. Диаметр трубопровода стояка принимаем $D = 0,025$ м, скорость потока $w = 0,7$ м/с.

Для расчета коэффициента сопротивления при турбулентном режиме используется формула Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}} = \frac{0,3164}{1,75 \cdot 10^4} = 0,027,$$

$$\text{где } \text{Re} = \frac{wD}{\nu} = \frac{0,7 \cdot 0,025}{1,0 \cdot 10^{-6}} = 1,75 \cdot 10^4.$$

Гидравлические потери давления (Па) в трубопроводе определяются по формуле

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho w^2}{2} = 0,027 \frac{51}{0,025} \frac{1000 \cdot 0,7^2}{2} = 13,5 \text{ кПа}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления; L – длина трубопровода, м; D – диаметр трубопровода, м; ρ – плотность воды, кг/м³; w – средняя скорость потока, м/с.

Таким образом, гидравлические потери давления в трубопроводе составили $\Delta P = 13,5$ кПа, что находится в пределах допустимого для систем ГВС (до 40 кПа).

Проведенный анализ и расчеты показали, что подмешивание холодной воды в циркуляционный контур ГВС приводит не только к снижению температуры горячей воды, но и к изменению гидравлического режима системы. При увеличении длины или снижении диаметра трубопровода наблюдается рост гидравлических потерь и повышение вероятности подмеса.

Даже при незначительном подмешивании холодной воды (10...15%) от расхода горячей воды температура на выходе снижается на 4...6 °С. При 30% и более температура падает ниже санитарно допустимых нормативных значений (50 °С), что приводит к дискомфорту потребителей и нарушению санитарно-гигиенических требований.

Гидравлический расчет, проведенный в соответствии с работой [4], показал, что для стояков высотой более 50 м и диаметром 25 мм потери давления составляют 13,5 кПа, что соответствует допустимому диапазону. Однако при наличии неуровновешенных участков и локальных сопротивлений (задвижки, тройники, запорная арматура) возможны неравномерности циркуляции, из-за чего часть стояков работает в режиме застойных зон.

Таким образом, при проектировании и эксплуатации систем ГВС многоквартирных жилых домов с большой этажностью необходимо учитывать возможное влияние подмешивания холодной воды и контролировать ее расход с помощью автоматических устройств.

Выводы. Подмешивание холодной воды в систему ГВС в многоквартирных жилых домах приводит к снижению температуры воды в стояках и нарушению теплового баланса.

В результате подмешивания более 20% холодной воды температура смеси снижается ниже нормативных значений (50 °С), что подтверждается расчетами.

Потери давления в стояках высотных зданий составляют 25...30 кПа и требуют балансировки для обеспечения равномерной циркуляции.

Основные причины подмешивания – гидравлическая разбалансировка сети, неисправность запорной арматуры и отсутствие автоматического регулирования.

Для повышения эффективности работы системы ГВС рекомендуется: применять терморегуляторы в узлах подмеса; обеспечивать гидравлическую балансировку стояков; проводить регулярное обслуживание арматуры; контролировать температурный режим с помощью датчиков и автоматических регуляторов.

Библиографический список

1. СП 30.13330.2016. Внутренний водопровод и канализация зданий. – М. : Минстрой России, 2016.
2. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М. : Минстрой России, 2020. СанПиН 2.1.4.2496–09.
3. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. – М., 2010.
4. Козлов, В. А. Гидравлика и теплотехника систем водоснабжения зданий / В. А. Козлов. – М. : АСВ, 2019.
5. Семенов, П. В. Тепловые потери в системах горячего водоснабжения жилых зданий / П. В. Семенов. – СПб. : Политех-Пресс, 2020.

АКТЮАТОРЫ: НАНОМОДИФИКАЦИЯ КОМПОЗИТОВ И АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ

В. А. Ельцова¹, А. В. Майстренко¹, Я. В. Ельцов²

¹ *Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*
(e-mail: viktoriakobeleva2018@yandex.ru)

² *Московский авиационный институт, Москва, Россия*
(e-mail: yaroslav032003@mail.ru)

Новые технологии в разработке актюаторов, включая актюаторы для промышленного оборудования, базируются на различных классах материалов [1, 2], к которым можно отнести и проводящие полимерные композиты [3]. Последние представляют особый интерес благодаря широкому диапазону регулируемых характеристик и высокой чувствительности.

Ключевым направлением является модификация полимеров дисперсными наноматериалами, такими как углеродные нанотрубки (УНТ) [4] и графен. Их введение даже в минимальной массовой концентрации существенно повышает электропроводность композита. Современные методы синтеза, например СВЧ-синтез из прекурсоров вроде ферроцена и графита, позволяют целенаправленно получать УНТ с заданной морфологией [5].

Важнейшим преимуществом таких полимерных систем является возможность управления их температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Контроль над ТКС напрямую влияет на точность и стабильность измерений механических напряжений, деформаций и давления, минимизируя погрешно-

сти, вызванные изменением температуры. Подход на основе модификации полимеров эффективен и технологичен для массового применения, поскольку обеспечивает высокую воспроизводимость свойств конечного материала с малым разбросом параметров. Это делает проводящие полимерные композиты перспективной и конкурентоспособной альтернативой классическим тензометрическим материалам.

Методика и материалы. Для проведения эксперимента использован источник питания – ЛАТР с возможностью регулирования напряжения от 2 до 240 В при мощности нагрузки до 1 кВт. Для исследования тепловыделений на поверхности образцов нагревателей использован тепловизор Testo 875-1. Обработка термограмм, полученных в процессе тепловизионных измерений, выполнялась с применением программы testo IRTSoft 4.8.

Для проведения исследования были изготовлены образцы ЭАП (электроактивный полимер) на основе эластомера (Силагерм 8030) с массовой концентрацией от 3 масс. % МУНТ и дисперсными микроразмерными металлическими частицами (медь) (рис. 1, а, б).

Исследование температурного поля образца эластомера, наполненного углеродными нанотрубками (УНТ) и микроразмерными частицами меди, при приложенном напряжении 16 В представлено на рис. 1.

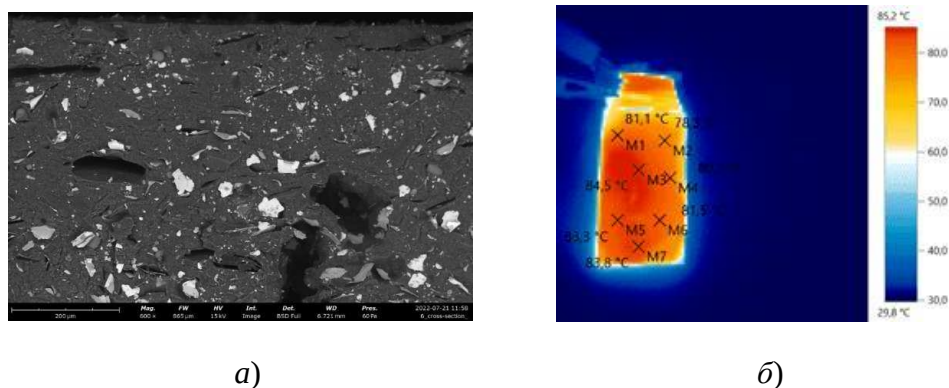


Рис. 1. СЭМ-изображения эластомера:

а – с медью и МУНТ; б – термограмма образцов ЭАП при напряжении 16 В

Введение микроразмерных частиц меди в композитную матрицу повышает температуру тепловыделения до 85,2 °С. Данное увеличение позволяет актюатору развивать большее механическое усилие для воздействия на исполнительный элемент. Созданный актюатор преобразует электрическую энергию в механическую работу, объединяя электронные (электропроводность, джоулев нагрев) и электротермические (преобразование тепла в движение) свойства в единой автономной системе. Для решения сложных прикладных задач, таких

как компенсация переменной нагрузки или поддержание точного позиционирования, в систему управления могут быть интегрированы адаптивные алгоритмы, обеспечивающие стабильную работу в динамичных условиях.

Исследования в области автоматизации электротермических установок показывают эффективность комбинированных и самонастраивающихся систем управления, которые могут компенсировать внешние возмущения и неточности модели объекта. Такой подход обеспечивает высокую точность и быстродействие при устранении ошибок регулирования. Создание таких актюаторов открывает путь для адаптации технологии ЭАП в различных типах станочного оборудования. Актюаторы могут быть компактными и встраиваться непосредственно в узлы станков для точной юстировки, зажима или микроперемещений.

Заключение. Таким образом, разработанный подход позволяет создать электромеханический актюатор нового типа, фундаментом которого служит принцип управляемого теплового расширения в композитной структуре. За счет синергии материалов – сочетания электроактивного полимера, проводящих нанонаполнителей (таких как УНТ) и микрочастиц меди – достигается не только эффективный электротермический отклик, но и целенаправленное усиление механического воздействия. Введение дисперсной меди, повышающей рабочую температуру композита, является ключевым фактором для увеличения выходного усилия и амплитуды движения актюатора. Электрический способ активации и быстрый тепловой отклик позволяют напрямую встраивать актюатор в современные цифровые контуры автоматизации. Актюатор сочетает в себе функции датчика (через изменение сопротивления), нагревателя и исполнительного механизма в одной миниатюрной структуре. Компактность, бесшумность работы и отсутствие необходимости в сложных передаточных механизмах делают данную разработку исключительно перспективной для внедрения в прецизионное станочное оборудование, микроробототехнику, адаптивные системы зажима и юстировки, а также в устройства мягкой робототехники, где требуются плавные и управляемые движения.

Библиографический список

1. Self-contained tubular bending actuator driven by conducting polymers / M. Farajollahi, V. Woehling, C. Plesse, et al. // *Sensors and Actuators A: Physical*. – 2016. – V. 249. – P. 45 – 56.
2. Boldini, A. On Maxwell stress and its relationship with the dielectric constant in the actuation of ionic polymer metal composites / A. Boldini, M. Porfiri // *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. – 2022. – V. 164. – P. 104875.

3. Electro-thermally driven flexible robot arms based on stacking-controlled graphite nanocomposites / Y. Wang, K. Li, X. Li, et al. – Carbon, 2019.

4. Земцова, Н. В. Методика исследований электроактивных эластомеров, модифицированных углеродными наноструктурами / Н. В. Земцова, А. В. Щегольков // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент : материалы XIV Междунар. науч.-инновац. молодеж. конф., Тамбов, 17–18 ноября 2022 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022. – С. 107 – 109.

5. Исследование морфологии углеродных нанотрубок, полученных СВЧ-синтезом, для композитного электронагревателя с эффектом саморегулирования температуры / А. В. Щегольков, Н. В. Орлова, А. В. Щегольков, М. А. Чумак // Изв. высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. – 2025. – Т. 68, № 2. – С. 70 – 78.

ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ СИСТЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В. А. Ельцова¹, Я. В. Ельцов²

¹ *Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*
(e-mail: viktoriakobeleva2018@yandex.ru)

² *Московский авиационный институт, Москва, Россия*
(e-mail: yaroslav032003@mail.ru)

Линейный электрогенератор (ЛЭГ) представляет собой перспективное решение для прямого преобразования энергии поступательного (возвратно-поступательного или колебательного) движения в электрическую энергию. В отличие от традиционных роторных генераторов, ЛЭГ устраняет необходимость в механических преобразователях (например, кривошипно-шатунных механизмах), что снижает потери, повышает надежность и упрощает конструкцию [1, 2].

Конструктивные и технологические особенности. Современные разработки ЛЭГ опираются на применении высокоэнергетических неодимовых магнитов, создающих мощное магнитное поле, и передовых производственных методов. Аддитивные технологии (3D-печать) и быстрое прототипирование позволяют оперативно находить и тестировать оптимизированные конструктивные решения для катушек, магнитных систем и корпусов, обеспечивая

высокую точность, компактность и эффективное охлаждение. Такой подход обеспечивает достижение высокого коэффициента полезного действия (КПД), преобразования механической энергии в электрическую, что критически важно для энергетических установок.

Преобразование и управление энергией. Ключевой особенностью ЛЭГ, работающих от нерегулярных источников (ветер, волны), является нестабильность выходных параметров – напряжения и частоты.

Для обеспечения качества электроэнергии, соответствующего требованиям потребителей, необходимы буферные и преобразовательные системы.

Инновационное решение – использование суперконденсаторов (ионисторов) в качестве элемента предварительного накопления. Они обладают высокой мощностью и большим количеством циклов заряда-разряда, что идеально для сглаживания резких колебаний мощности ЛЭГ.

Накопленная в суперконденсаторах [3] энергия затем может быть передана для зарядки литий-ионных аккумуляторов (для долгосрочного хранения) или через инвертор преобразована в стабильное переменное напряжение промышленного качества.

Перспективы в малой ветроэнергетике. ЛЭГ открывают новые возможности, особенно в малой ветроэнергетике.

Эффективность при низких скоростях ветра основана на особенностях конструкции ЛЭГ (например, на основе поршневого или колебательного принципа) способны эффективно утилизировать энергию медленных и турбулентных воздушных потоков, которые типичны для приземного слоя и не подходят для классических роторных ветрогенераторов.

Повышенная надежность и ремонтпригодность, что связано с относительно простой конструкцией без высокооборотных узлов и редукторов, повышают ресурс, упрощают обслуживание и позволяют проводить постепенную модернизацию.

Интеграция с интеллектуальными системами управления. Эффективность всей системы (ЛЭГ + накопитель + преобразователь) может быть существенно повышена за счет применения технологий искусственного интеллекта (ИИ).

Нейронные сети и алгоритмы машинного обучения позволяют оптимизировать конструкцию генератора на этапе проектирования.

В реальном времени ИИ может прогнозировать режимы работы (на основе данных о скорости ветра), управлять распределением энергии между суперконденсаторами и аккумуляторами и максимизировать общее накопление электрической энергии.

Данный подход перспективен для широкого спектра применений.

Агропромышленный комплекс (АПК): Автономное электроснабжение удаленных объектов, систем мониторинга, освещения, электрических изгородей.

Промышленность и ЖКХ: Резервные и вспомогательные источники энергии, использование кинетической энергии вибраций промышленного оборудования.

Бытовое использование связано с применением маломощных установок для питания датчиков и маломощного оборудования.

Таким образом, комплекс, объединяющий линейный электрогенератор, современные накопители энергии и интеллектуальные алгоритмы управления, формирует основу для создания нового поколения автономных, адаптивных и высокоэффективных энергетических систем для распределенной генерации. Основные типы ЛЭГ классифицируют по направлению изменения магнитного потока, конструкции и используемым материалам (табл. 1).

1. Типы ЛЭГ и принципы классификации

Критерий классификации	Основные типы	Краткое описание и ключевые особенности
По направлению изменения магнитного потока	С поперечным магнитным потоком	Магнитный поток замыкается перпендикулярно направлению движения. Конструкции разнообразны, часто используют С-образные или кольцевые магнитопроводы
	С продольным магнитным потоком	Магнитный поток направлен вдоль оси движения. Конструкции, как правило, проще в изготовлении
По конструкции подвижной части	С подвижным магнитом (арматурой)	Постоянный магнит совершает возвратно-поступательное движение внутри неподвижной катушки. Простая конструкция, но есть ограничения по мощности
По типу используемых магнитов	На постоянных магнитах (ПМ)	Не требуют внешнего источника для возбуждения, компактны и надежны. Широко распространены, особенно в маломощных системах

Перспективные направления и развитие

- Одним из наиболее актуальных направлений является интеграция ЛЭГ в системы «свободнопоршневой двигатель–линейный генератор» (СПД–ЛЭГ). Такой агрегат является высокоинтегрированным, компактным и эффективным источником электроэнергии для автономных объектов.

- Повышение удельной мощности и КПД за счет оптимизации магнитных систем, например созданием структур с комбинированным поперечно-продольным потоком.

- Упрощение конструкции и снижение стоимости путем использования плоских магнитов и усовершенствованных технологий сборки.
- Расширение областей применения: от микрогенераторов для носимой электроники и датчиков до мощных систем для резервного или автономного энергоснабжения.

Библиографический список

1. Бабилова, Н. Л. К вопросу о классификации линейных электрических генераторов / Н. Л. Бабилова, Р. Р. Саттаров, Е. А. Полихач // Вестник Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. – 2009. – Т. 12, № 2. – С. 144 – 149.
2. Саттаров, Р. Р. Исследование установившегося режима синхронного генератора возвратно-поступательного движения / Р. Р. Саттаров, Н. Л. Бабилова, Е. А. Полихач // Вестник Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. – 2007. – Т. 9, № 6.
3. Применение углеродных нанотрубок, полученных CVD-методом, для суперконденсаторов с электролитом на основе LiPF₆ / А. В. Щегольков, М. С. Липкин, А. В. Щегольков, А. Семенова // Вопросы материаловедения. – 2022. – № 1(109). – С. 64 – 76.

ТЕХНОЛОГИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОНАГРЕВА В АПК

В. А. Ельцова¹, А. В. Майстренко, Я. В. Ельцов²

¹ *Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*
(e-mail: viktoriakobeleva2018@yandex.ru)

² *Московский авиационный институт, Москва, Россия*
(e-mail: yaroslav032003@mail.ru)

Электронагреватели представляют собой высокоэффективное средство для реализации широкого спектра технологических процессов в агропромышленном комплексе (АПК) [1]. Ключевое преимущество электронагревателей заключается в способности к локальной и направленной генерации тепловой энергии непосредственно в зоне технологического процесса, что обеспечивает рациональное использование ресурсов [2]. Данный подход универсален и масштабируем: от оснащения отдельных единиц оборудования до создания комплексных систем, таких как линии переработки растительного сырья или системы электрообогрева производственных помещений.

В практике АПК можно выделить два принципиальных подхода к передаче тепла:

- 1) контактный теплообмен, при котором нагрев осуществляется за счет прямого контакта с горячей поверхностью;
- 2) бесконтактный инфракрасный (лучистый) электрообогрев, при котором тепловая энергия передается посредством электромагнитного излучения [3].

Для организации инфракрасного обогрева применяются специализированные электронагреватели, часто выполняемые в виде плоских панелей. Их размещают на потолке или в верхней части технологических зон для создания направленного теплового потока.

Интенсивность теплового потока имеет прямую зависимость от приложенного напряжения, которое может регулироваться в широком диапазоне с высокой точностью. Это позволяет поддерживать заданную температуру объекта или зоны с отклонением до десятых долей от заданного значения температурного режима.

Точный контроль температуры минимизирует потери, связанные с генерацией избыточного, не используемого в процессе тепла, что напрямую ведет к снижению непроизводительных затрат электроэнергии.

Перспектива саморегулирующихся систем

Развитие саморегулирующихся систем электрообогрева является закономерным этапом эволюции технологий в агропромышленном комплексе (АПК), направленным на достижение максимальной энергоэффективности и автономности. Эти системы выходят за рамки простого регулирования, предлагая принципиально иной подход к управлению теплом.

Основой саморегулирующихся нагревателей служат полимерные композитные элементы со специальной токопроводящей матрицей. Эта матрица, часто содержащая диспергированные проводящие наполнители (например, углеродные нанотрубки или технический углерод), обладает ключевым свойством – нелинейным положительным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС).

При повышении температуры локального участка нагревателя сопротивление матрицы на этом участке резко возрастает. Это приводит к автоматическому локальному снижению силы тока и, как следствие, выделяемой тепловой мощности в данной точке.

Таким образом, нагреватель самостоятельно и без внешнего управляющего сигнала перераспределяет мощность, предотвращая локальные перегревы и выравнивая температурное поле. Этот же механизм обеспечивает защиту

от перегрева при изменении условий теплоотвода (например, при накрывании нагревателя или изменении воздушного потока).

Практические преимущества и применение в АПК

Мощность потребляется строго по необходимости. В зонах, достигших заданной температуры, нагрев автоматически снижается, что исключает перерасход энергии.

Повышенная надежность и безопасность: Система не требует сложных внешних датчиков и терморегуляторов для защиты от перегрева, что упрощает конструкцию и повышает ее отказоустойчивость.

Нагреватели могут быть выполнены в виде кабелей, панелей или пленок, что позволяет монтировать их на поверхности сложной формы (трубы, резервуары, элементы теплиц) для антиобледенительных систем, обогрева почвы, сушки сырья или поддержания микроклимата в животноводческих помещениях.

Интеграция в современные технологические комплексы АПК

Саморегулирующиеся нагреватели идеально соответствуют концепции прецизионного сельского хозяйства и «умных» производств. Их можно интегрировать в общую систему цифрового управления комплексом, где они выполняют роль «исполнительных органов», работающих на основе встроенного физического интеллекта, а центральный контроллер задает общие режимные параметры. Таким образом, переход к саморегулирующимся системам – это не просто замена одного типа нагревателей другим. Это качественный скачок к созданию адаптивных, безопасных и предельно экономичных теплогенерирующих комплексов, которые минимизируют операционные затраты и повышают технологическую надежность во всех секторах АПК, от растениеводства до перерабатывающей промышленности. На рисунке 1 представлена блок-схема «Технология энергоэффективного электронагрева в АПК».

Простота управления устройствами электронагрева связано с тем, что это внутреннее физическое свойство материала позволяет осуществлять базовый температурный контроль с помощью относительно простых средств автоматизации, хотя для реализации сложных программных режимов может потребоваться более продвинутая управляющая электроника [1 – 3].

Развитие технологий электрообогрева в АПК представляет собой синтез накопленного практического опыта эксплуатации и передовых вычислительных методов. Этот комплексный подход применяется для совершенствования всех типов систем – от контактных нагревательных поверхностей до инфракрасных излучающих панелей.

ТЕХНОЛОГИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОНАГРЕВА В АПК



Рис. 1. Блок-схема технологий электронагрева в АПК

Ключевым драйвером следующего этапа эволюции является применение технологий искусственного интеллекта (ИИ), таких как нейронные сети и машинное обучение. Их внедрение позволяет:

- точно прогнозировать требуемую тепловую мощность в реальном времени с учетом множества переменных (наружная температура, теплопотери, график работ);
- интеллектуально подбирать оптимальные конструктивные и режимные параметры для конкретных условий;
- автоматически поддерживать максимально эффективный и энергосберегающий режим работы, что напрямую снижает эксплуатационные затраты в АПК.

Библиографический список

1. Щегольков, А. В. Автоматизированная система с саморегулируемым электронагревом для энергоэффективной сушки плодоовощного сырья / А. В. Щегольков, Ю. В. Родионов, А. В. Щегольков // Изв. Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 1. – С. 22 – 27.
2. Синтез углеродных нанотрубок с помощью СВЧ-излучения для модификации эластомера с улучшенной электро- и теплопроводностью / А. В. Щегольков, А. В. Щегольков, М. А. Чумак и др. // Перспективные материалы. – 2024. – № 4. – С. 54 – 65.
3. Щегольков, А. В. Режимные параметры инфракрасных электронагревателей на основе наномодифицированных эластомеров для технологических процессов в АПК / А. В. Щегольков, Н. В. Земцова, А. В. Щегольков // Наука в центральной России. – 2023. – № 4(64). – С. 72 – 81.

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПСЕВДОДАЛЬНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ СРНС НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ

А. А. Иванов, А. В. Иванов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: andreyivanov6898@yandex.ru)*

Для определения координат и параметров движения подвижных объектов (ПО) широкое распространение нашли информационно-измерительные системы, основу которых составляют спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Определение координат местоположения осуществляется с помощью четырех навигационных спутников (НС), образующих рабочее созвездие, дальномерным способом, представляющим один из видов позиционного метода. Для вычисления координат местоположения и погрешности между шкалами времени НС и ПО в аппаратуре приема (АП) измеряются псевдодальности до НС. Проведем расчет влияния погрешностей измерения псевдодальности на точность определения прямоугольных координат местоположения ПО.

При выполнении расчетов предполагаем, что ПО находится на экваторе в точке пересечения с гринвичским меридианом, т.е. его координаты имеют

значения $\varphi = 0$, $\lambda = 0$. Высота ПО над поверхностью Земли составляет $h = 0$ м. В качестве рабочего созвездия навигационных спутников выбираем оптимальное созвездие, т.е. ПО находится в центре правильного тетраэдра [1]. Это означает, что первый навигационный спутник находится в зените, второй, третий и четвертый лежат в плоскости горизонта и разнесены по 120° (рис. 1). НС находятся на круговых орбитах на высоте $h_1 = 20\,000$ м. В качестве модели Земли используем модель в виде шара с радиусом $R_0 = 6\,371\,110$ м, т.е. географическую (сферическую) систему координат. Высоты h и h_1 будем отсчитывать относительно величины R_0 .

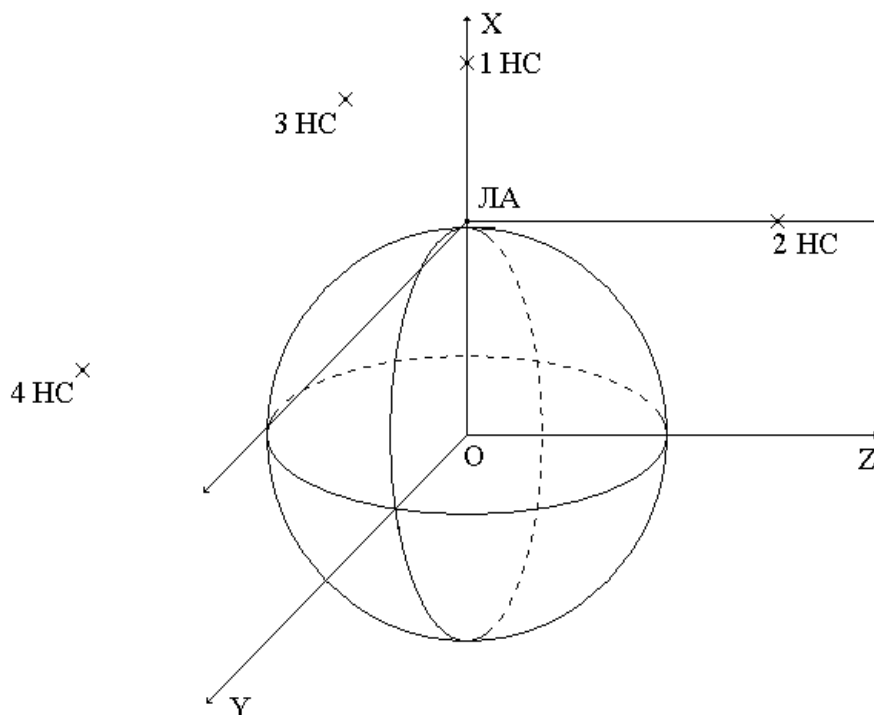


Рис. 1

Введем прямоугольную систему координат $OXYZ$, начало которой совместим с центром Земли, ось OZ направим в сторону северного полюса, оси OX и OY расположим в плоскости экватора, направив ось OX в сторону гринвичского меридиана. Координаты ПО в прямоугольной системе координат $OXYZ$ имеют значения:

$$x = R_0 + h = R_0 = 6\,371\,110 \text{ м}, y = 0 \text{ м}, z = 0 \text{ м}.$$

Координаты НС в прямоугольной системе координат $OXYZ$ имеют значения:

$$x_1 = R_0 + h_1 = 6\,371\,110 + 20\,000\,000 = 26\,371\,110 \text{ м}, y_1 = 0 \text{ м}, z_1 = 0 \text{ м};$$

$$x_2 = R_0 + h = 6\,371\,110 \text{ м}, y_2 = 0 \text{ м};$$

$$z_2 = \sqrt{2R_0(h_1 - h) + h_1^2 - h^2} = 25\,589\,927,706 \text{ м};$$

$$x_3 = R_0 + h = 6\,371\,110 \text{ м};$$

$$y_3 = -\sqrt{2R_0(h_1 - h) + h_1^2 - h^2} \cos 30^\circ = -22\,160\,877,393 \text{ м};$$

$$z_3 = -\sqrt{2R_0(h_1 - h) + h_1^2 - h^2} \sin 30^\circ = -12\,794\,963,853 \text{ м};$$

$$x_4 = R_0 + h = 6\,371\,110 \text{ м};$$

$$y_4 = \sqrt{2R_0(h_1 - h) + h_1^2 - h^2} \cos 30^\circ = 22\,160\,877,393 \text{ м};$$

$$z_4 = -\sqrt{2R_0(h_1 - h) + h_1^2 - h^2} \sin 30^\circ = -12\,794\,963,853 \text{ м}.$$

Определим псевдодальности до НС, полагая, что погрешность между шкалами времени НС и ПО равна нулю:

$$D_1 = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} = 20\,000\,000 \text{ м};$$

$$D_2 = \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2} = 25\,589\,927,706 \text{ м};$$

$$D_3 = \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2} = 32\,477\,924,608 \text{ м};$$

$$D_4 = \sqrt{(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2} = 32\,477\,924,608 \text{ м}.$$

Для определения влияния погрешностей измерения псевдодальностей на прямоугольные координаты ПО разложим псевдодальности в ряд Тейлора относительно координат, в которых находится ПО, ограничившись линейными членами разложения. В результате получим

$$\begin{aligned} D_1 + \Delta D_1 &= \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} + \frac{x_1 - x}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}} \Delta x + \\ &+ \frac{y_1 - y}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}} \Delta y + \frac{z_1 - z}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}} \Delta z; \\ D_2 + \Delta D_2 &= \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} + \frac{x_2 - x}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}} \Delta x + \\ &+ \frac{y_2 - y}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}} \Delta y + \frac{z_2 - z}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}} \Delta z; \\ D_3 + \Delta D_3 &= \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} + \frac{x_3 - x}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}} \Delta x + \\ &+ \frac{y_3 - y}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}} \Delta y + \frac{z_3 - z}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}} \Delta z; \end{aligned}$$

$$D_4 + \Delta D_4 = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} + \frac{x_4 - x}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}} \Delta x +$$

$$+ \frac{y_4 - y}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}} \Delta y + \frac{z_4 - z}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}} \Delta z. \quad (1)$$

Подставляя в выражение (1) значения псевдодальностей, координаты НС и ПО, получим

$$\begin{aligned} \Delta D_1 &= \Delta x; \quad \Delta D_2 = \Delta z; \\ \Delta D_3 &= -0,6823\Delta y - 0,39396\Delta z; \\ \Delta D_4 &= 0,6823\Delta y - 0,39396\Delta z. \end{aligned} \quad (2)$$

Из выражения (2) можно получить зависимости погрешностей определения координат ПО от погрешностей измерения псевдодальностей, которые будут иметь выражения:

$$\begin{aligned} \Delta x &= \Delta D_1; \quad \Delta z = \Delta D_2; \\ \Delta y &= -\frac{\Delta D_3 + \Delta D_4}{1,3646}; \quad \Delta z = -\frac{\Delta D_3 + \Delta D_4}{0,78792}. \end{aligned} \quad (3)$$

Анализ полученных выражений (3) показывает:

– погрешность псевдодальности до первого НС, находящегося в зените, приводит к появлению только погрешности определения координаты по высоте ось ОХ. Зависимость представлена на рис. 2;

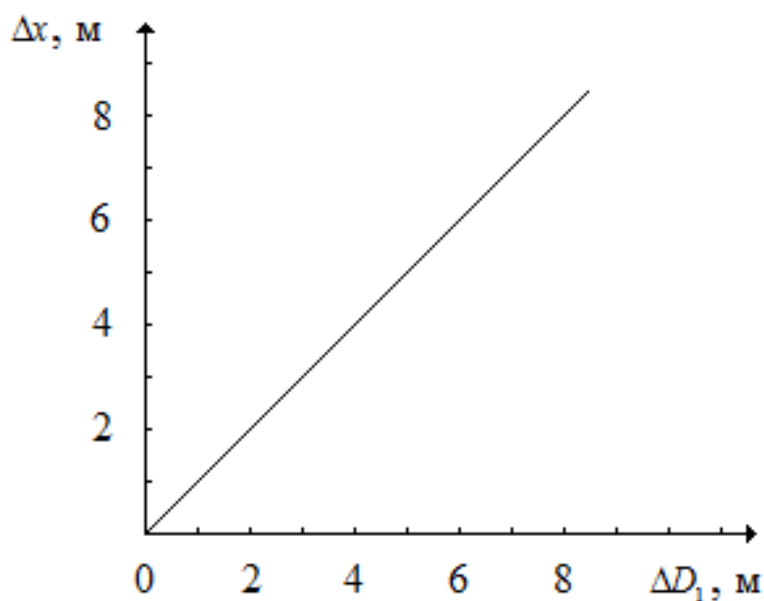


Рис. 2

– погрешность псевдодальности до второго НС, лежащего в плоскости горизонта на оси OZ , приводит к появлению только погрешности определения координаты по оси OZ . Зависимость представлена на рис. 3;

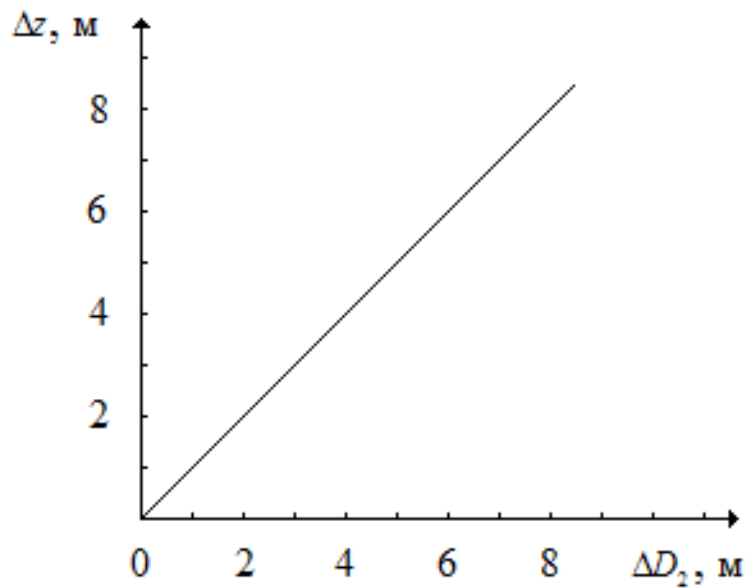


Рис. 3

– погрешность псевдодальности до третьего НС, лежащего в плоскости горизонта, приводит к появлению погрешностей определения координаты по оси OY и оси OZ . Зависимости представлены на рис. 4, 5;

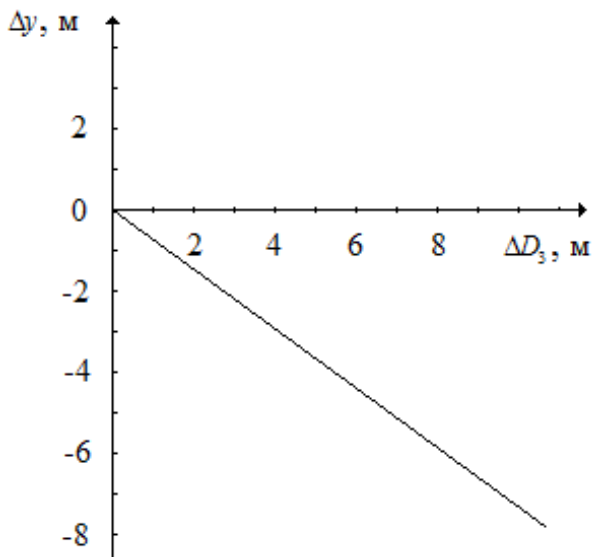


Рис. 4

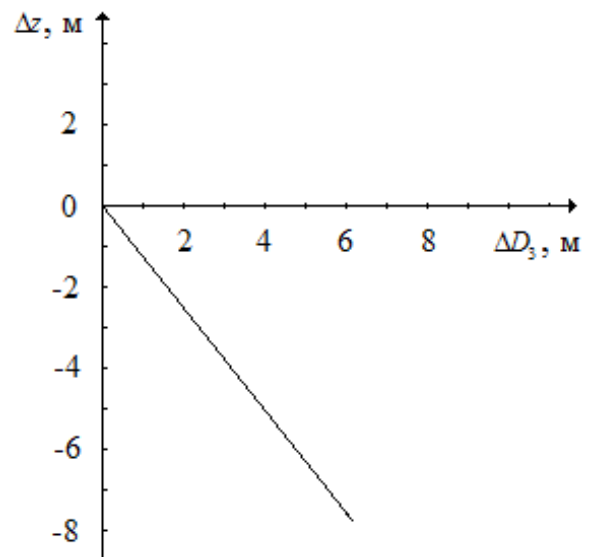


Рис. 5

– погрешность псевдодальности до четвертого НС, лежащего в плоскости горизонта, приводит к появлению погрешностей определения координаты по оси OY и оси OZ . Зависимости представлены на рис. 6, 7.

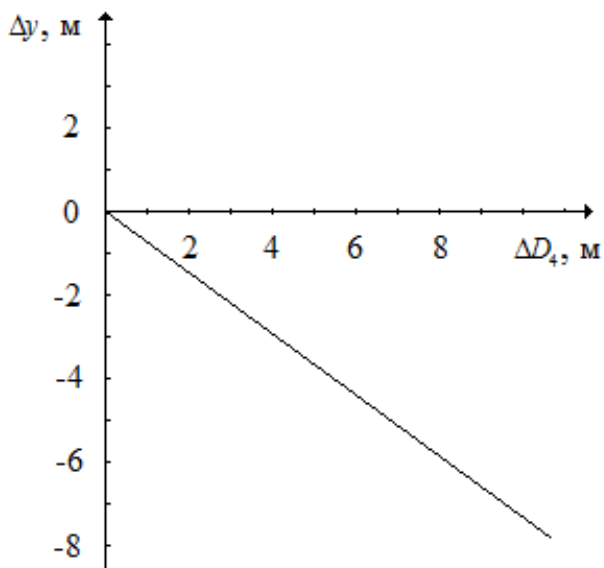


Рис. 6

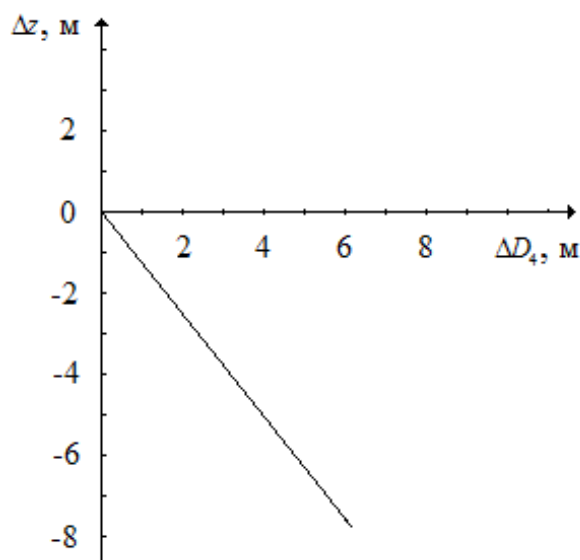


Рис. 7

В результате проделанной работы для оптимального рабочего созвездия получены зависимости влияния погрешности измерения псевдодальности на точность определения координат местоположения в АП сигналов СРНС. Проведен анализ зависимостей и построены их графики.

Библиографический список

1. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В. С. Шебшаевич и др. ; под ред. В. С. Шебшаевича. – М. : Радио и связь, 1993. – 408 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ И СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

В. В. Клитинов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: vitalij-klitinov@yandex.ru)*

Эффективность технологических процессов в агропромышленном комплексе можно существенно повысить за счет применения новых, инновационных технологических процессов, которые могут быть реализованы с помощью универсальных, многофункциональных установок и оборудования, объединяющих в себе возможность различных технологических стадий, относящихся к общему технологическому процессу, связанному с переработкой растительного сырья.

Следует учесть важность переработки, эффективной переработки растительного сырья. Эффективность переработки такого сырья складывается

из целого ряда факторов. Для улучшения эффективности переработки следует учесть несколько подходов, которые можно реализовать в общем многофункциональном оборудовании. Следует выделить несколько стадий: первая стадия – это очистка растительного сырья от кожуры, вторая стадия – механическая нарезка, следующая стадия – это стадия сушки.

Для реализации сушки могут быть использованы различные подходы. В частности, это могут быть подходы, связанные с использованием вакуума и инфракрасных систем, подвода теплового потока, совмещение вакуума, инфракрасных систем обработки растительного сырья, улучшает качественные показатели получаемого продукта, а также дает возможность повысить эффективность такого технологического процесса.

Для очистки растительного сырья может быть использован подход, связанный с обработкой паром с последующим изменением давления, что приводит к отслоению внешней кожуры и делает возможным ее дополнительное сохранение в целях последующей обработки. То есть многофункциональность в одном оборудовании позволяет избежать необходимости логистического перемещения сырья, а также обеспечивает сохранность отдельных элементов растительного сырья в целях их использования для получения дополнительных ценных биологических материалов, которые могут использоваться в пищевой промышленности.

Для реализации такой системы следует использовать энергоэффективные элементы, создающие тепловой поток, это нагреватель с саморегулируемой температурой [1, 2], а также тепловые аккумуляторы. Что позволяет учесть различные стадии и использовать тепловые потоки, которые формируются в процессе термического воздействия на одной стадии, накапливается система тепловой аккумуляции, и в дальнейшем используется в следующей стадии, которая является завершающей в получении продукта. Так как процесс является в общем цикличным, включает в себя несколько циклов операций стадий, то следующий цикл, использующий тепловой поток предыдущего цикла, дает возможность существенно экономить тепловую энергию, которая формируется или путем получения полового потока от электронагревателей, или от какого-либо вспомогательного теплового источника, т.е. такие системы обладают повышенной энергоэффективностью и возможностью более полной переработки плодоовощной продукции, что повышает эффективность такой системы как с технической, так и с экономической точки зрения, снижает затраты, связанные с получением продукта, и делает такие производственные процессы более рентабельными.

Детализация ключевых технологических стадий

Контролируемая очистка паром под давлением

Традиционные механические методы очистки ведут к значительным потерям мякоти. Альтернативой является пароводотермическая обработка. Сырье кратковременно обрабатывается насыщенным паром, что приводит к прогреву кожицы и тонкого подкожного слоя. Последующий резкий перепад давления вызывает вспучивание и растрескивание кожуры, которая затем легко отделяется струей воды или щетками. Этот метод обеспечивает высокую степень отделения кожуры при минимальных потерях основного продукта. Отделенная кожура не является отходом, а направляется в отдельный модуль для последующей переработки (сушка, экстракция).

Точная механическая нарезка

Интегрированный модуль нарезки (роторный, гильотинный или барабанный) позволяет получать продукт заданной формы и размера (ломтики, кубики, соломка). Важным требованием является возможность быстрой переналадки для работы с разными видами сырья.

Комбинированная вакуум-инфракрасная сушка

Это центральное звено установки, определяющее качество конечного продукта. Совмещение вакуума и инфракрасного (ИК) нагрева дает синергетический эффект:

Вакуум снижает температуру кипения воды, позволяя вести процесс при 40...60 °С. Это сохраняет термолабильные витамины в растительном сырье.

Инфракрасное излучение проникает вглубь материала, равномерно и быстро передавая энергию непосредственно воде, что значительно ускоряет процесс по сравнению с конвективной сушкой.

Комбинация этих методов обеспечивает быструю, низкотемпературную сушку с получением высококачественного продукта с длительным сроком хранения.

Повышение энергоэффективности за счет рекуперации тепла

Энергозатраты на сушку могут достигать 70% от общих затрат переработки. Предлагаемая установка включает систему рекуперации для их кардинального снижения:

Тепловые аккумуляторы (емкостные или твердотельные) аккумулируют избыточное тепло из зоны сушки или тепло конденсации паров.

Саморегулирующиеся нагреватели [1, 2] обеспечивают точный и энергоэкономичный подвод тепла без риска локальных перегревов.

Принцип работы: тепло, утилизированное на завершающей стадии одного цикла сушки, накапливается и используется для предварительного подогрева

сырья или поддержания температуры в начале следующего цикла. Исследования подтверждают, что рекуперация тепла – ключевой фактор повышения энергоэффективности процессов сушки.

Преимущества и экономическое обоснование

Внедрение такой интегрированной установки обеспечивает комплекс преимуществ:

Технологическое сокращение цикла переработки, повышение выхода и качества готового продукта, глубокая переработка отходов (кожуры).

Энергетическое снижение энергопотребления на 25...40% за счет рекуперации тепла и использования высокоэффективных методов сушки.

Экономическое снижение себестоимости продукции за счет экономии энергии, уменьшения площадей и трудовых затрат. Повышение рентабельности за счет создания продуктов с добавленной стоимостью из вторичного сырья.

Заключение и перспективы

Предложенная концепция интегрированной многофункциональной установки представляет собой следующий шаг в развитии технологий переработки растительного сырья. Она сочетает передовые физические методы обработки (паровая очистка, вакуум-ИК-сушка) с принципами цикличной экономики и энергосбережения. Дальнейшее развитие связано с внедрением систем автоматического контроля и управления на базе промышленного IoT и предиктивных алгоритмов для оптимизации режимов в реальном времени, что позволит достичь максимальной эффективности и адаптивности производства.

Библиографический список

1. Щегольков, А. В. Автоматизированная система с саморегулируемым электронагревом для энергоэффективной сушки плодоовощного сырья / А. В. Щегольков, Ю. В. Родионов, А. В. Щегольков // Изв. Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 1. – С. 22 – 27.
2. Щегольков, А. В. Режимные параметры инфракрасных электронагревателей на основе наномодифицированных эластомеров для технологических процессов в АПК / А. В. Щегольков, Н. В. Земцова, А. В. Щегольков // Наука в центральной России. – 2023. – № 4(64). – С. 72 – 81.

ИССЛЕДОВАНИЕ УТЕЧЕК В КОЛОДЦАХ ТЕПЛОЙ КАМЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ РАЗЛАДКИ

Н. Н. Кожухов, А. А. Балашов, Т. А. Листопадская

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: balashovalexei@yandex.ru)

В работе рассматривается актуальная проблема раннего обнаружения утечек теплоносителя в дренажных колодцах тепловых камер. Показано, что существующие методы диагностики, обладая рядом ограничений, не обеспечивают непрерывного превентивного мониторинга. В качестве решения предложен новый подход, основанный на применении теории разладки статистических последовательностей к данным стационарных датчиков уровня. Метод позволяет в автоматическом режиме выделять полезный сигнал об аномальном притоке воды, соответствующий началу утечки, на фоне естественных колебаний уровня. Описаны математическая модель процесса, алгоритм кумулятивных сумм для детектирования и архитектура предлагаемой системы мониторинга. Внедрение данного подхода позволит существенно сократить время локализации аварий, снизить эксплуатационные потери и перейти к превентивной модели обслуживания тепловых сетей.

Эксплуатация изношенных тепловых сетей сопряжена с высокими рисками аварийности, ведущими к значительным экономическим и ресурсным потерям. Особое внимание уделяется тепловым камерам – подземным узлам концентрации арматуры, где вероятность возникновения утечек из-за коррозии и механических нагрузок наиболее высока. Традиционные методы обнаружения, такие как акустическая диагностика, тепловизионный контроль и корреляционный анализ, носят, как правило, периодический характер, требуют присутствия специалиста и зачастую малоэффективны на ранних стадиях развития повреждения или в условиях интенсивных внешних помех.

В этой связи актуальной задачей является разработка систем непрерывного автоматизированного мониторинга, способных оперативно сигнализировать о начале аварийного процесса. Перспективным направлением представляется контроль состояния дренажных колодцев тепловых камер, поскольку любой аварийный приток жидкости неизбежно отражается на уровне воды в них. Ключевая научно-техническая проблема при этом заключается в надежном выделении полезного сигнала (факта утечки) из зашумленных данных, поступающих с датчика уровня, на фоне естественных колебаний, вызванных атмосферными осадками или изменением уровня грунтовых вод.

Новизна данного исследования заключается в применении аппарата теории разладки – раздела математической статистики, изучающего методы обнаружения момента изменения свойств случайной последовательности – к задаче раннего выявления утечек. Этот подход позволяет формализовать процесс и перейти от субъективной оценки показаний датчика к статистически обоснованному автоматическому решению [1 – 5].

Целью работы является разработка методологии обнаружения утечек в тепловых камерах на основе анализа временных рядов данных об уровне жидкости в дренажном колодце с использованием теории разладки.

Динамику уровня жидкости $L(t)$ в дренажном колодце можно рассматривать как случайный процесс. В штатном режиме (гипотеза H_0), когда утечка отсутствует, процесс обусловлен фоновыми факторами: конденсатом, сезонными колебаниями грунтовых вод, осадками. Его можно представить моделью

$$L_0(t) = B(t) + \varepsilon(t),$$

где $B(t)$ – детерминированный базовый тренд (например, сезонная составляющая), а $\varepsilon(t)$ – стационарный шум с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2 .

В момент времени τ начинается утечка, вызывающая аномальный приток жидкости. Процесс переходит в режим разладки (гипотеза H_1):

$$L_1(t) = L_0(t) + v(\tau - t) \text{ для } \tau < t,$$

где v – скорость аномального притока, характеризующая интенсивность утечки.

Таким образом, задача системы мониторинга сводится к следующему: по дискретной последовательности измерений $\{L_1, L_2, \dots, L_n\}$, поступающей с датчика уровня, как можно раньше и с заданной достоверностью обнаружить момент τ , когда гипотеза H_0 сменилась на гипотезу H_1 .

Для обнаружения малых, но устойчивых изменений математического ожидания случайной последовательности, что соответствует началу утечки, хорошо зарекомендовал себя алгоритм кумулятивных сумм [3]. Его применение позволяет отфильтровать шум $\varepsilon(t)$ и реагировать не на единичные выбросы, а на статистически значимый тренд.

Алгоритм реализуется следующим образом:

1. Для каждого нового измерения L_i вычисляется нормированное отклонение

$$s_i = \frac{L_i - \mu_0}{\sigma} - k,$$

где μ_0 – ожидаемое среднее значение уровня в штатном режиме; σ – стандартное отклонение шума; k – параметр, определяющий минимальный обнаруживаемый сдвиг (половина ожидаемого изменения).

2. Рассчитывается кумулятивная сумма с обнулением:

$$S_i = \max(0, S_{i-1} + s_i), S_0 = 0.$$

3. Решение о наличии разладки (и, следовательно, о вероятной утечке) принимается в момент $\hat{t}$, когда статистика S_i впервые превышает заданный порог h :

$$\hat{t} = \min \{i; S_i \geq h\}.$$

Полезный сигнал для диспетчера формируется именно в момент $\hat{t}$. Настройка параметров k и h позволяет управлять компромиссом между временем обнаружения и вероятностью ложной тревоги, адаптируя алгоритм под конкретные условия (например, требуемую чувствительность к малым утечкам).

В работе предложен и научно обоснован новый подход к решению актуальной задачи раннего обнаружения утечек в тепловых камерах. Подход основан на интеграции данных стационарных датчиков уровня и методов теории разладки, в частности алгоритма кумулятивных сумм.

Показано, что формализация задачи в статистических терминах позволяет автоматически и объективно выделить полезный сигнал о начале аномального притока жидкости, отсекая фоновые шумы и естественные колебания.

Направления дальнейших исследований логично связаны с совершенствованием предложенного метода:

1. Разработка адаптивных версий алгоритма, автоматически корректирующих параметры μ_0 и σ в условиях меняющихся сезонных трендов.

2. Создание мультисенсорных систем, где решение об утечке принимается на основе данных не только об уровне, но и о температуре жидкости в колодце, что повысит достоверность детектирования.

3. Внедрение методов машинного обучения для классификации типа аномалии и прогнозирования риска возникновения утечки на основе комплексного анализа исторических данных.

Библиографический список

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022616935 Российская Федерация. Обнаружение ограниченной во времени разладки для зависимости коэффициента тепловой активности полимерного

материала ; № 2022615606 ; заявл. 31.03.2022 ; опубл. 18.04.2022 / А. А. Балашов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет».

2. Павлов, В. И. Поддержка принятия решений оператором в условиях неопределенности / В. И. Павлов, Т. В. Аксенова, А. Ю. Головлева // Теория и техника радиосвязи. – 2013. – № 4. – С. 96 – 100.

3. Павлов, В. И. Раннее обнаружение постепенных отказов в технических системах / В. И. Павлов, Т. Ю. Дорохова, С. В. Артемова // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием для студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 19 октября 2022 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022. – С. 16 – 22.

4. Богословский, А. В. Алгоритм нахождения фазочастотного спектра / А. В. Богословский, И. В. Жигулина // Радиотехника. – 2020. – Т. 84, № 4(8). – С. 5 – 13.

5. Пат. № 2718172 С1 Российская Федерация, МПК G06K 9/82. Способ поиска объектов на цифровых изображениях ; № 2019101042 ; заявл. 10.01.2019 ; опубл. 30.03.2020 / Пономарев А. В., Богословский А. В., Жигулина И. В., Бальжак А. Е. ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации.

ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Н. А. Колядин, А. А. Шитиков, О. Н. Попов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: nikita2288113355@mail.ru)*

Современные здания и сооружения представляют собой сложные инженерно-технические комплексы. Плотность размещения инженерных систем (отопления, вентиляции, кондиционирования, водоснабжения, электроснабжения, слаботочных сетей) в ограниченном пространстве за подвесными потолками

ми, в технических коридорах и шахтах неуклонно возрастает. Традиционное двумерное (2D) проектирование, основанное на разрозненных чертежах, часто приводит к пространственным конфликтам между коммуникациями, которые выявляются лишь на стадии строительно-монтажных работ. Это влечет за собой дорогостоящие переделки, задержки сроков сдачи объектов и рост конфликтности между участниками проекта.

Технология информационного моделирования зданий (*Building Information Modeling, BIM*) предлагает парадигмальный сдвиг в подходе к проектированию. Она предполагает создание не наборов чертежей, а единой согласованной трехмерной информационной модели, содержащей в себе все данные об объекте на протяжении всего его жизненного цикла.

Одной из наиболее важных задач, решаемых при внедрении и строительстве информационного моделирования зданий, является снижение себестоимости строительства с целью экономии государственных и частных средств. Это обусловлено тем, что BIM-моделирование позволяет на ранних этапах рассчитать стоимость, сроки выполнения работ, точное количество необходимых материалов и строительной техники, произвести расчет рисков и так далее [1].

Минстрой Российской Федерации приводит свои результаты исследований: внедрение технологий информационного моделирования улучшает ряд показателей эффективности: на 30% способствует сокращению затрат на строительство и эксплуатацию; до 40% снижает погрешности и ошибки в проектной документации; до 50% сокращает сроки реализации проекта; в 6 раз уменьшает время на проверку модели; в 4 раза снижает планирование погрешностей бюджета; до 90% сокращает сроки координации и согласования; на 10% сокращает сроки строительства; на 20...50% сокращает сроки проектирования [2].

В России в настоящее время BIM-технологии используют 20% строительных организаций и компаний. Барьерами для внедрения BIM могут быть дороговизна процесса внедрения, сложность перестроения процесса работы, незаинтересованность в усложнении модели объекта [3].

Объектом исследования в данной работе являются BIM-технологии и их применение в проектировании зданий, сооружений и инженерных сетей.

Для работы с BIM-технологиями существует большое количество программ, среди которых можно выделить *Autodesk Revit*, *Renga*, *NanoCAD* благодаря данным программам, можно создавать 3D-модели сооружений по архитектурно-строительным чертежам и создавать сами чертежи.

С помощью программного комплекса *Renga* была создана модель инженерных сетей и систем административного здания экопарк отеля.

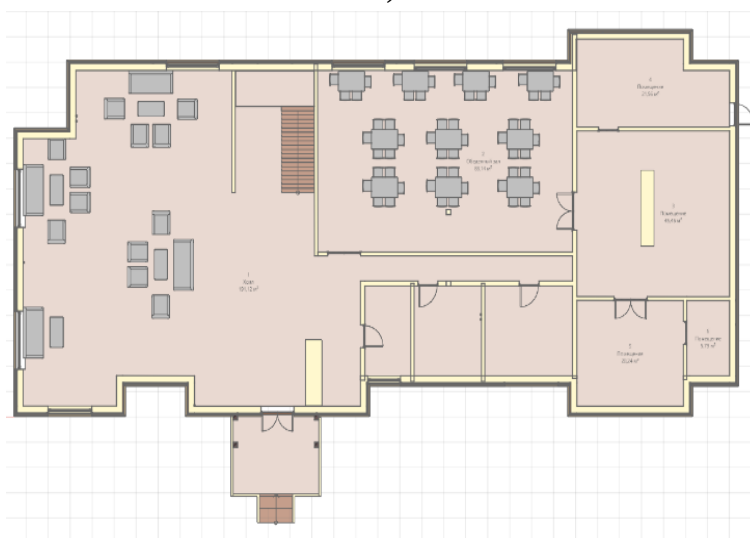
Renga – российская BIM-система для комплексного проектирования с необходимой функциональностью, интуитивно-понятным интерфейсом и доступной стоимостью, которая позволяет:

- выполнять автоматическую трассировку инженерных систем здания, минимизирует ручную работу и уменьшает ошибки проектирования;
- использовать встроенное параметрическое оборудование, дающее возможность проектировать все системы жизнеобеспечения здания;
- выполнять совместную работу инженеров над сводной моделью, что позволяет увязать технические решения и исключить коллизии;
- из получаемых с модели аксонометрических схем и планов инженерных систем сформировать документацию в соответствии с ГОСТ СПДС.

Разработана 3D-модель административного здания (рис. 1). Выполненная 3D-визуализация – удобный способ, позволяющий изучить объект до его строительства и при необходимости внести коррективы.



а)



б)

Рис. 1. Модель административного здания:

а – внешний вид; б – план 1-го этажа

Что же касается внесения корректив, то при наличии модели процесс изменения проекта упрощается. То есть, если необходимо внести изменение в проект, например на плане одного этажа, то замена автоматически происходит на планах всех этажей, что значительно ускоряет процесс корректировки проекта.

Наличие модели позволяет получить архитектурные чертежи планов этажей и необходимые разрезы на любых отметках. На базе данной модели были запроектированы системы внутреннего холодного и горячего водоснабжения, водоотведения и отопления.

При проектировании систем водоснабжения и водоотведения поэтажно расставлены сантехнические приборы, к которым подведены холодная и горячая вода, а также осуществлен отвод стоков. Каждый прибор имеет подключение к водопроводным и канализационным стоякам соответственно. Все стояки водоснабжения выведены в подвал, где объединены магистральным трубопроводом, подключенным к вводу трубопровода наружной сети (рис. 2).

Стояки водоотведения выведены на чердак, где объединены в сборные трубопроводы, выведенные выше кровли. Трубопроводы системы водоотведения, проложенные на чердаке, утеплены.

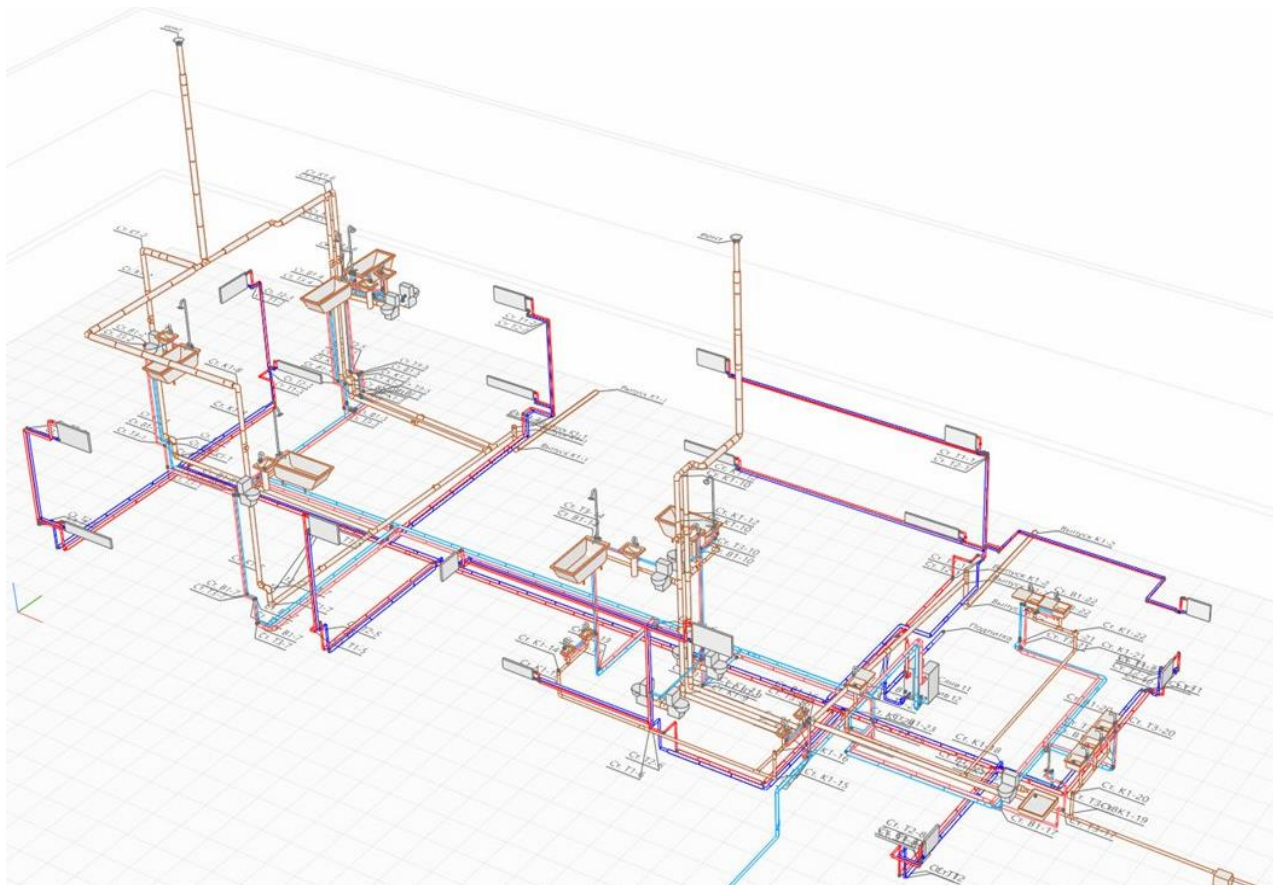


Рис. 2. Модель внутренних инженерных коммуникаций административного здания

Помимо этого, стояки водоотведения также выведены в подвал, где объединены сборными трубопроводами, подключенными к трем выпускам. На одном из выпусков установлен жиросъемник, предотвращающий попадание эмульгированных жиров и органических включений в общий трубопровод от кухонных моек столовой (см. рис. 2).

При проектировании системы отопления под окнами и в углах помещений, имеющих две наружные стены, были размещены отопительные приборы. Расстояние от стены определяется исходя из норм и входящих в комплект креплений для радиаторов, расстояние от радиатора до пола и до подоконника должно составлять не менее 75% от глубины прибора, при этом расстояние до пола не должно превышать 200 мм, это необходимо для обеспечения оптимального отвода тепла от отопительного прибора. Подача в прибор и отвод необходимого количества теплоносителя осуществляются по теплопроводам (магистральям, стоякам, подводкам). В подвале магистральные теплопроводы объединены и подключены к индивидуальному тепловому пункту, который обеспечивает безопасное и эффективное преобразование параметров теплоносителя, поступающего из тепловой сети, под требования внутренних инженерных систем отопления и горячего водоснабжения.

Полученная модель позволит максимально упростить процесс монтажа инженерных систем и оборудования, а также минимизировать ошибки и погрешности.

Применение BIM-технологий при проектировании, помимо чертежей и модели возводимого объекта, позволяет получить спецификации оборудования и ведомости материалов, применяемых в проекте. В ходе выполнения проекта были получены спецификации оборудования, фасонных частей и трубопроводов запроектированных инженерных систем. В качестве примера приведен фрагмент одной из спецификаций (рис. 3).

Еще одним преимуществом применения информационного моделирования является скорость изменения проекта. При корректировке модели автоматически происходит изменение и спецификации, что позволяет сократить сроки проектирования и строительства и тем самым снизить издержки.

Применение информационного моделирования внутренних инженерных коммуникаций позволяет получить информационную модель, благодаря которой минимизируются ошибки и неточности при проектировании данных сетей. Процесс корректировки проекта ускоряется, что снижает сроки проектирования. Наличие 3D-модели значительно упрощает монтаж внутренних инженерных систем и оборудования, что, безусловно, сокращает сроки строительства и снижает издержки.

Поз.	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозначение документа, описного листа	Код продукции	Поставщик	Ед. измерения	Количество	Масса 1 ед. изм.	Примечание
	Труба - PPR PN20 20x3,4					86,8		
	Отвод 90° PPR PN20 Dn20					81		
	Тройник PPR PN20 Dn20					20		
	Кран шаровый 1/2"					24		
	Тройник PPR PN20 Dn25					8		
	Труба - PPR PN20 25x4,2					27,3		
	Труба - PPR PN20 32x5,4					6,9		
	Манжета d25 L=1000					50		
	Манжета d25 L=600					17		
	Манжета d25 L=200					40		
B1 - Водопровод хозяйственно-питьевой, К1 - Канализация бытовая								
	Экран контакт					11		
B1 - Водопровод хозяйственно-питьевой, Т3 - Водопровод горячей воды подающий								
	Смеситель для умывальника напольный					16		
	Смеситель напольный для ванны с душем					6		
	Смеситель настенный для ванны с душем					1		
	Теплоразменник					1		

Рис. 3. Фрагмент спецификации

Библиографический список

1. Король, М. Г. BIM: информационное моделирование – цифровой век строительной отрасли / М. Г. Король // Стройметалл. – 2014 – № 9 – С. 26 – 30.
2. Преимущества BIM в одной инфографике. Минстрой России. [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.minstroyrf.ru/press/preimushchestva-bim-v-odnoy-infografike/>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

И. М. Конобеев, А. А. Балашов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: balashovalexei@yandex.ru)*

В работе исследуется роль вязкости жидких котельных топлив (мазотов, минеральных масел) как ключевого фактора эффективности теплогенерации. Теоретически и практически обоснована необходимость активного управления данным параметром на всех этапах – от транспортировки до распыления. Проанализирована зависимость вязкости от температуры и состава, определены

последствия отклонения от оптимума. Сформулированы практические рекомендации для эксплуатационного персонала по оптимизации режимов работы котельных агрегатов.

В условиях ужесточения требований к энергоэффективности и экологичности теплогенерации критическое значение приобретает оптимизация процессов сжигания топлива. Жидкое топливо, такое как мазут и минеральные масла, остается востребованным для многих котельных установок, особенно резервных и локальных. Однако его эффективное использование определяется не только теплотворной способностью, но и реологическими свойствами, главным из которых является вязкость.

Актуальность исследования обусловлена всесторонним влиянием вязкости на технологическую цепочку. Высокий показатель увеличивает энергозатраты на перекачку, затрудняет очистку и, что критично, ухудшает распыление в топке. Некачественное распыление ведет к неполному сгоранию, росту выбросов, загрязнению поверхностей нагрева и снижению КПД. Таким образом, управление вязкостью трансформируется из вспомогательной операции в стратегическую задачу эксплуатации.

Научная новизна работы заключается в рассмотрении вязкости не как статической характеристики, а как динамического управляемого параметра технологического процесса, требующего адаптации к переменному составу топлива и нагрузке котла.

Цель исследования – анализ взаимосвязи реологических свойств жидкого топлива, условий его подготовки и конечной эффективности работы котельного агрегата для формирования научно обоснованных рекомендаций.

Вязкость – физическая величина, характеризующая сопротивление жидкости течению. На практике чаще используют кинематическую вязкость ν , измеряемую в сантистоксах (сСт). Для жидкого топлива котельных, особенно мазута, характерна сильная нелинейная зависимость вязкости от температуры. Например, для мазута М-100 вязкость при 80 °С может превышать 100 сСт, делая его транспортировку невозможной, тогда как при 110...120 °С она падает до технологически приемлемых 12...18 сСт (табл. 1).

Помимо температуры, на вязкость вещества влияют: фракционный состав, плотность, наличие механических примесей и воды [1 – 3].

Минеральные топливные масла обычно имеют менее выраженную температурную зависимость, но также требуют подогрева. Ключевое для эксплуатации понятие – оптимальная вязкость распыления, составляющая для большинства форсунок 8...25 сСт.

1. Вязкость нефтяных и биотоплив

Тип топлива	Вязкость при 40 °C, мПа·с	Характеристика	Стандарты
Бензин	0,5...0,7	Низкая вязкость, обеспечивает легкое распыление	ГОСТ 32513–2013
Дизельное топливо	2...4	Вязкость регулируется строгими требованиями, важна для распыления и сгорания	ASTM D445, ГОСТ 14911–2019
Мазут	100...1000 и выше	Очень высокая вязкость, требует нагрева и специальных систем транспортировки	ДПН (длина пробега на нагрев) и стандарты безопасности
Биодизель	3...6	Может повышать вязкость при низких температурах, вызывает проблемы с запуском	EN 14214, ГОСТ Р 54222–2010
Этанольные смеси	1,2...2,0	Высокая вязкость, влияет на расход топлива и работу двигателей	ASTM D445, ILSAC GF-6
Биогазовые жидкости	Переменная	Обычно жидкие, вязкость схожа с этанолами или маслами	Зависят от состава и метода производства

Рассмотрим влияние вязкости на технологические процессы в котельной установке:

1. Транспортировка и перекачка: гидравлические потери прямо пропорциональны вязкости, что повышает мощность насосов и расход электроэнергии.
2. Очистка: высокая вязкость затрудняет сепарацию воды и фильтрацию механических примесей.
3. Распыление – критический этап для эксплуатации.

Основной способ подачи топлива в горелку котла – подогрев топлива. На основе анализа можно определить требуемые температуры для разных марок:

- Мазут М-100: 60...80 °C;
- Мазут М-40: 40...50 °C;
- Минеральное масло от 50 °C (зависит от марки).

Исследование показывает, что поддержание постоянной температуры не гарантирует постоянства вязкости из-за колебаний состава топлива. Наиболее эффективным решением является переход от регулирования по температуре к системе с обратной связью по вязкости. В такой системе температу-

ра подогрева автоматически корректируется контроллером на основе сигнала от промышленного вискозиметра на напорной магистрали. Это позволяет компенсировать нестабильность сырья и обеспечивать стабильно высокое качество топливopодготовки.

Библиографический список

1. Балашов, А. А. Формулировка задачи коммивояжера для инспекционной поездки по котельным, расположенным в городе Тамбове / А. А. Балашов, С. А. Чупрынина // Энергетика. Проблемы и перспективы развития : материалы IV Всерос. молодеж. науч. конф., Тамбов, 19–20 декабря 2018 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – С. 11 – 13.
2. Ерофеев, В. Т. Эпоксидный композит с углеродными наноструктурами / В. Т. Ерофеев, Т. Ф. Ельчищева, М. В. Макачук // Перспективные задачи инженерной науки : сб. ст. Междунар. конф., Москва, 13 мая 2021 года. – М. : ООО Издательский дом «Мастер», 2022. – С. 199 – 205.
3. Реологические свойства мазута марки М100 / В. О. Здор, Е. К. Вачагина, Р. Ф. Камалов, Ю. В. Караева // Вестник Технологического университета. – 2018. – Т. 21, № 9. – С. 66 – 68.

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА РАЗВИТИЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Н. С. Куаныш, И. Б. Иргалиев, К. Т. Куптлеуова

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет

имени Жангир хана, Уральск, Казахстан

(e-mail: kenzhe73-73@mail.ru)

В последние годы цифровизация активно проникает во все отрасли промышленности, и теплоэнергетика не является исключением. Для теплоэнергетических комплексов стабильность работы оборудования и экономичность процессов имеют ключевое значение. Современные технологии позволяют контролировать работу котлов и турбин в режиме реального времени, минимизировать потери энергии и прогнозировать износ оборудования.

Цифровая трансформация становится стратегическим направлением развития энергетической отрасли, обеспечивая повышение эффективности, надежности и экологической устойчивости.

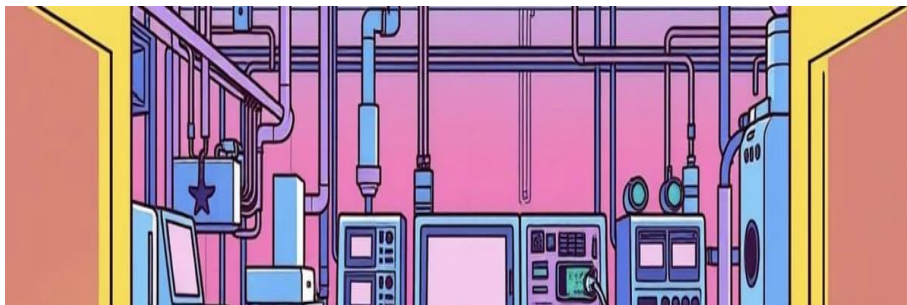


Рис. 1. Цифровизация производственных объектов в теплоэнергетическом комплексе

1. Сущность и значение цифровизации в теплоэнергетике.

Теплоэнергетический комплекс – одна из наиболее ресурсозатратных отраслей, требующая постоянного контроля технического состояния оборудования. Традиционные методы эксплуатации часто не позволяют эффективно реагировать на изменения параметров и предотвращать аварии.

Цифровизация охватывает использование технологий IoT, машинного обучения, Big Data и цифровых двойников. Эти решения позволяют собирать и анализировать большие объемы данных о состоянии оборудования, прогнозировать сбои, оптимизировать режимы работы и сокращать энергопотери.

Основные цели цифровизации:

- оптимизация производственных процессов;
- повышение надежности и безопасности;
- снижение эксплуатационных затрат;
- переход к устойчивому и экологически чистому производству.



Рис. 2. Повышение эффективности работы оборудования и производственных циклов

2. Текущее состояние и вызовы

Большинство теплоэнергетических объектов, построенных десятки лет назад, характеризуются изношенным оборудованием и устаревшими системами

управления. Это снижает энергоэффективность и повышает риск аварийных ситуаций.

Основные проблемы:

- физический износ оборудования;
- отсутствие современных сенсоров и систем мониторинга;
- низкая энергоэффективность и большие потери;
- сложности интеграции старых систем с новыми цифровыми платформами;
- нехватка квалифицированных специалистов.

Тем не менее эти трудности открывают новые возможности для модернизации – установка IoT-устройств и систем предиктивного анализа превращает традиционные станции в «умные» энергообъекты.

3. Преимущества внедрения цифровых технологий

3.1. Повышение эффективности

Цифровые системы мониторинга и анализа данных в реальном времени позволяют точно настраивать параметры работы оборудования, минимизируя потери топлива и энергии. Предиктивная аналитика прогнозирует необходимость обслуживания и предотвращает внеплановые простои.

3.2. Надежность и прогнозирование

Использование цифровых двойников – виртуальных копий оборудования – позволяет моделировать поведение системы при разных сценариях и заранее выявлять возможные неисправности. Это снижает аварийность и повышает стабильность энергоснабжения.

3.3. Безопасность

Автоматизированные системы контроля и удаленного управления снижают необходимость присутствия человека в опасных зонах. Виртуальная и дополненная реальность используются для обучения персонала безопасным действиям в аварийных ситуациях.



Рис. 3. Big Data Analysis объекта

4. Основные направления цифровизации

Современные теплоэлектростанции внедряют автоматизированные системы управления (SCADA, DCS), сенсорные сети и аналитические платформы. Применение IoT-сенсоров температуры, давления и расхода топлива обеспечивает непрерывный контроль параметров. Системы Big Data и ИИ анализируют показатели, выявляют закономерности и прогнозируют оптимальные режимы работы.

Примером может служить внедрение систем предиктивного обслуживания на российских и зарубежных ТЭЦ, что позволило снизить расход топлива и количество аварийных остановок оборудования.

5. Практические примеры внедрения

- Россия: на Новосибирской ТЭЦ внедрена система автоматического управления котлами и насосами, позволившая сократить расход топлива и простои.
- Германия: Берлинская ТЭЦ применяет сенсоры и Big Data для прогнозирования износа оборудования и оптимизации ремонтов.
- Китай: на теплоэлектростанциях используются алгоритмы машинного обучения для регулирования работы турбин, повышая надежность и КПД.

Библиографический список

1. Павлов, Д. В. Интеллектуальные системы мониторинга теплового состояния электрооборудования / Д. В. Павлов, М. Ю. Соколова // Автоматизация в промышленности. – 2021. – № 8. – С. 34 – 42.
2. Елисеев, А. Н. Цифровизация энергетического сектора: тенденции и перспективы развития / А. Н. Елисеев // Энергетика. – 2022. – № 4. – С. 15 – 22.
3. Григорьев, И. П. Инновационные подходы к цифровой трансформации теплоэнергетики / И. П. Григорьев // Теплоэнергетика. – 2023. – № 5. – С. 9–16.
4. Шумилов, С. В. Использование технологий больших данных в управлении энергетическими системами / С. В. Шумилов, А. П. Кулагин // Энергетика и промышленность России. – 2021. – № 12. – С. 27 – 33.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ КАРБОНИЗАЦИИ БИООТХОДОВ

Д. С. Луцков, А. Н. Грибков, А. А. Уютнов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: dmitrii_luckov250898@mail.ru)

Современные вызовы, связанные с образованием значительных объемов биоотходов агропромышленного комплекса и муниципального хозяйства, диктуют необходимость разработки не просто утилизирующих, а ресурсосберегающих технологий. В этом контексте гидротермальная карбонизация (ГТК) представляет собой один из наиболее перспективных методов, позволяющих осуществлять конверсию влажной биомассы в ценный углеродсодержащий продукт – биочар (биоуголь) без энергозатратной стадии предварительной сушки. Имитируя природный процесс образования каменного угля, ГТК протекает в замкнутом реакторе в среде перегретой воды или водяного пара при температурах 180...250 °С и давлениях, соответствующих давлению насыщенных паров.

Однако высокая потенциальная эффективность ГТК сопряжена со значительными технологическими сложностями. Ключевой из них является обеспечение точного и равномерного тепломассообмена в зоне реакции, что особенно актуально для процессов, идущих в кипящем слое, где факторы гидродинамики и теплопередачи тесно взаимосвязаны. Недостаточный контроль температурных полей как в зоне подготовки сырья (бункер), так и в самом реакторе может привести к неполной конверсии сырья, образованию нежелательных побочных продуктов, снижению выхода и качества конечного продукта, а в худшем случае – к локальным перегревам и нарушению безопасности процесса.

Поэтому задача создания эффективной системы контроля и управления тепловыми режимами установки ГТК является весьма актуальной. Одним из ключевых этапов построения такой системы является разработка модели теплотехнологического процесса ГТК биоотходов, которая в дальнейшем может быть использована для решения задач оптимизации режимных параметров и разработки алгоритмов управления.

Для проведения теплового анализа установки ГТК и построения имитационной модели процесса был выполнен расчет для ключевого элемента установки – реактора с кипящим слоем. В качестве исходных данных и допущений использовались материалы и методики, описанные в диссертационной работе Н. С. Муратовой [1].

Основная цель имитационного моделирования – построение термограммы (кривой разгона) и анализ протекания динамических режимов теплотехнологического процесса в реакторе установки ГТК. Имитационная модель позволяет произвести оценку температурного профиля в реакторе установки ГТК с учетом предварительного нагрева сырья в бункере исходного материала [2].

Основные этапы имитационного моделирования:

- 1) расчет теплотехнических характеристик (площади теплообмена, суммарной теплоемкости системы, мощности теплопередачи);
- 2) построение модели экзотермической реакции ГТК;
- 3) численное решение дифференциального уравнения теплового баланса.

Для автоматизации расчетов при проведении имитационного моделирования был разработан программный модуль, интерфейс которого показан на рис. 1. Программный модуль позволяет по заданным исходным данным производить расчет основных характеристик теплотехнологического процесса ГТК и получать результаты моделирования динамических режимов реактора в табличной и графической формах.

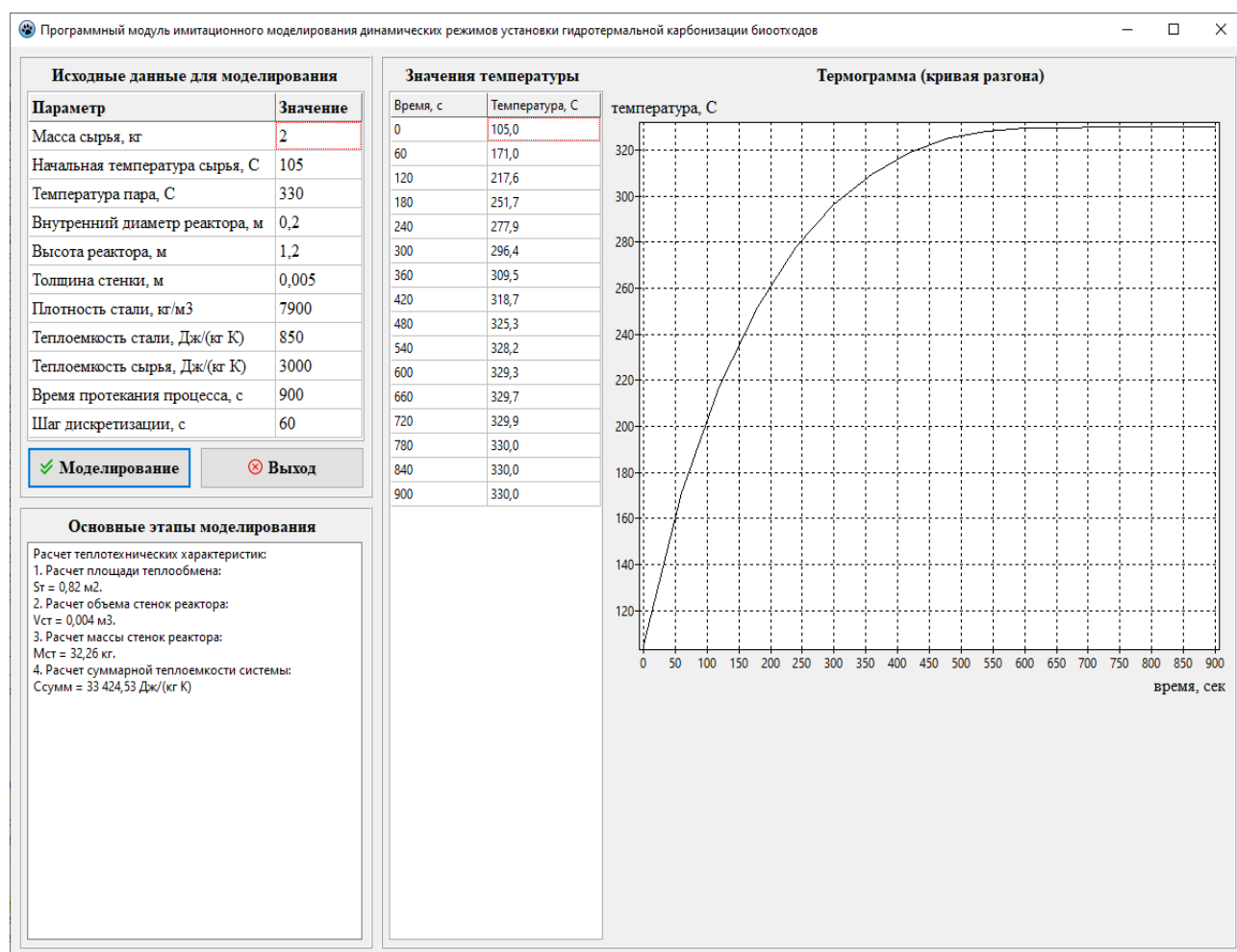


Рис. 1. Интерфейс программного модуля

По результатам имитационного моделирования динамических режимов процесса ГТК биоотходов можно сделать следующие выводы:

- теплотехнологический процесс в реакторе характеризуется относительно быстрым выходом на стационарный режим (~30 мин);
- нагрев до 200 °С осуществляется преимущественно за счет теплопередачи от пара;
- основные экзотермические реакции протекают в диапазоне 200...320 °С.

Необходимо также отметить, что при проведении имитационного моделирования использовалась упрощенная модель, так как реальные процессы теплопереноса в кипящем слое и кинетика процесса ГТК являются очень сложными и требуют применения методов вычислительной гидродинамики и специального программного обеспечения, позволяющего осуществлять численное моделирование потоков жидкостей и газов (CFD-моделирование).

Полученные результаты имитационного моделирования в дальнейшем планируется использовать при разработке алгоритмического обеспечения информационно-управляющей системы, которая будет осуществлять непрерывный мониторинг и оптимальное управление теплотехнологическим процессом ГТК биоотходов.

Библиографический список

1. Муратова, Н. С. Гидротермальная карбонизация биоотходов в кипящем слое в среде перегретого водяного пара : дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / Н. С. Муратова. – Тамбов, 2021. – 209 с.
2. Грибков, А. Н. Математическое моделирование динамических режимов теплотехнологических аппаратов / А. Н. Грибков, Д. С. Луцков, Н. Г. Буранова // Проблемы современной теплоэнергетики : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию специальности «Промышленная теплоэнергетика» в ЛГТУ, 70-летию Липецкой области и 90-летию Новолипецкого металлургического комбината. – Казань : ООО «Бук», 2024. – С. 151 – 157.

ВЫБОР СЫРЬЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ БИОГАЗА

Ю. А. Лысов, С. С. Никулин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: nikulin-s-s@mail.ru)

Сырье для биогазовых установок представляет собой органические отходы, способные к анаэробному (безкислородному) сбраживанию.

К основным видам сырья относятся:

- навоз сельскохозяйственных животных;
- сточные воды и осадки сточных вод;
- жиросодержащие отходы;
- отходы мясного производства;
- отходы пищевой промышленности;
- растительное сырье.

Основные характеристики сырья:

Содержание сухого вещества: отражает процент твердого остатка.

Содержание органического вещества: та часть сухого вещества, которая может быть переработана в биогаз (обычно 70...80% от сухого вещества).

C/N соотношение (углерод/азот): оптимальное значение 20:1...30:1. Нарушение баланса снижает выход биогаза.

Биогазовый потенциал: Количество кубических метров биогаза на 1 кг массы отходов.

Одной из основных характеристик, на которую следует обратить внимание при выборе сырья для биогазовой установки, это выход биогаза.

Наиболее традиционным сырьем для метанового сбраживания остаются отходы животноводства.

Навоз сельскохозяйственных животных дает от 39 до 87 м³ биогаза на тонну сырья. Этот показатель зависит от содержания воды, концентрации питательных веществ и содержания неразлагаемых фракций.

Птичий помет отличается высоким потенциалом: от 46 до 93 м³ биогаза на тонну сырья. Благодаря высокой концентрации азота и сухого вещества птичий помет при определенных условиях может давать биогаз почти вдвое больше, чем коровий навоз.

Осадки сточных вод дают выход биогаза около 70 м³, что соответствует показателям навоза. Хотя они и содержат разбавленную органику, объемы таких отходов часто компенсируют их невысокую энергетическую плотность.

Некоторые отходы животного происхождения обладают колоссальным энергетическим потенциалом:

Жировая ткань дает до 1290 м³ биогаза с тонны. Такой высокий выход связан с чрезвычайно высокой калорийностью жиров, однако переработка такого сырья требует точного контроля, чтобы избежать торможения метаногенеза из-за избытка жирных кислот.

Отходы мясобоен дают от 240 до 510 м³, представляют собой ценный, но биологически агрессивный субстрат, требующий тщательной подготовки.

Рыбные отходы дают до 300 м³, характеризуются высокой скоростью разложения, но могут вызывать аммиачное отравление в системе при избытке белков.

Зерновые культуры, продукты и отходы пищевой промышленности показывают высокие значения за счет содержания крахмалов и целлюлозы.

Мука и хлеб дают до 539 м³, но редко используются из-за высокой пищевой ценности.

Послеспиртовая барда и пивная дробина являются побочными продуктами пищевой промышленности. Выход биогаза варьируется от 45 до 95 м³ и 39 до 59 м³ соответственно.

Растительное сырье и сельскохозяйственные остатки демонстрируют высокую вариативность:

Силос – от 210 до 410 м³. Это делает силос отличным, легко доступным и предсказуемым сырьем.

Ботва растений и овощные отходы (280...500 м³) обладают отличным метановым потенциалом и быстро разлагаются в метантенке.

Сухой свекольный жом позволяет получить до 350...400 м³ биогаза с содержанием метана 55...60% [1].

Использование свекольного жома в качестве сырья для биогазовой установки имеет прочное научно-техническое и экономическое обоснование.

Сейчас свежий свекловичный жом используется на откорм коров и свиней. Чаще всего объем использования жома сахарных заводов на кормовые и другие цели не столь существенен. Таким образом, большое количество свекловичного жома – порядка 80...90% от веса переработанной сахарной свеклы отправляется на длительное хранение в жомовую яму, где он постепенно теряет свои полезные кормовые свойства [2].

Обоснование использования свекольного жома в биогазовых установках.

Высокое содержание легкоразлагаемой органики. Остаточные сахара и пектины обеспечивают быструю ферментацию и высокий выход метана.

Постоянная доступность сырья. Сахарные заводы производят большие объемы жома ежегодно, что создает устойчивую сырьевую базу.

Возможность хранения. Свекольный жом можно силосовать, сохраняя метановый потенциал в течение 6 – 12 месяцев. Это решает проблему сезонности.

Сбалансированное соотношение C:N (углерод:азот). Оптимальное значение $C:N \approx 20 - 25$, что способствует стабильной анаэробной ферментации без необходимости существенной корректировки.

Отсутствие токсичных примесей. В отличие от, например, навоза или сточных вод, свекольный жом не содержит аммиака, сульфидов и тяжелых металлов.

Свекольный жом по большинству параметров из растительного сырья уступает только кукурузному силосу, но при этом является бесплатным или дешевым. Его использование позволяет снизить затраты на закупку силоса и утилизировать производственные остатки экологически безопасным способом.

Экологические и экономические преимущества.

Снижение нагрузки на окружающую среду. Без утилизации жом быстро разлагается, выделяя метан и запахи – использование его в биогазовой установке предотвращает выбросы парниковых газов.

Замещение ископаемого топлива. Полученный биогаз может использоваться для выработки электроэнергии, тепла или биометана.

Получение ценного удобрения. Остаточный дигестат богат калием, фосфором и азотом и может использоваться как органическое удобрение.

Снижение расходов сахарных заводов. Возможна интеграция биогазовой установки прямо на производстве, что обеспечивает автономность по энергии.

Библиографический список

1. Свекловичный жом: ценность, заготовка и инновационные направления использования. – Сахар. – URL : <https://www.sugar.ru/node/47790> (дата обращения: 10.11.2025).

2. Мансуров, Р. Е. Технико-экономическая оценка перспектив модернизации сахарных заводов Республики Татарстан на основе использования биогазовых установок / Р. Е. Мансуров // Биозкономика и экобиополитика. – 2016. – № 1(2). – С. 68 – 72.

ОЦЕНКА БИОГАЗОВОГО ПОТЕНЦИАЛА СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА

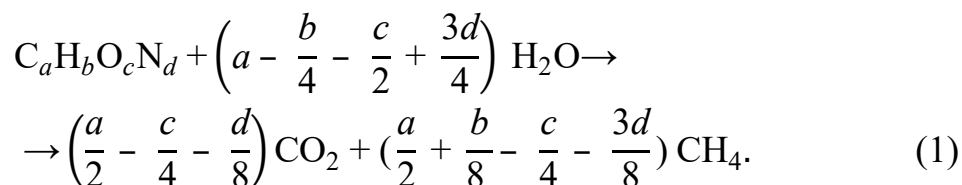
Ю. А. Лысов, С. С. Никулин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: nikulin-s-s@mail.ru)

Для определения энергетической ценности отходов сахарного производства необходимо оценить их биогазовый потенциал – т.е. количество биогаза, которое может быть получено при полном анаэробном разложении органического вещества.

Одним из распространенных методов расчета теоретического выхода биогаза является уравнение Бусвелла и Мюллера, которое описывает превращение органического соединения общей формулы $C_a H_b O_c N_d$ в продукты метанового брожения:



Однако для инженерных расчетов часто используют эмпирические данные, полученные в результате многочисленных экспериментов.

Основные расчетные показатели [1]:

- влажность сырого свекловичного жома: 85%;
- содержание органического вещества в сухом веществе жома: 95%;
- удельный выход биогаза из 1 кг органического вещества: 0,6 м³/кг;
- содержание метана в биогазе: 55...60%;
- теплотворная способность метана: 35,8 МДж/м³.

По результатам расчета выход биогаза на тонну свекловичного жома при анаэробном сбраживании составляет около 85 м³ биогаза, содержащего приблизительно 50 м³ метана, что эквивалентно 0,5 МВт·ч энергии.

Для подтверждения теоретических расчетов биогазового потенциала свекловичного жома были изучены экспериментальные данные, приведенные в научных и отраслевых источниках, а также выполнено моделирование процесса анаэробного сбраживания с использованием усредненных параметров.

Анализ экспериментальных данных [1] показывает, что процесс метанового брожения протекал стабильно. Выделяющийся биогаз имел среднее содержание метана около 57%, что соответствует типовым значениям для растительных субстратов. Высокая степень деструкции органических веществ (около 78%) подтверждает эффективность анаэробной переработки жома.

Для оценки поведения системы в промышленных условиях проведено упрощенное моделирование кинетики сбраживания на основе мономолекулярного уравнения разложения органического вещества:

$$S_t = S_0 e^{-kt}, \quad (2)$$

где S_0 – начальная концентрация органического вещества; S_t – остаточная концентрация органического вещества через время t ; k – константа скорости реакции, зависящая от температуры и состава субстрата, для свекловичного жома в мезофильных условиях принято $k = 0,08 \text{ сут}^{-1}$.

При $t = 28$ суток степень разложения определяется как

$$\eta = 1 - \frac{S_t}{S_0} = 1 - e^{-0,08 \cdot 28} = 0,89. \quad (3)$$

Таким образом, теоретическая степень разложения органического вещества составляет около 89%, что согласуется с экспериментальными данными (78...80%), подтверждая корректность выбранных параметров модели.

Полученные экспериментальные и расчетные данные свидетельствуют о высокой эффективности анаэробного сбраживания свекловичного жома. Процесс характеризуется устойчивостью, высоким выходом метана и значительным снижением органической нагрузки. Моделирование подтвердило возможность масштабирования процесса на промышленные объемы с сохранением основных кинетических параметров.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают перспективность применения технологии анаэробного сбраживания для утилизации отходов сахарного производства, а также обосновывают целесообразность разработки специализированной установки для переработки свекловичного жома в биогаз.

Библиографический список

1. Дыганова, Р. Я. Технология переработки свекловичного жома с использованием биоэнергетической установки / Р. Я. Дыганова, З. Р. Зайнашева // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2015. – Т. 221, № 1. – С. 64 – 67.

ПОПЛАВКОВЫЕ ДАТЧИКИ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

М. В. Макаrchук, И. В. Шашков, А. П. Королев

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: energ-lab@yandex.ru)

Поплавковые датчики являются важнейшими компонентами цифровых систем мониторинга, особенно для контроля уровня жидкости в системах отопления, таких как котлы и системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Благодаря использованию различных технологий, включая механические, емкостные, ультразвуковые и магнитные, поплавковые датчики обеспечивают безопасную и эффективную работу систем отопления. Их основная функция – контролировать и регулировать уровень жидкости, предотвращая перегрев, повреждение оборудования и снижение эффективности, которое может возникнуть из-за неправильного управления процессом.

Значимость поплавковых датчиков заключается в их способности интеграции с современными цифровыми системами мониторинга, обеспечивая сбор данных в режиме реального времени, автоматизацию и повышение безопасности. Они применяются в различных отраслях, от отопления жилых помещений до промышленных объектов, где точный контроль уровня жидкости критически важен для эффективности и безопасности эксплуатации. Поплавковые датчики позволяют значительно снизить затраты на техническое обслуживание и энергозатраты за счет оптимизации процессов отопления, что делает их предпочтительным выбором для компаний, стремящихся повысить производительность и надежность систем.

Несмотря на свои преимущества, поплавковые датчики не лишены недостатков. На их работу могут влиять условия окружающей среды, совместимость с различными жидкостями и необходимость регулярного обслуживания. Кроме того, по мере того, как в отраслях все шире внедряются технологии автоматизации и Интернета вещей, возникают вопросы безопасности данных и системной интеграции, что требует тщательного анализа при внедрении.

Поплавковые датчики можно разделить на несколько типов в зависимости от принципа работы и конструктивных особенностей: механические, емкостные, ультразвуковые, магнитные. Они используются в основном для регулирования уровня воды в котлах и других отопительных приборах, обеспечивая достаточную подачу воды и предотвращая потенциальные повреждения,

вызванные низким или высоким уровнем воды, помогают оптимизировать процесс отопления, сократить энергопотери и повысить общую производительность системы.

В современных системах отопления поплавковые датчики часто используются с электронными регуляторами температуры и системами управления энергопотреблением. Эти системы регулируют процесс теплоотдачи на основе данных с поплавковых датчиков в режиме реального времени, что позволяет адаптировать систему к изменяющимся условиям и поддерживать заданный температурный режим во всем здании.

Интеграция поплавковых датчиков с платформами Интернета вещей (IoT) позволяет осуществлять мониторинг данных в режиме реального времени, удаленное управление и автоматическую отправку оповещений, часто с помощью облачных решений или мобильных приложений. Данные системы не только повышают эксплуатационные характеристики, но и упрощают предиктивное обслуживание, позволяя предприятиям предвидеть проблемы и оптимизировать процессы обработки жидкостей.

В качестве преимуществ поплавковых датчиков следует отметить их дешевизну, простату, легкость установки, точность и надежность в работе, универсальность применения, адаптируемость к различным условиям.

Наряду с этим внедрение поплавковых датчиков в цифровые системы мониторинга систем отопления имеет ряд ограничений и проблем, которые необходимо решить для обеспечения оптимальной производительности и надежности. Перепады температуры, влажность, воздействие коррозионных веществ могут ограничивать использование поплавковых датчиков в системах отопления.

Будущее поплавковых датчиков уровня в цифровых системах мониторинга, особенно в системах отопления, характеризуется значительными достижениями и новыми тенденциями, направленными на повышение функциональности и интеграции. По мере развития технологий ожидается, что инновации приведут к дальнейшему повышению эффективности поплавковых датчиков уровня, обеспечивая конкурентоспособность предприятий в условиях все более сложной промышленной среды.

Библиографический список

1. Пат. № 2846655 С1 Российская Федерация, МПК F24D 19/10, F17D 5/02, H04Q 9/00. Способ централизованного контроля коммунальных сетей теплоснабжения / Балашов А. А., Корпусов Д. В. ; заявитель Федеральное госу-

дарственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» ; заявл. 13.02.2025 ; опубл. 11.09.2025.

2. Корпусов, Д. В. Повышение надежности теплоснабжения при эксплуатации тепловой сети / Д. В. Корпусов, А. А. Балашов, А. П. Королев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2023. – Т. 29, № 4. – С. 594 – 604.

ПРЕПЯТСТВИЯ К ЦИФРОВИЗАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

М. В. Макаrchук, И. В. Шашков, А. П. Королев

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: energ-lab@yandex.ru)*

Цифровизация систем теплоснабжения (ЦСТ) – это новое направление деятельности, направленное на повышение эффективности, надежности и устойчивости энергосистем, использующих тепловую энергию для отопления и охлаждения. В условиях растущего мирового спроса на решения в области чистой энергии интеграция цифровых технологий в ЦСТ привлекает значительное внимание благодаря своему потенциалу оптимизации энергопотребления, сокращения выбросов и содействия переходу на возобновляемые источники энергии. Однако путь к эффективной цифровизации сопряжен с трудностями, что делает его важным предметом изучения и обсуждения среди политиков, экспертов в области энергетики и заинтересованных сторон. К основным препятствиям на пути цифровизации ЦСТ относятся технические сложности, экономические барьеры, нормативные вопросы и организационное сопротивление. Разнородность существующих систем централизованного теплоснабжения и охлаждения создает значительные трудности для интеграции, поскольку многие из этих систем устарели и не имеют стандартизированных интерфейсов, что приводит к привязке к поставщику и усложняет взаимодействие между различными технологиями.

Кроме того, высокие первоначальные капитальные затраты в сочетании с отсутствием четкой нормативно-правовой базы еще больше затрудняют внедрение передовых цифровых решений во многих регионах, особенно на развивающихся рынках, где инвестиции имеют решающее значение для перехода к устойчивой энергетике.

Споры возникают и вокруг экономических последствий цифровизации. Несмотря на снижение номинальной стоимости возобновляемой энергии, укоренившиеся экономические модели, ориентированные на ископаемое топливо, часто препятствуют инвестициям в более чистые технологии, поднимая вопросы о справедливости и доступности при энергетическом переходе.

Внедрение цифровых решений в сфере ЦСТ осложняется отсутствием навыков у персонала.

Решение этих многогранных задач требует совместного подхода, включающего надежную нормативную базу, взаимодействие с заинтересованными сторонами и непрерывные инновации в технологиях и материалах. Преодолевая препятствия на пути цифровизации, заинтересованные стороны стремятся не только повысить эксплуатационную эффективность теплоэнергетических систем, но и внести вклад в достижение более широких целей по борьбе с изменением климата и внедрение устойчивой энергетики.

Цифровизация систем тепловой энергетики сталкивается с многочисленными техническими проблемами, препятствующими ее широкому внедрению и эффективной интеграции. Эти проблемы обусловлены сочетанием сложностей инфраструктуры, проблем интеграции и внутренних характеристик соответствующих систем.

Экономические барьеры существенно затрудняют переход к цифровым системам тепловой энергии. Несмотря на заметное снижение затрат, связанных с технологиями возобновляемой энергетики, сохраняются проблемы с их конкурентоспособностью по сравнению с традиционными источниками ископаемого топлива с учетом общих системных затрат, таких как интеграция в сеть и потребности в хранении.

Высокий первоначальный капитал, необходимый для новых энергетических проектов, особенно крупномасштабных инфраструктурных, еще больше усложняет ситуацию, делая доступ к финансированию критически важным, особенно для непроверенных технологий или регионов, считающихся высокорискованными для инвестиций.

Ключевое препятствие возникает из-за укоренившихся экономических моделей, которые долгое время отдавали предпочтение отраслям, использующим ископаемое топливо, и которые часто игнорируют долгосрочные преимущества устойчивой энергетики, такие как улучшение показателей общественного здравоохранения и смягчение последствий изменения климата, рассматривая энергию прежде всего как экономический товар.

Эта узкая перспектива ставит во главу угла минимизацию краткосрочных затрат, а не более широкое социальное и экологическое благополучие, что при-

водит к значительной экстернализации затрат, связанных с использованием ископаемого топлива.

Более того, несмотря на снижение приведенной стоимости энергии из возобновляемых источников, сохраняются проблемы с финансированием инновационных энергетических проектов, особенно находящихся на ранних стадиях или предлагающих прорывные технологии. Традиционные финансовые институты могут считать такие инвестиции более рискованными по сравнению с традиционными энергетическими проектами, что приводит к несоответствиям в доступности финансирования, особенно в странах с формирующейся рыночной экономикой и развивающихся странах. В этих условиях высокие капитальные затраты делают проекты в области возобновляемой энергетики непомерно затратными, тем самым усугубляя энергетическую бедность и ограничивая внедрение более чистых технологий.

Зависимость от прежнего пути развития еще больше усложняет переход, создавая инерцию в существующих энергетических системах. Существующие инфраструктуры, нормативно-правовая база и цепочки поставок, связанные с ископаемым топливом, создают серьезные препятствия для внедрения альтернативных технологий, поскольку их замена или перепрофилирование требуют значительных инвестиций.

Эта ситуация очевидна в таких секторах, как автомобильная промышленность, где наследие двигателей внутреннего сгорания создало обширную вспомогательную инфраструктуру, которая препятствует быстрому внедрению электромобилей.

Кроме того, отсутствие стандартизированных интерфейсов и протоколов для подключения различных энергетических мощностей к сети увеличивает затраты на интеграцию и затрудняет объединение более мелких ресурсов в виртуальные электростанции.

Решение этих проблем фрагментации имеет решающее значение для раскрытия потенциала инноваций в области распределенной энергетики и достижения плавного перехода к цифровым системам тепловой энергии.

Библиографический список

1. Информационно-измерительная система контроля надежности тепловых сетей / А. А. Балашов, Д. В. Корпусов, М. С. Мещерякова, Ю. С. Корябкин // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. тр. IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Тамбов, 07 мая 2024 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2024. – С. 149–150.

2. Информационно-измерительная система контроля протечек в колодцах водопровода / А. А. Балашов, Т. А. Листопадская, Н. Н. Кожухов, А. А. Махоренко // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. тр. Восьмой Всерос. молодеж. науч. конф., Тамбов, 10 мая 2023 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – С. 152–153.

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

М. В. Макаrchук, И. В. Шашков, А. П. Королев

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: energ-lab@yandex.ru)*

Цифровые двойники в тепловых электроэнергетических системах представляют собой революционное технологическое достижение, интегрирующее физическую и цифровую среды, что позволяет улучшить мониторинг, предиктивное обслуживание и оптимизацию эксплуатации электрогенерирующих объектов.

Концепция цифровых двойников, появившаяся в начале 2000-х, стала ответом на растущую потребность в эффективности и предиктивных возможностях в различных отраслях и нашла широкое применение в энергетическом секторе, особенно в теплоэнергетике.

Интеграция передовых технологий, таких как Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение, еще больше повысила функциональность цифровых двойников, упрощая анализ данных и принятие решений в режиме реального времени, что соответствует целям отрасли по надежности и устойчивому развитию.

Несмотря на потенциал, внедрение цифровых двойников в теплоэнергетические системы сопряжено с определенными трудностями. Проблемы, связанные с интеграцией данных, совместимостью существующих систем, вычислительными требованиями и кибербезопасностью, по-прежнему остаются актуальными, что препятствует широкому внедрению и повышению их эффективности.

Цифровые двойники в теплоэнергетических системах состоят из различных интегральных компонентов, которые совместно создают точное виртуальное представление физических активов, процессов и операций. Эти компонен-

ты можно разделить на несколько ключевых областей: источники данных, фреймворки взаимодействия и передовые технологии.

Цифровые двойники в теплоэнергетических системах используют различные передовые технологии для оптимизации работы, повышения производительности и обеспечения предиктивного обслуживания. К ним относятся Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ), машинное обучение и вычислительная гидродинамика (CFD).

Цифровые двойники позволяют осуществлять мониторинг и управление тепловыми электростанциями в режиме реального времени, интегрируя данные с интеллектуальных счетчиков, датчиков и другого эксплуатационного оборудования. Этот комплексный обзор состояния оборудования критически важен для поддержания безопасности и оптимизации производительности. Возможность визуализации распределения температур и выявления точек перегрева в критически важных компонентах, таких как трансформаторы и распределительные устройства, позволяет проводить упреждающее обслуживание и своевременно вмешиваться в работу до возникновения сбоев.

Одним из ключевых применений цифровых двойников в теплоэнергетических системах является предиктивное обслуживание. Используя передовые возможности моделирования и предиктивной аналитики, операторы могут предвидеть потенциальные сценарии перегрева и другие проблемы до того, как они приведут к катастрофическим отказам. Этот проактивный подход позволяет значительно сократить время простоя и продлить срок службы критически важного оборудования, тем самым снижая эксплуатационные расходы.

В перспективе развитие технологии цифровых двойников в теплоэнергетических системах указывает на все более автономную работу. Ожидается, что модели следующего поколения будут включать сложные алгоритмы искусственного интеллекта, способные непрерывно обучаться и адаптироваться к изменяющимся условиям и устаревающей инфраструктуре. Эта эволюция, вероятно, расширит возможности прогнозирования цифровых двойников, позволяя им не только выявлять потенциальные проблемы, но и автоматически реализовывать стратегии их устранения в режиме реального времени, что еще больше повысит эффективность и устойчивость теплоэнергетики.

Цифровые двойники предлагают множество преимуществ в различных областях применения, особенно в теплоэнергетических системах. Их способность воспроизводить реальные условия в виртуальной среде позволяет значительно повысить эксплуатационную эффективность, качество предиктивного обслуживания и общие процессы принятия решений.

Цифровые двойники повышают эксплуатационную эффективность за счет непрерывного мониторинга и моделирования работы тепловых энергосистем. Это зеркальное отображение в реальном времени позволяет выявлять узкие места и оптимизировать рабочие процессы, что приводит к более эффективному использованию ресурсов и снижению эксплуатационных расходов.

Кроме того, они позволяют проводить тестирование сценариев для новых прошивок и логики управления, что усиливает стратегии снижения рисков за счет проверки реакции системы на потенциальные неисправности перед их реализацией.

Благодаря доступу к данным в режиме, близком к реальному времени, и передовой аналитике цифровые двойники способствуют более эффективному принятию решений. Заинтересованные стороны могут визуализировать результаты анализа цифровых двойников на информационных панелях, что позволяет принимать обоснованные решения на основе данных, которые улучшают операционные стратегии.

Эта способность принимать обоснованные решения особенно ценна в сложных теплоэнергетических системах, где на производительность могут влиять многочисленные переменные.

Внедрение технологии цифровых двойников может привести к значительной экономии энергии: исследования показывают потенциальное сокращение эксплуатационных расходов до 30%. Повышая эффективность использования энергии и управления температурным режимом, цифровые двойники способствуют снижению выбросов парниковых газов, одновременно повышая рентабельность тепловых электростанций. Практические исследования показали, что системы, разработанные с использованием цифровых двойников, могут производить больше энергии, чем потребляют, что еще раз демонстрирует их экономическую эффективность и потенциал устойчивого развития.

Цифровые двойники также улучшают протоколы безопасности в тепловых электроэнергетических системах. Они позволяют моделировать опасные условия, позволяя отрабатывать меры реагирования, не подвергая риску персонал или имущество. Этот проактивный подход к управлению безопасностью обеспечивает возможность корректировки операций на основе реалистичных данных и проверенных сценариев.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что цифровые двойники произведут революцию в секторе теплоэнергетики, что приведет к повышению эксплуатационной эффективности, повышению устойчивости и созданию более адаптивных систем управления энергопотреблением.

Библиографический список

1. Воеводкин, С. А. Моделирование процесса свободной конвекции для определения коэффициента теплоотдачи горизонтальной трубы / С. А. Воеводкин, А. А. Дурнов, А. А. Балашов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 16–17 ноября 2021 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – С. 97–98.
2. Дурнов, А. А. Моделирование процесса теплопроводности для определения теплофизических свойств твердых тел / А. А. Дурнов, С. А. Воеводкин, А. А. Балашов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 16–17 ноября 2021 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – С. 99–100.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ДОМА В Г. ТАМБОВЕ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А. А. Махоренко

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: teplotehnika@tstu.ru)*

В статье представлены результаты комплексного технико-экономического и экологического анализа применения теплового насоса (ТН) типа «воздух–вода» для теплоснабжения типового жилого дома в климатических условиях г. Тамбова. Проведено сравнение с традиционными системами на газовом и электрическом топливе. Особое внимание уделено оценке синергетического эффекта, возникающего при интеграции ТН в цифровую экосистему «умного» здания, что позволяет существенно повысить энергоэффективность и управляемость системы. На основе построенной модели доказывается целесообразность внедрения ТН, особенно для объектов, не подключенных к магистральному газу. Сформулированы выводы и практические рекомендации для проектировщиков, собственников жилья и муниципальных органов.

Современный этап развития энергетики характеризуется двумя взаимосвязанными глобальными трендами: декарбонизацией и цифровой трансформацией (Индустрия 4.0). В Российской Федерации эти тенденции находят отражение в национальных проектах и стратегиях, направленных на повышение энергоэффективности, развитие распределенной генерации и модернизацию инфраструктуры на основе технологий Интернета вещей (IoT) и больших данных.

Теплоснабжение жилого сектора, особенно в регионах, в значительной степени зависит от использования природного газа и централизованных сетей, характеризующихся высокими потерями. В этой связи актуальным является поиск технологически совершенных, экономически обоснованных и экологически безопасных альтернатив. Тепловой насос (ТН), использующий возобновляемую низкопотенциальную энергию окружающей среды (воздуха, грунта, воды), представляет собой одну из наиболее перспективных технологий. Его потенциал в условиях России остается недооцененным, что часто связано с упрощенным анализом, не учитывающим региональную специфику и системные преимущества интеграции в цифровую среду.

Таким образом, научная проблема данного исследования заключается в необходимости разработки комплексного подхода к оценке эффективности ТН, который бы синтезировал точный технико-экономический расчет для конкретных климатических условий (на примере г. Тамбова) с анализом дополнительного эффекта, достигаемого за счет цифровизации управления энергопотреблением.

Целью исследования является проведение комплексного анализа технико-экономической и экологической эффективности применения теплового насоса типа «воздух–вода» для теплоснабжения типового жилого дома в г. Тамбове и количественная оценка потенциала повышения этой эффективности при его интеграции в систему цифрового управления.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: сформировать модель типового жилого дома и проанализировать климатические условия г. Тамбова для корректного подбора оборудования; провести сравнительный технико-экономический анализ трех систем: газовый котел, электрический котел, тепловой насос «воздух–вода»; оценить экологический эффект от перехода на ТН в виде снижения выбросов CO₂; проанализировать потенциал повышения общей эффективности системы за счет применения технологий цифровизации (IoT, прогнозная аналитика, удаленное управление).

В качестве объекта исследования принят типовой двухэтажный индивидуальный жилой дом общей площадью 150 м², расположенный в г. Тамбове. Конструкция здания соответствует современным нормам тепловой защиты: стены из газобетона с утеплением, утепленная кровля, энергоэффективные стеклопакеты. Расчетные теплотери здания при температуре наружного воздуха –25 °С составили 12 кВт.

Для анализа выбраны три варианта системы теплоснабжения: конденсационный газовый котел мощностью 14 кВт; электродкотел мощностью 12 кВт; тепловой насос «воздух–вода» инверторного типа номинальной мощностью 14 кВт [1 – 5].

Методология оценки включала: расчет сезонного коэффициента эффективности (SCOP) на основе градусо-суток отопительного периода; определение капитальных (CAPEX) и эксплуатационных (OPEX) затрат на основе рыночных цен и тарифов (газ: 6,5 руб./м³, электроэнергия: 4,5 руб./(кВт·ч)); оценка снижения выбросов CO₂ с учетом удельных показателей для электроэнергии (0,198 кг/(кВт·ч)) и природного газа (0,202 кг/(кВт·ч)); рассмотрение возможности дооснащения ТН IoT-контроллером для реализации функций адаптивного управления.

На основе кривой теплотерь здания и зависимости COP ТН от температуры был проведен расчет средневзвешенного за отопительный период сезонного коэффициента эффективности (SCOP), который составил 3.1. Это подтверждает, что в условиях Тамбова ТН «воздух–вода» производит в среднем более 3 кВт·ч тепла на 1 кВт·ч потребленной электроэнергии. Подобранный модель номинальной мощностью 14 кВт покрывает 100% потребности в тепле до температуры –20 °С.

Анализ показывает, что ТН обладает наименьшими годовыми эксплуатационными расходами – почти в два раза ниже, чем у газового котла, и в три раза ниже, чем у электродкотла. По сравнению с электродкотлом дополнительные капитальные вложения в ТН окупаются менее чем за 4 года, что является отличным показателем. Сравнение с газовым котлом дает срок окупаемости около 8,5 лет, что в условиях текущих низких тарифов на газ может сдерживать инвестиции. Однако ключевым фактором является стоимость подключения к газораспределительной сети. Если такое подключение отсутствует или его стоимость превышает 300...400 тыс. руб., тепловой насос становится экономически оптимальным решением с первого дня эксплуатации, исключая зависимость от прокладки коммуникаций.

Интеграция теплового насоса в цифровую экосистему здания через IoT-платформу трансформирует его из статичного источника тепла в активный, адаптивный и прогнозируемый элемент энергосистемы. Это позволяет реализовать сценарии, дающие дополнительную экономию в 15...25% от ОРЕХ:

1. Контроллер автоматически корректирует температуру теплоносителя на основе текущих и прогнозных метеоданных, предотвращая «перетоп» и снижая энергопотребление.

2. Система способна смещать часть нагрузки на работу в ночные часы с минимальным тарифом, аккумулируя тепло в буферной емкости или конструкциях здания.

3. Непрерывный мониторинг рабочих параметров (давление, ток компрессора) позволяет выявлять аномалии и прогнозировать отказы, минимизируя затраты на ремонт и простои.

4. В перспективе ТН может выступать как управляемая нагрузка, получая сигналы от сетевого оператора для кратковременного снижения мощности в пиковые периоды, повышая общую устойчивость энергосистемы региона.

Направления дальнейших исследований видятся в углубленном анализе гибридных систем «ТН + солнечная генерация», моделировании работы кластеров зданий с ТН на уровне микрорайона для оптимизации сетевой инфраструктуры и разработке продвинутых алгоритмов на основе искусственного интеллекта для максимизации экономии и комфорта.

Библиографический список

1. Горбаченок, М. А. Выбор оптимального источника тепловой энергии жилого дома / М. А. Горбаченок, А. А. Балашов // Цифровая трансформация в энергетике : сб. тр. конф., Тамбов, 19 декабря 2024 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025. – С. 24 – 26.

2. Балашов, А. А. Содержания системы теплоснабжения многоквартирного дома / А. А. Балашов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. докл. 2 Междунар. конф. с элементами научной школы, Тамбов, 22 – 24 апреля 2015 года. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2015. – С. 210 – 212.

3. Метод выбора систем отопления с учетом внешних факторов / А. А. Балашов, И. В. Якунина, Т. А. Истомина, П. А. Абрашкин // Цифровая трансформация в энергетике : материалы Всерос. науч. конф., Тамбов, 17–18 декабря 2019 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – С. 44 – 47.

4. Леонова, О. В. Оптимизация системы отопления жилого дома в г. Тамбове / О. В. Леонова, А. А. Балашов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 10 – 12 июля 2017 года ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2017. – С. 221–222.

5. Якунина, И. В. Исследование метода энергосбережения при выборе систем водяного отопления с учетом внешних факторов / И. В. Якунина, А. А. Балашов, П. А. Абрашкин // Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 15-летию Ассоциации «Объединенный университет имени В. И. Вернадского», Тамбов, 29 – 31 мая 2019 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – Т. I. – С. 294 – 297.

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ НА ПРИМЕРЕ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Д. Д. Миронова

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
Москва, Россия*

(e-mail: daria.dmir20@yandex.ru)

Цифровая трансформация производственных процессов является ключевым направлением технологического развития. Особую актуальность эта задача приобретает при модернизации систем управления критически важным оборудованием, где требования к надежности, точности и быстродействию исключительно высоки.

Фазированные антенные решетки (ФАР) представляют собой прецизионные устройства, широко применяемые в системах связи и радиолокации энергетических объектов. Это наиболее эффективные и перспективные антенные системы, позволяющие осуществлять быстрый обзор пространства, многофункциональный режим работы, комплексирование радиосредств, адаптацию к конкретной радиообстановке, предварительную обработку сверхвысокочастотных (СВЧ) сигналов, обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС). Требования к техническим характеристикам антенн вытекают из назначения радиосистемы, условий размещения, режима работы, допустимых затрат [1].

Поддержание стабильного температурного режима ФАР является критически важной задачей, поскольку отклонение температуры от рабочего диапазона приводит к ухудшению электрофизических характеристик и снижению эффективности работы системы в целом. Как показано в работах по структурно-электромагнитно-тепловой (SET) связи в ФАР, даже небольшие отклонения температуры вызывают термодформации и дрейф параметров приемопередающих модулей, что напрямую снижает усиление антенны, увеличивает уровень боковых лепестков и ухудшает точность наведения луча. Например, для космической ФАР размером 128×768 усиление снижается на 0,015 дБ при каждом повышении температуры на 1°C в диапазоне $25 \dots 85^\circ\text{C}$ [2].

Традиционные системы терморегулирования, основанные на электромеханических реле и аналоговых датчиках, обладают рядом существенных недостатков: ограниченный функционал, низкая точность поддержания температуры, отсутствие возможностей диагностики и удаленного мониторинга. Цифровизация таких систем позволяет не только устранить эти недостатки, но и получить дополнительные конкурентные преимущества.

В рамках модернизации разработана распределенная система управления температурным режимом на основе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Архитектура системы включает:

- Цифровые датчики температуры с интерфейсами связи, обеспечивающие точность измерений $\pm 0,5^\circ\text{C}$ в диапазоне от -60 до $+125^\circ\text{C}$;
- Программируемые логические элементы на основе ПЛИС, реализующие сложные алгоритмы управления с возможностью адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации;
- Цифровые каналы связи с резервированием, обеспечивающие надежную передачу данных между центральной ячейкой управления и периферийными модулями;
- Автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора с возможностью мониторинга параметров системы в реальном времени, формирования отчетов и архивирования данных.

Реализация проекта цифровизации системы терморегулирования основана на комплексе передовых технических решений, обеспечивающих высокую надежность и эффективность работы оборудования. Центральным элементом системы стало применение программируемой логической интегральной схемы, которая обеспечивает выполнение сложных алгоритмов управления в реальном времени. Для защиты интерфейсных линий от импульсных помех и статиче-

ских разрядов используются двунаправленные TVS-диоды, обеспечивающие симметричное ограничение как положительных, так и отрицательных выбросов напряжения. Это решение особенно актуально для промышленных условий эксплуатации, где длинные кабельные линии подвержены воздействию электромагнитных помех.

Важным аспектом повышения надежности системы стало применение оптронов для гальванической развязки цифровых сигналов. Данные компоненты обеспечивают электрическую изоляцию между входными цепями и внутренней логикой ПЛИС с напряжением изоляции до 100 В, что исключает возможность распространения помех по цепям питания и управления. Реализованный циклический алгоритм управления с периодом 1 секунда обеспечивает своевременное реагирование на изменения температурных параметров, при этом каждый цикл включает многоуровневую проверку данных с автоматическим переключением на резервные каналы связи при обнаружении сбоев.

Для обеспечения достоверности передаваемой информации внедрены протоколы контроля целостности данных с вычислением контрольных сумм, что исключает возможность выполнения некорректных команд на основе ошибочных данных. Дополнительно реализован аппаратный контроль критических параметров, включая независимые компараторы для аварийных температурных порогов, обеспечивающие отключение оборудования даже в случае отказа основной системы управления.

Внедрение цифровой системы терморегулирования позволило достичь значительных технико-экономических показателей. Масса системы снижена на 100 кг (20,5%) за счет замены громоздких электромеханических компонентов на компактные электронные модули. Габаритные размеры оборудования уменьшены на 35%, что особенно важно при модернизации существующих энергетических объектов с ограниченным пространством для размещения оборудования. Точность поддержания температуры повышена с ± 5 до $\pm 0,5$ °С, что обеспечивает стабильность электрофизических характеристик фазированных антенных решеток и повышает эффективность их работы.

Оптимизация алгоритмов работы позволила снизить энергопотребление системы на 15% за счет исключения одновременной работы нагревателей и вентиляторов и реализации адаптивных режимов управления. Надежность системы значительно повышена – межремонтный период увеличен в 2,5 раза, а затраты на техническое обслуживание сокращены на 40% благодаря встроенным системам самодиагностики и прогнозирования отказов.

Предложенные цифровые решения обладают значительным потенциалом масштабирования и могут быть адаптированы для других систем управления в электроэнергетике. В системах контроля и управления силовым оборудованием возможно применение аналогичных архитектур для мониторинга состояния трансформаторов, генераторов и силовых преобразователей. Для устройств релейной защиты и автоматики использование ПЛИС позволяет реализовать сложные алгоритмы защиты с возможностью адаптации к изменяющимся режимам работы сети.

Системы мониторинга состояния оборудования могут быть дополнены разработанными решениями по сбору и обработке телеметрической информации с обеспечением гальванической развязки и защиты от помех. Комплексы управления распределенными энергоресурсами также могут использовать предложенные подходы к созданию отказоустойчивых систем связи и реализации интеллектуальных алгоритмов управления, обеспечивающих оптимизацию режимов работы распределенной генерации и потребления энергии.

Дальнейшее развитие направления связано с интеграцией искусственного интеллекта для прогнозирования тепловых режимов и предиктивной аналитики отказов оборудования.

Цифровизация систем управления в электроэнергетике представляет собой стратегическое направление технологического развития. Представленное решение по модернизации системы терморегулирования ФАР демонстрирует значительный потенциал цифровых технологий в повышении эффективности, надежности и экономичности производственных процессов.

Внедрение подобных систем способствует созданию интеллектуальной энергетической инфраструктуры, соответствующей требованиям цифровой экономики и обеспечивающей устойчивое развитие электроэнергетического комплекса.

Библиографический список

1. Проектирование фазированных антенных решеток : учебное пособие для вузов / В. С. Филиппов, Л. И. Пономарев, А. Ю. Гринев и др. ; под ред. Д. И. Воскресенского. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Радио и связь, 1994. – 592 с.
2. Structural-Electromagnetic-Thermal Coupling Technology for Active Phased Array Antenna / P. Xu, Y. Wang, X. Xu, et al. // International Journal of Antennas and Propagation. – 2023. – V. 2023, Is. 1.

КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ РАЗРАБОТКИ И РЕАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Е. М. Николюкина, А. Н. Грибков

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: teplotehnika@mail.tstu.ru)*

Энергосбережение, повышение энергетической эффективности объектов и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов являются одними из важнейших задач, стоящих перед экономикой нашей страны. Актуальность энергосбережения и рационального энергопотребления обусловлена рядом факторов, среди которых можно выделить следующие: рост цен на энергоносители; постепенное истощение запасов органического топлива; ухудшение экологической обстановки и др.

В настоящее время в рамках энергетического менеджмента применяются весьма эффективные методики, обеспечивающие разработку и реализацию энергосберегающих мероприятий. Типовая методика предполагает выполнение комплекса мероприятий, таких как:

- проведение энергетического обследования (энергоаудита);
- разработка энергетического паспорта потребителя топливно-энергетических ресурсов (ТЭР);
- реализация энергосберегающих мероприятий, рекомендованных по результатам энергоаудита;
- проведение работ по поддержанию и повышению достигнутых показателей в области энергетической эффективности.

Вместе с тем многие потребители ТЭР сталкиваются со значительными трудностями на этапе реализации энергосберегающих мероприятий, рекомендованных по результатам энергоаудита. Что, в первую очередь, связано с нехваткой финансовых и материальных ресурсов, необходимых для полного выполнения разработанной программы энергосбережения, в связи с чем возникает задача выбора наиболее оптимальных энергосберегающих мероприятий с точки зрения соотношения их потенциальной эффективности и необходимых финансовых и материальных затрат на их реализацию.

Одним из возможных подходов к решению данной задачи является применение информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС), построенных на базе современных цифровых интеллектуальных технологий, которые способны решать сложные задачи оптимизации, оптимального управ-

ления и принятия решений. Современные технологии и управленческие решения позволяют значительно сократить потребление энергии, что способствует устойчивому развитию экономики и повышению конкурентоспособности предприятий [1].

Для пояснения предлагаемого подхода представим процесс разработки и реализации энергосберегающих мероприятий в виде функциональной модели. Контекстная диаграмма, показывающая взаимодействие моделируемого процесса с внешней средой, приведена на рис. 1.

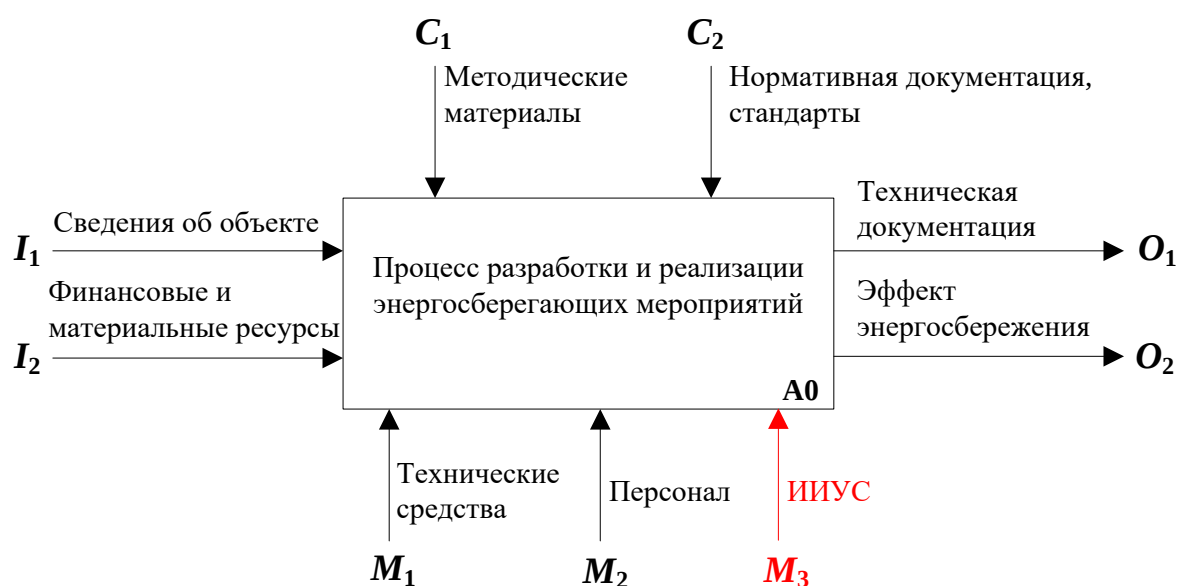


Рис. 1. Контекстная диаграмма

На вход поступают исходные данные в виде необходимых сведений об объекте I_1 , а также финансовые и материальные ресурсы I_2 , выделенные на проведение процесса разработки и реализации энергосберегающих мероприятий. Выходами являются: O_1 – техническая документация, включающая отчет о результатах проведенного энергоаудита, энергетический паспорт потребителя ТЭР и т.д.; O_2 – полученный в результате выполнения процесса эффект энергосбережения. Управления включают методические материалы C_1 и нормативную документацию по энергосбережению C_2 . Механизмами являются: M_1 – технические средства, включающие необходимые контрольно-измерительные приборы для проведения энергоаудита, персональные компьютеры с необходимым программным обеспечением и т.д.; M_2 – персонал, участвующий в разработке и реализации программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Для реализации предлагаемого подхода в модель вводится дополнительный механизм M_3 – ИИУС, которую формально можно отнести к механизму M_1 , но для наглядности она показана отдельно.

На рисунке 2 показана дальнейшая детализация процесса в виде диаграммы декомпозиции первого уровня, которая включает четыре подпроцесса (этапа).

На первом этапе (подпроцесс А1 – «Энергетическое обследование объекта») проводится энергетическое обследование (энергоаудит) объекта, в ходе которого осуществляются сбор и обработка информации об использовании энергетических ресурсов. На вход поступает исходная информация об объекте обследования $I_{1,1} = I_1$ (удельные расходы ТЭР, параметры энергоносителей, информация об источниках энергоснабжения, инженерных системах, системе учета потребления энергоресурсов и т.д.). По итогам выполнения первого этапа формируется отчет по результатам энергетического обследования объекта $O_{1,1}$. Управлениями являются методическая ($C_{1,1}$) и нормативная ($C_{2,1}$) документация по проведению энергоаудита. В качестве механизмов выступают измерительные приборы ($M_{1,1}$), применяемые при проведении инструментального аудита, и персонал организации ($M_{2,1}$), проводящей энергетическое обследование объекта.

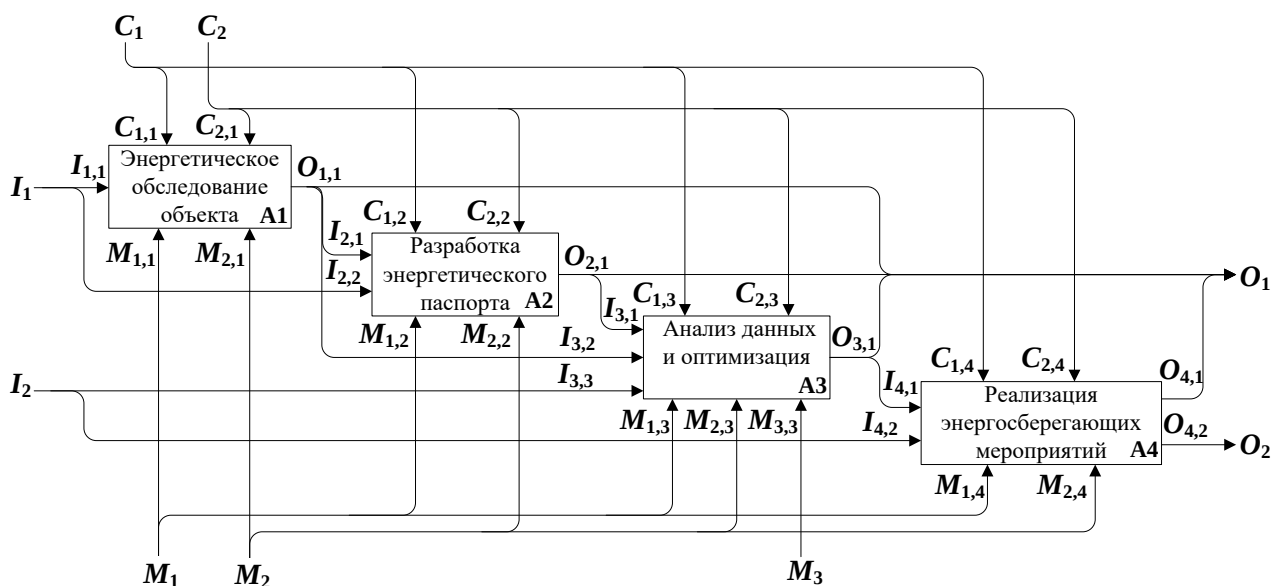


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции первого уровня

На втором этапе (подпроцесс А2 – «Разработка энергетического паспорта») по результатам энергоаудита составляется энергетический паспорт потребителя ТЭР ($O_{2,1}$). На вход подпроцесса поступает информация, полученная в ходе выполнения предыдущего этапа $I_{2,1} = O_{1,1}$, а также исходные сведения об объекте $I_{2,2} = I_1$. Управления: методическая ($C_{1,2}$) и нормативная ($C_{2,2}$) документация по составлению энергетического паспорта потребителя ТЭР. Механизмы: персональный компьютер и специализированное программное обеспечение ($M_{1,2}$); персонал ($M_{2,2}$).

Третий этап (подпроцесс А3 – «Анализ данных и оптимизация») обеспечивает решение задачи формирования оптимальной программы энергосбережения с учетом доступных финансовых и материальных ресурсов, которые могут быть направлены на реализацию энергосберегающих мероприятий. На вход подпроцесса поступает информация от предыдущих этапов ($I_{3,1} = O_{2,1}$, $I_{3,2} = O_{1,1}$), а также сведения об имеющихся финансовых и материальных ресурсах ($I_{3,3} = I_2$). Выходом является оптимальная программа ($O_{3,1}$), включающая в свой состав мероприятия, реализация которых в совокупности позволит получить наибольший эффект энергосбережения. Формирование оптимальной программы энергосбережения обеспечивается механизмом M_3 (ИИУС). ИИУС представляет собой программно-аппаратный комплекс, в состав которого входят: база данных; база знаний; подсистема пользовательского интерфейса и программные модули (анализа данных, прогнозирования и имитационного моделирования, синтеза оптимального решения и др.) [2].

На четвертом этапе (подпроцесс А4 – «Реализация энергосберегающих мероприятий») осуществляется внедрение энергосберегающих мероприятий, прописанных в разработанной на предыдущем этапе программе энергосбережения ($I_{4,1} = O_{3,1}$). На выходе подпроцесса формируется необходимая техническая документация по результатам реализации энергосберегающих мероприятий ($O_{4,1}$), а также оценивается итоговый эффект энергосбережения ($O_{4,2} = O_2$).

Рассмотренный подход, основанный на применении современных цифровых интеллектуальных технологий, позволяет повысить эффективность процесса разработки и реализации энергосберегающих мероприятий в условиях ограниченности финансовых и материальных ресурсов.

Библиографический список

1. Филин, Ю. И. Энергетическая стратегия энергосбережения промышленных предприятий в России / Ю. И. Филин // Вестник Брянской ГСХА. – 2025. – № 4(110). – С. 68 – 72.
2. Принципы построения интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, Н. Ю. Залукаева и др. // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства : материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. – Омск : Омский государственный технический университет, 2020. – С. 246–247.
3. Березин, А. О. Прогнозирование структуры энергосберегающих мероприятий в сфере ЖКХ с учетом интенсивности их внедрения / А. О. Березин // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 1(78). – С. 205 – 210.

4. Амирханова, А. Ф. Управление разработкой мероприятий по внедрению энергосберегающих технологий в энергообеспечении / А. Ф. Амирханова, Р. Н. Пигилова // International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. – 2024. – № 1. – С. 3 – 8.

5. Гринина, А. Н. Разработка алгоритма выбора оптимальных энергосберегающих мероприятий в системе энергосбережения промышленного предприятия / А. Н. Гринина // Перспективные системы и технологии как парадигма технического прорыва : сб. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., Тюмень, 08 января 2020 года. – Тюмень : Общество с ограниченной ответственностью «Агентство международных исследований», 2020. – С. 21 – 28.

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

П. Н. Никулин, С. Ю. Евдокимова

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: pasha2011nikulin@yandex.ru, svetik210102@mail.ru)*

На промышленных предприятиях с высокой концентрацией оборудования с индуктивной нагрузкой (асинхронные двигатели, трансформаторы, индукционные печи) неизбежно возникает проблема генерации реактивной мощности. Эта составляющая полной мощности не совершает полезной работы, но вызывает значительные негативные последствия: перегрузку кабелей и трансформаторов, дополнительные потери на нагрев, просадки напряжения, снижение пропускной способности сети и, как следствие, штрафы от энергоснабжающих организаций за низкий коэффициент мощности ($\cos\phi$). Эффективное решение данной проблемы – внедрение автоматических систем компенсации реактивной мощности (АСКРМ), которые не только экономят ресурсы, но и повышают надежность и качество электроснабжения [1, 2]. Основу классической АСКРМ составляют конденсаторные батареи (КБ), которые генерируют опережающий реактивный ток, компенсируя отстающий ток индуктивных нагрузок. Ключевым элементом современной системы является автоматический регулятор реактивной мощности, например устройство типа АРКОН. Оно непрерывно анализирует параметры сети (ток, напряжение, $\cos\phi$) и

по заданному алгоритму подает команды на подключение или отключение отдельных ступеней (секций) КБ для поддержания оптимального режима.

Дискретное и сегментированное управление: современные исследования и практика показывают, что разделение общей емкости КБ на несколько независимо управляемых ступеней (например, 3–4) вместо использования одной фиксированной батареи значительно повышает гибкость и эффективность. Это позволяет системе тонко подстраиваться под изменяющуюся нагрузку, избегая как недокомпенсации, так и вредной перекомпенсации, и может снижать потери до 90...100%. Существует возможность дополнить классические системы АСКРМ суперконденсаторами [3], что может расширить потенциал их применения.

Для сложных объектов с резкопеременной и нелинейной нагрузкой актуально применение продвинутых алгоритмов. Простые ПИД-регуляторы уступают место системам на базе машинного обучения (ML) и нейронных сетей. Эти технологии позволяют: прогнозировать график нагрузки на основе исторических данных и внешних факторов (расписание работы цехов, планы производства); оптимизировать переключения, минимизируя износ коммутационной аппаратуры (контакторов, тиристоров) за счет снижения количества операций; адаптироваться к изменениям в конфигурации сети без необходимости полной перенастройки регулятора, обучаясь на новых данных. Сравнительный анализ ключевых характеристик КБ представлен в табл. 1.

1. Сравнительный анализ ключевых характеристик КБ

Компонент / Подход	Ключевая характеристика	Преимущество
Конденсаторная батарея (КБ)	Сегментированная конструкция (3–4 ступени)	Гибкость, снижение потерь до ~100%, адаптивность к графику нагрузки
Алгоритм управления	Использование машинного обучения для прогнозирования	Снижение износа оборудования, оптимизация под динамичную нагрузку
Способ компенсации	Групповая или централизованная схема	Оптимальное соотношение цены и эффективности для большинства предприятий
Коммутационное устройство	Контакторы с токоограничивающей приставкой или тиристоры (STATCOM)	Бесконтактное, высоко- скоростное переключение, долгий срок службы

Таким образом, переход от простых конденсаторных установок к адаптивным интеллектуальным системам открывает путь к созданию энергоэффективных, устойчивых и «умных» промышленных электросетей, что является неотъемлемой частью современной концепции «Индустрии 4.0».

Заключение. На промышленных предприятиях проблема реактивной мощности представляет собой комплексный вызов, влияющий как на технологическую стабильность, так и на экономическую эффективность. Генерация реактивной мощности индуктивным оборудованием ведет к перегрузке сетей, потерям энергии, ухудшению качества электроэнергии и прямым финансовым издержкам в виде штрафов. Внедрение автоматических систем компенсации реактивной мощности (АСКРМ) является ключевым и высокоэффективным решением этой проблемы. Современные АСКРМ эволюционировали от простых конденсаторных установок до сложных интеллектуальных систем, ядро которых составляют: сегментированные конденсаторные батареи (КБ) для точной и дискретной компенсации; автоматические регуляторы (типа АРКОН) для непрерывного контроля параметров сети и улучшенные алгоритмы управления на базе машинного обучения, обеспечивающие прогнозирование, оптимизацию и адаптацию к изменяющимся условиям нагрузки. Такой подход обеспечивает переход от пассивной коррекции к активному, предиктивному управлению энергопотреблением. Это позволяет не просто компенсировать реактивную мощность, но и минимизировать износ оборудования, снизить суммарные потери и обеспечить высочайшее качество электроснабжения для ответственных технологических процессов. Таким образом, интеллектуальная АСКРМ – это не просто средство для выполнения нормативных требований, а стратегический актив предприятия. Она является фундаментальным элементом для построения энергоэффективной, надежной и «умной» промышленной электросети, что полностью соответствует принципам «Индустрии 4.0».

Библиографический список

1. Маловастая, Е. Ф. Компенсация реактивной мощности / Е. Ф. Маловастая, А. А. Смолко // Проблемы энергообеспечения, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК : Междунар. науч.-техн. конф., Брянск, 12 – 14 сентября 2012 года. – Брянск : Изд-во Брянской ГСХА, 2012. – С. 94 – 97.
2. Reactive Power Compensation under the Conditions of Distorted Currents and Voltages / M. Astashev, A. Loskutov, A. Loskutov, R. Krasnoperov // *Elektrichestvo*. – 2025. – No. 8. – P. 42 – 52.

3. Новые подходы применения суперконденсаторов в системах электрогенерации / В. А. Кобелева, Я. В. Ельцов, А. С. Титов, С. Ю. Евдокимова // Энергостарт : сб. материалов VII Междунар. молодеж. науч.-практ. конф., Кемерово, 24 – 26 октября 2024 года. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2025. – С. 209.1 – 209.5.

БЕСКОНТАКТНЫЙ АДАПТИВНЫЙ СВЧ-МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТФС СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Д. Ю. Остроухов, В. Н. Чернышов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: denistambov359@gmail.com; chvn-51@mail.ru)*

В строительной отрасли часто возникает необходимость оценки теплоизоляционных характеристик строительных конструкций. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка новых методов и информационно-измерительных систем (ИИС) для неразрушающего контроля (НК) ТФС (тепло- и температуропроводности) материалов и готовых изделий [1].

Перспективным направлением в этой области являются методы бесконтактного неразрушающего контроля с использованием СВЧ-излучения для нагрева поверхности исследуемых материалов и изделий. Этому способствует развитая теоретическая база по распространению электромагнитных волн СВЧ-диапазона в диэлектрических материалах, а также широкий ассортимент промышленного оборудования для микроволнового нагрева поверхности исследуемых объектов и измерения температуры в точках контроля температуры [2].

Сущность предлагаемого метода неразрушающего контроля ТФС материалов и изделий заключается в следующем.

Над поверхностью исследуемого изделия (объекта) располагают источник высокочастотного электромагнитного поля (СВЧ-излучателя), сфокусированного в точку поверхности с помощью рупорно-линзовой антенны.

В целях получения максимально узкой диаграммы направленности излучения характеристики антенны в нее встроена линза из радиопрозрачного диэлектрического материала (фторопласта), что позволяет получить антенну с заданной диаграммой направленности [3].

Поскольку электромагнитная волна, попадающая в диэлектрик с потерями, которыми являются традиционные строительные материалы (кирпич, пено-

бетон, керамзитобетон и т.д.), ослабляется в направлении распространения, то для определения мощности теплового воздействия формирующегося контролируемого температурного поля необходимо учитывать или задавать глубину проникновения плоской волны в материалах с потерями [3].

Известно, что глубина проникновения поля Z в исследуемые материалы определяется соотношением [4, 5]

$$Z_1 = \frac{0,225\lambda_{\text{ген}}}{\sqrt{\epsilon_{\text{см}}}}, \quad (1)$$

где $\lambda_{\text{ген}}$ – длина волны генератора СВЧ; $\epsilon_{\text{см}}$ – диэлектрическая проницаемость строительного материала.

Удельная мощность рассеяния в диэлектрике определяется соотношением [11]

$$P_{\text{потерь}} = 0,556 \cdot 10^{-12} \epsilon E^2 f, \quad (2)$$

где E – напряженность переменного электрического поля; f – частота излучения; ϵ – диэлектрическая проницаемость исследуемого материала.

Задавшись глубиной проникновения СВЧ-излучения в исследуемое изделие (3...5 мм) и используя зависимости (1) и (2), определяют частоту и мощность генератора СВЧ-излучения, используемого для точечного теплового воздействия на исследуемые объекты [4].

На поверхность исследуемого объекта воздействуют точечным микроволновым источником тепла (ИТ) заданной мощностью q , движущимся равномерно относительно объекта со скоростью V по линии X , вслед за ним с той же скоростью движутся термоприемники ПИП1 и на линии под 45° от линии X ПИП2 (рис. 1).

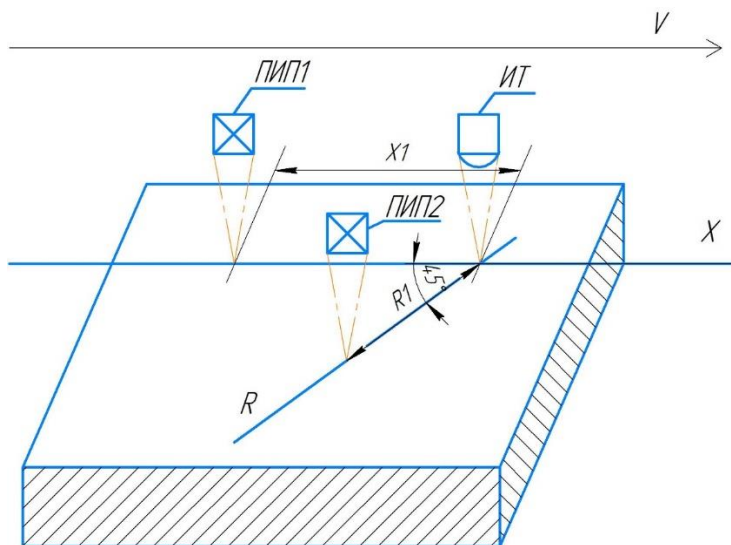


Рис. 1. Схема перемещения точечного СВЧ-источника тепла, ПИП1 и ПИП2 над поверхностью исследуемого объекта

Перемещаем термодатчик ПИП1 по линии X в сторону отставания от точечного ИТ до тех пор, пока интегральное значение контролируемой температуры $S1$ по линии X станет равным наперед заданному значению $T_{\text{зад}}$ и измеряем расстояние $x_{\text{изм}}$.

Одновременно по линии под углом в 45° к линии X перемещаем второй термодатчик ПИП2 в сторону удаления от движущегося точечного ИТ до момента времени, когда интегральное значение избыточной температуры $S2$ на линии R станет равным заданному значению $S1$ и измеряем расстояние $R_{\text{изм1}}$ (рис. 2).

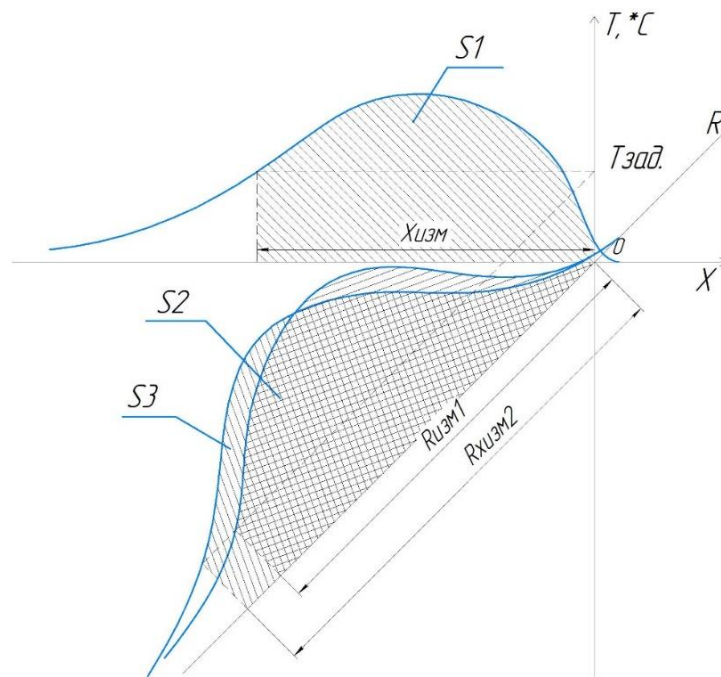


Рис. 2. Интегральное значение температур на поверхности исследуемого объекта на линиях X и R

Измеряют избыточные температуры в точках $x_{\text{изм1}}$ и $R_{\text{изм1}}$ соответственно термодатчиками ПИП1 и ПИП2, а искомое ТФС определяют по известным выражениям [1]:

$$T_{\text{изм1}} = \frac{q}{2\pi\lambda x_{\text{изм}}}; \quad (3)$$

$$T_{\text{изм2}} = \frac{q}{2\pi\lambda R_{\text{изм1}}} \exp\left[-\frac{V_1(R_{\text{изм1}} - x_{\text{изм1}})}{2a}\right], \quad (4)$$

где $T_{\text{изм1}}$ – избыточная температура на поверхности тела по линии x ; $T_{\text{изм2}}$ – избыточная температура на поверхности тела по линии R ; λ – коэффициент теплопроводности исследуемого объекта; q – мощность источника СВЧ-излучения.

Взяв отношение между выражениями (3) и (4), получаем формулу теплопроводности a :

$$a = \frac{V_1(R_{\text{изм1}} - x_{\text{изм1}})}{2 \ln \left(\frac{T_{\text{изм1}} x_{\text{изм1}}}{T_{\text{изм2}} R_{\text{изм1}}} \right)}. \quad (5)$$

Для определения теплопроводности увеличивают скорость перемещения ИТ на 10...15%, что при условии совершенных измерительных приборов зафиксировать будет достаточно точно и повторить процедуры так, чтобы $S_2 = S_3$.

$$T_{\text{изм3}} = \frac{q}{2\pi R_{\text{изм2}} \lambda} \exp \left[-\frac{V_2(R_{\text{изм2}} - x_{\text{изм2}})}{2a} \right], \quad (6)$$

где $T_{\text{изм3}}$ – избыточная температура на поверхности тела по линии R при скорости V_2 ; $x_{\text{изм2}}$ – расстояние на линии X ; $R_{\text{изм2}}$ – расстояние на линии R .

Взяв разницу между выражениями (4) и (6), получаем формулу для теплопроводности:

$$\lambda = \frac{q}{2\pi \Delta T} \left(\frac{1}{R_{\text{изм2}}} \exp \left[\frac{V_2(R_{\text{изм2}} - x_{\text{изм2}})}{2a} \right] - \frac{1}{R_{\text{изм1}}} \exp \left[\frac{V_1(R_{\text{изм1}} - x_{\text{изм1}})}{2a} \right] \right). \quad (7)$$

Результаты теплофизического эксперимента показывают работоспособность предложенного метода, новизна которого заключается в следующем.

Во-первых, особенность предложенного метода позволяет измерить большую площадь исследуемых объектов, что существенно повышает производительность измерений ТФС.

Во-вторых, теоретические и экспериментальные исследования показали, что предложенный метод позволяет скомпенсировать практически все конвективные и лучистые неучтенные тепловые потери с поверхности исследуемых объектов в окружающую среду, что, несомненно, повысит метрологический уровень метода на 8...10%, по сравнению с известными методами неразрушающего контроля ТФС материалов и изделий.

В-третьих, способ позволяет определить локальные неоднородности в ТФС исследуемых объектов и готовых изделий, т.е. позволяет осуществить дефектоскопию материалов.

Библиографический список

1. Чернышов, В. Н. Методы и информационно-измерительные системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий / В. Н. Чернышов, Т. И. Чернышова. – СПб. : Экспертные решения, 2016. – 384 с.

2. Чернышов, В. Н. Микроволновые методы и системы контроля теплофизических характеристик материалов и изделий : монография / В. Н. Чернышов, Т. И. Чернышова. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 124 с.
3. Пюшнер, Г. Нагрев энергией сверхвысоких частот / Г. Пюшнер. – М. : Энергия, 1968. – 312 с.
4. Микроволновая термовлагометрия / П. А. Федюнин, Д. А. Дмитриев, А. А. Воробьев, В. Н. Чернышов. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 208 с.
5. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высшая школа, 1967. – 599 с.

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ТЕПЛОТДАЧИ НА ОБЩУЮ ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ В КОНВЕКТОРАХ

**К. С. Попов¹, С. А. Петров²,
научный руководитель: канд. техн. наук И. В. Рогов¹**

¹ *Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*
(e-mail: zolombo@mail.ru)

² *ООО «МЕГАТРОН», Москва, Россия*
(e-mail: s.petrov@megatronrus.ru)

В настоящее время одной из важнейших задач, возникающих при проектировании и эксплуатации отопительных систем в многоквартирных и частных домах, является повышение их эффективности. Одним из способов повышения эффективности является применение турбулизаторов потока в системах отопления. Данная работа посвящена использованию такого подхода применительно к водяным конвекторам систем отопления.

В качестве исследуемого образца был выбран настенный конвектор системы водяного отопления марки SPL нестандартного исполнения. Был проведен ряд реальных испытаний в соответствии с ГОСТ 53583–2009 «Приборы отопительные. Методы испытаний». Испытания проводились для двух вариантов разводки труб в конвекторе (двух вариантов контуров): с коллекторной разводкой труб (трехходовое течение) и с последовательной разводкой труб (одноходовое течение). На основании полученных протоколов испытаний было проведено исследование влияния внутренней теплоотдачи на общую теплопередачу в конвекторах. На рисунках 1 и 2 приведены примеры геометрии теплообменного элемента, используемых в конвекторе.

Геометрические параметры образцов конвекторов и результаты испытаний в соответствии с ГОСТ 53583–2009 приведены в табл. 1.

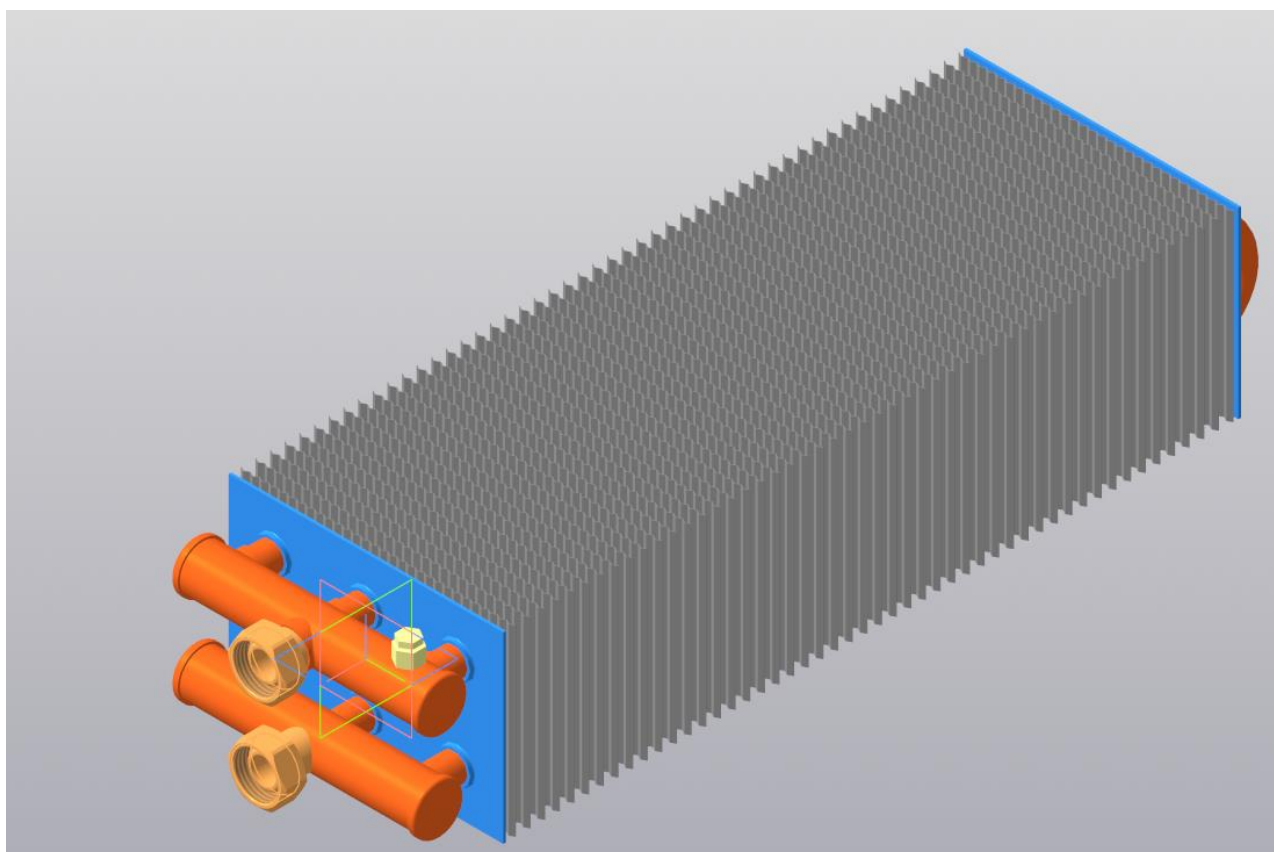


Рис. 1. Теплообменный элемент с коллекторной разводкой труб

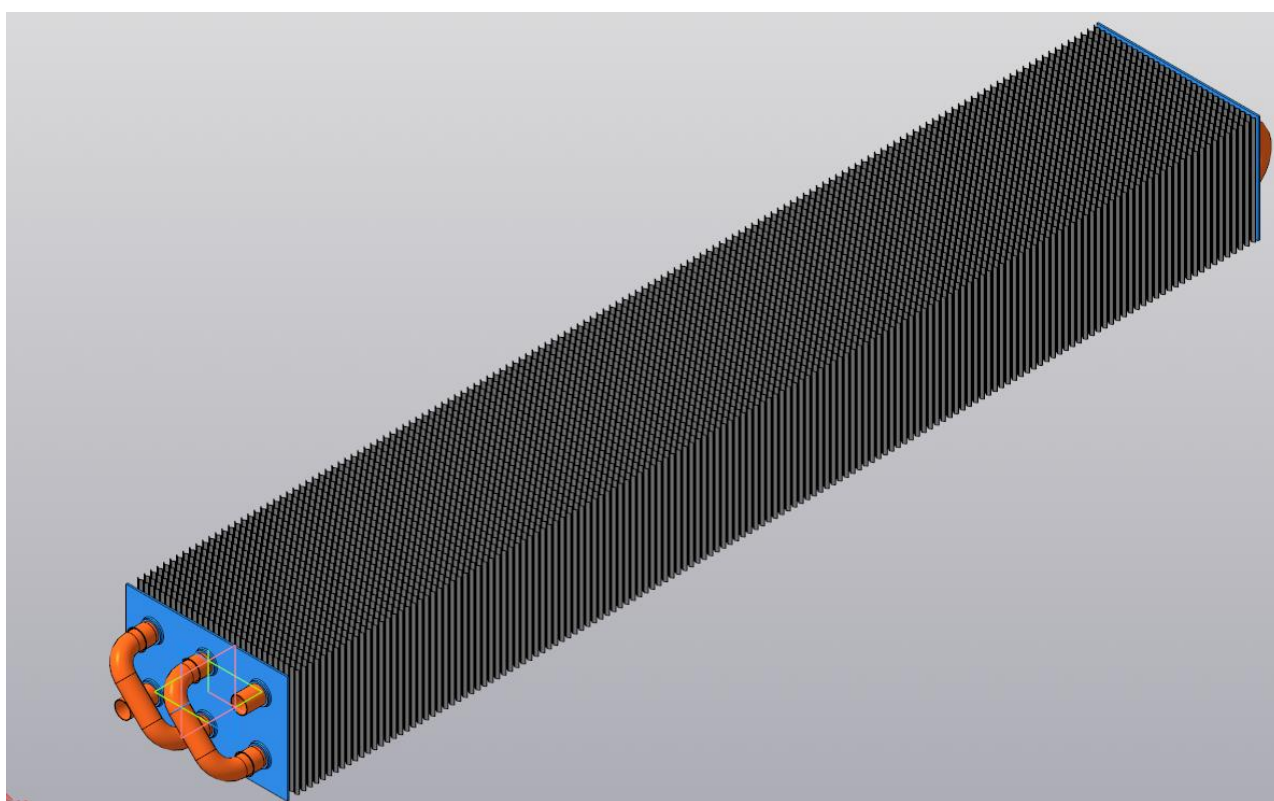


Рис. 2. Теплообменный элемент с последовательной разводкой труб

1. Результаты испытаний по определению тепловой мощности и параметры конвекторов

Наименование показателей	Значения показателей для конвекторов					
Длина, мм	1000					
Длина оребрения, мм	850					
Глубина, мм	190					
Количество труб/рядов теплообменника, шт.	6/2					
Количество пластин теплообменника, шт.	103					
Внутренняя площадь трубок F_1 , м ²	0,23					
Наружная площадь поверхности теплообмена F_2 , м ²	3,65					
Высота, мм	150			300		
Средняя температура воды в теплообменнике Δt_{cp} , °C	55	70	90	55	70	90
Температурный напор Δt , °C	35	55	70	35	55	70
Тепловая мощность одноходового контура Q_1 , Вт	668	1158	1563	778	1353	1823
Тепловая мощность трехходового контура Q_3 , Вт	629	1100	1488	754	1298	1743

В качестве величины, которая будет характеризовать эффективность того или иного контура будет выступать общий коэффициент теплопередачи k , так как площадь поверхности рабочей части теплообменного элемента (зона оребрения) одинакова для двух образцов. Так же при испытаниях поддерживались одинаковые температурные напоры. Поэтому коэффициент теплопередачи будет единственной величиной, которая влияет на общую теплопроизводительность образца [1]:

$$Q = k \Delta t F_2, \quad (1)$$

где k – общий коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); Δt – разность температур между средней температурой в теплообменном элементе и температурой воздуха в помещении (температурный напор), °C; F_2 – наружная площадь поверхности теплообмена (с оребрением), м².

В свою очередь коэффициент теплопередачи для цилиндрических оребренных труб вычисляется по формуле

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \frac{F_2}{F_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \left(\frac{d_2}{d_1} \right) \frac{F_2}{\pi L} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{Q}{F_2 \Delta t}, \quad (2)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты внутренней и внешней теплоотдачи, Вт/(м²·К); d_1 и d_2 – внутренний и наружный диаметры медной трубки, м; λ – коэффици-

ент теплопроводности медной трубки, Вт/(м·К); F_1 – внутренняя площадь теплообменных трубок, м²; L – длина рабочей (оребреной) части теплообменника, м.

Поскольку из результатов испытаний нам известны тепловые мощности испытуемых конвекторов, их наружная площадь поверхности теплообмена, температурный напор между теплоносителем и наружным воздухом, то общий коэффициент теплопередачи определяется из уравнения теплопередачи (1).

Для расчета коэффициента внутренней теплоотдачи будем использовать критериальные уравнения конвективного теплообмена. Вследствие отсутствия надежных методик расчета теплоотдачи от наружной поверхности оребренных труб коэффициент внешней теплоотдачи будем определять из уравнения (2).

Для расчета коэффициента внутренней теплоотдачи будем использовать следующие критериальные уравнения:

$$Nu_{\text{турб}} = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{\text{ж}}}{Pr_{\text{с}}} \right)^{0,25}, \quad 10^4 < Re < 5 \cdot 10^6, \quad 0,6 \leq Pr \leq 2500, \quad (3)$$

$$Nu_{\text{перех}} = 0,022 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \left(\frac{\mu_{\text{ж}}}{\mu_{\text{с}}} \right)^{0,25}, \quad 3500 < Re < 10^4, \quad 8 \cdot 10^5 < Ra < 1,3 \cdot 10^7, \quad (4)$$

где $Nu_{\text{турб}}$, $Nu_{\text{перех}}$ – значения числа Нуссельта для турбулентного и переходного режимов; Re – число Рейнольдса; Pr , $Pr_{\text{ж}}$, $Pr_{\text{с}}$ – числа Прандтля теплоносителя при температурах жидкости и стенки; $\mu_{\text{ж}}$, $\mu_{\text{с}}$ – динамическая вязкость теплоносителя при температуре жидкости и стенки, Па·с; Ra – число Рэлея.

Значения чисел Прандтля, динамической вязкости, теплопроводности, плотности теплоносителя определялись по таблицам свойств воды в зависимости от температуры из работы [3].

Зная значение критерия Нуссельта, коэффициент внутренней теплоотдачи может быть рассчитан по формуле

$$\alpha_1 = \frac{Nu \lambda_{\text{в}}}{d_1}, \quad (5)$$

где $\lambda_{\text{в}}$ – коэффициент теплопроводности воды.

Выполнив расчеты по вышеприведенным формулам, получим результаты, приведенные в табл. 2.

2. Результаты расчета

Высота, мм	150			300		
$\Delta t, ^\circ\text{C}$	35	55	70	35	55	70
Nu_1	78,215	87,875	94,735	78,215	87,875	94,735
Nu_3	37,415	41,289	44,050	37,415	41,289	44,050
$k_1, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	5,23	5,77	6,12	6,10	6,75	7,14
$k_3, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	4,93	5,49	5,83	5,91	6,47	6,83
$\delta, \%$	6,20	5,27	5,04	3,18	4,24	4,59
Re_1	17436	23266	27949	17436	23266	27949
Re_3	5812	7755	9316	5812	7755	9316
$\alpha_{11}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	3484,6	4021,05	4395,73	3484,6	4021,05	4395,73
$\alpha_{13}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	1637,73	1866,83	2026,29	1637,73	1866,83	2026,29
$\alpha_{21}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	5,37	5,91	6,20	6,28	6,94	7,34
$\alpha_{23}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	5,18	5,76	6,11	6,27	6,85	7,22

Анализ результатов расчетов позволяет сделать вывод: целесообразно повышать турбулентность потока в водяных конвекторах отопления только в тех случаях, когда скорость потока не сказывается негативно на акустических параметрах работы конвекторов, так как незначительное увеличение тепловой мощности будет положительно влиять на энергоэффективность системы отопления.

Библиографический список

1. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен : учебник для вузов / И. П. Цветков, Б. А. Григорьев. – М. : Издательский дом МЭИ, 2011. – 562 с.
2. Расчет процессов теплоотдачи. Критериальные уравнения конвективного теплообмена для определения средних и местных коэффициентов теплоотдачи [Электронный ресурс] : методические указания / сост. : И. В. Рогов, С. Н. Баршутин. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019.
3. Цветков, Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : учебное пособие / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко. – 2-е изд., исправ. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 196 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ КОНВЕКТОРОВ

К. С. Попов, И. В. Рогов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: zolombo@mail.ru)*

Быстрорастущий рынок отопительных приборов в течение последних 20 лет обзавелся огромной вариативностью предлагаемых решений, в связи с этим нормативная база устаревает и не может обеспечивать сходимость и единство измерений испытаний как между самими испытательными лабораториями, так и различными типами отопительных приборов. Поэтому в настоящее время идет активная работа по принятию новой редакции ГОСТ 53583–2009 «Приборы отопительные. Методы испытаний», в связи с чем необходим многосторонний анализ существующих и потенциальных методик испытаний отопительных приборов.

Одним из перспективных направлений для решения вопросов по определению тепловой мощности конвекторов, является использование средств вычислительной гидродинамики (CFD-моделирование) и соответствующих программных комплексов. При этом результаты компьютерного моделирования сопоставляются с результатами натурных испытаний.

Для решения задач численного моделирования испытаний по определению тепловой мощности конвекторов (отопительных приборов) будем использовать метод конечных объемов (FVM), который отличается высокой скоростью расчета поставленных задач и необходимой точностью для проведения исследований такого рода. Принцип метода конечных объемов заключается в том, что всю расчетную область разбивают на контрольные (конечные) объемы. Для каждого из контрольных объемов могут быть записаны уравнения законов сохранения массы, энергии, импульса в интегральной форме [1].

Уравнение сохранения массы (неразрывности потока)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV + \oint_S \rho \vec{v} d\vec{S} = 0, \quad (1)$$

где ρ – плотность, кг/м³; V – контрольный объем, м³; S – площадь поверхности контрольного объема, м²; $\vec{v}$ – вектор скорости, м/с; $d\vec{S}$ – вектор элемента поверхности.

Уравнение сохранения импульса (Уравнение Навье–Стокса)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \vec{v} dV + \oint_S \rho \vec{v} (\vec{v} d\vec{S}) = \oint_S (\tau d\vec{S}) - \oint_S p d\vec{S} + \int_V \rho \vec{f} dV, \quad (2)$$

где p – статическое давление, Па; τ – тензор вязких напряжений; $\vec{f}$ – вектор массовых сил.

Уравнение сохранения энергии (первый закон термодинамики для потока)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho E dV + \oint_S \rho E (\vec{v} d\vec{S}) = - \oint_S p \vec{v} d\vec{S} + \oint_S (\tau \vec{v}) d\vec{S} + \oint_S \lambda (\nabla T d\vec{S}) + \int_V \rho \vec{f} \vec{v} dV + \int_V S_E dV, \quad (3)$$

где E – полная удельная энергия, Дж/кг; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); T – температура, К; S_E – источник тепла.

Дополнив уравнения (1) – (3) граничными условиями, получаем систему уравнений. Данная система уравнений решается методом последовательных приближений. В результате решения полученной системы уравнений программные комплексы [2] могут построить поля температур, тепловых потоков, скоростей и т.д. для расчетной области. В качестве образца для испытаний будем использовать внутрипольный конвектор марки SPL INC-140/13/38-4/1-S15-U10V0 [3]. На рисунке 1 приведена трехмерная модель конвектора, выполненная в среде SOLIDWORKS [2].

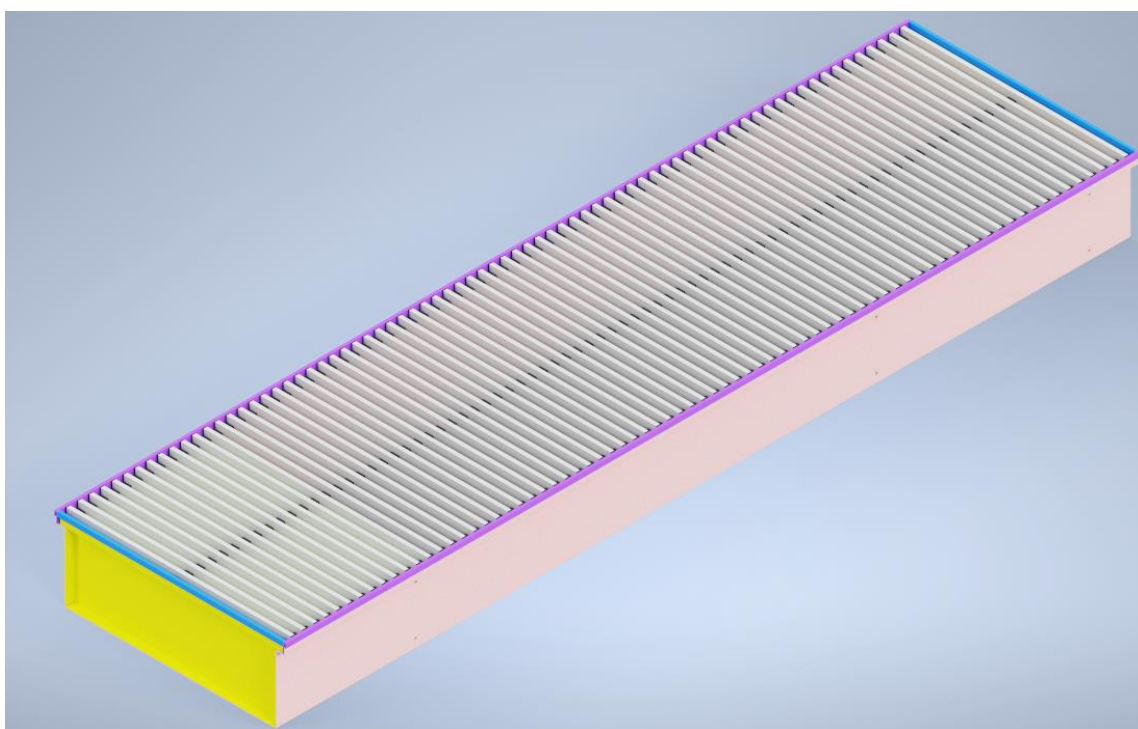


Рис. 1. Изометрия трехмерной модели внутрипольного конвектора

Теплообменный элемент конвектора выполнен из цельногнутой медной трубки с алюминиевым оребрением (гофрированные ламели). Теплообменники данного типа используются практически во всех отопительных приборах конвективного типа, что позволяет добиться наиболее высоких показателей тепловой мощности и гидравлической устойчивости изделия.

Для определения тепловой мощности отопительного прибора при натуральных испытаниях по водяному методу, согласно ГОСТ 53583–2009, используется формула

$$Q = (h_1 - h_2)M, \quad (4)$$

где h_1, h_2 – удельные энтальпии теплоносителя на входе и на выходе соответственно, кДж/кг; M – массовый расход теплоносителя, кг/с.

Протокол натуральных испытаний включает в себя значения измеренных температур на входе и на выходе из отопительного прибора t_1 и t_2 с интервалом в 60 с на протяжении 30 мин. Значения энтальпий определяются по таблицам свойств воды в состоянии насыщения по температуре.

В качестве расчетных величин принимаются средние температуры за измерительный период, которые вычисляются по следующей формуле:

$$t_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n=30} t_n}{n}. \quad (5)$$

По результатам натуральных испытаний были получены следующие значения:

$$t_{1\text{ср}} = 91,31^\circ\text{C}, \quad t_{2\text{ср}} = 88,7^\circ\text{C}.$$

Соответственно, можно найти значения энтальпий:

$$h_{1\text{н}} = 382,66 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad h_{2\text{н}} = 371,691 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Массовый расход теплоносителя, согласно ГОСТ 53583–2009, при натуральных испытаниях поддерживается постоянным и равным $M = 0,1$ кг/с. Тогда, можем рассчитать значение тепловой мощности конвектора по результатам натуральных испытаний по формуле (4):

$$Q_{\text{натур}} = (382,66 - 371,691) \cdot 0,1 = 1,0969 \text{ кВт или } Q_{\text{натур}} = 1096,9 \text{ Вт}.$$

На рисунке 2 приведены результаты численного моделирования испытаний того же конвектора, для которого проводились натурные испытания.

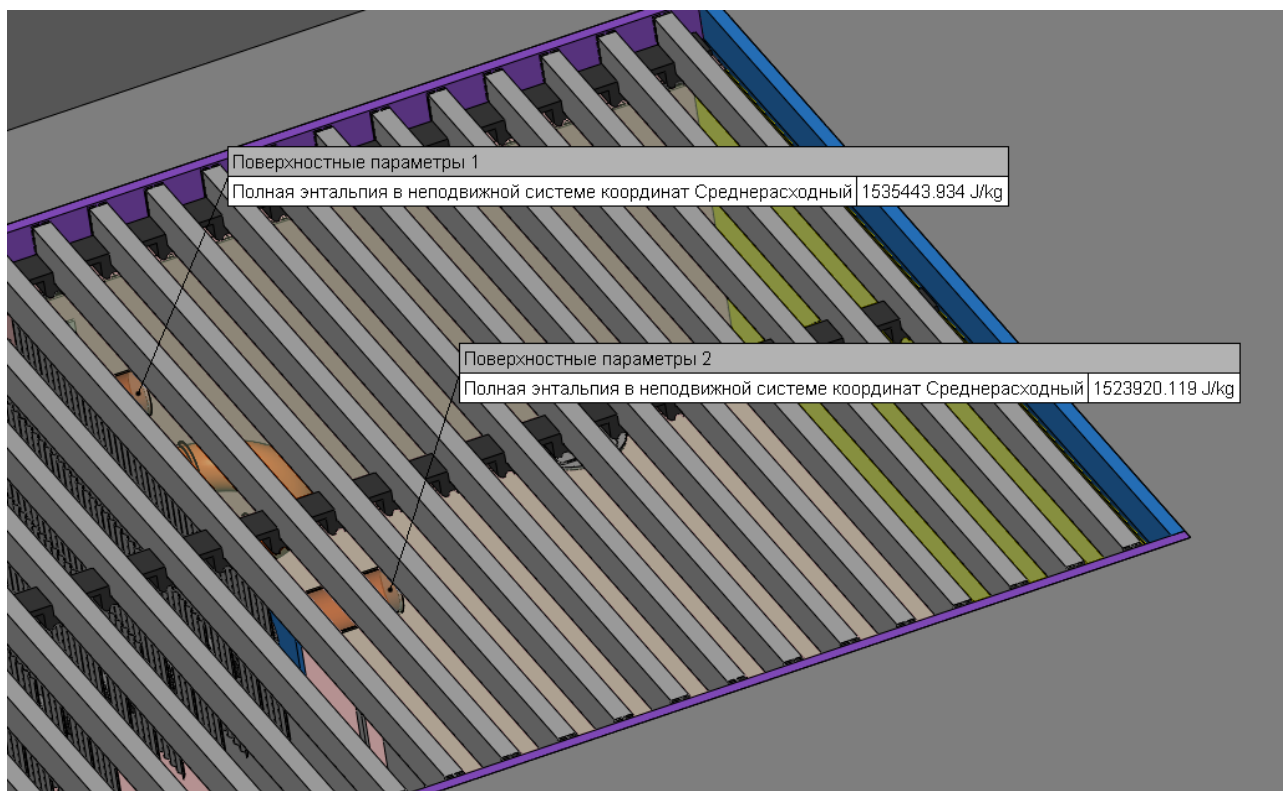


Рис. 2. Значения энтальпий на входе и выходе из теплообменника

Рассчитаем значение тепловой мощности конвектора, полученное в ходе виртуальных (численных) испытаний по формуле (4):

$$Q_{\text{вирт}} = (1535,444 - 1523,92) \cdot 0,1 = 1,1524 \text{ кВт} \quad \text{или} \quad Q_{\text{вирт}} = 1152,4 \text{ Вт.}$$

Значения энтальпий на входе и выходе, необходимые для расчета, принимались согласно рис. 2.

По результатам определения тепловой мощности конвектора, полученной в ходе реальных и численных испытаний, можем посчитать относительную погрешность:

$$\delta = \frac{|Q_{\text{натур}} - Q_{\text{вирт}}|}{Q_{\text{вирт}}} \cdot 100\%,$$

$$\delta = \frac{|1096,9 - 1152,4|}{1152,4} \cdot 100\%, \quad \delta = 4,816\%. \quad (6)$$

Таким образом, можно сделать вывод: погрешность численного моделирования меньше 5%, что является допустимым для тепловых мощностей отопительных приборов по ГОСТ 31311–2022 «Приборы отопительные. Общие технические условия». Так же стоит отметить, что сравнение результатов численного моделирования и натурных испытаний позволяют сделать вывод,

что новую редакцию ГОСТ 53583–2009 необходимо разрабатывать с учетом современных тенденций и отказаться от методов, требующих множества промежуточных измерений. Например, электрический метод показывает намного большие значения тепловых мощностей у отопительных приборов, что связано с повышенной погрешностью измерительного стенда в целом.

Библиографический список

1. Patankar, S. V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow / S. V. Patankar. – Washington ; New York ; London : Hemisphere Publishing Corporation : McGraw-Hill Book Company, 1980. – 197 p.
2. Matsson, John E. An Introduction to SOLIDWORKS® Flow Simulation 2024 / John E. Matsson. – SDC Publications, 2024. – 400 p.
3. Ассортиментный каталог. Линейка отопительного оборудования SPL [Электронный ресурс]. – URL : https://splpro.ru/wp-content/uploads/2023/08/КАТАЛОГ-Конвекторы-SPL_compressed.pdf. (дата обращения: 03.11.2025).

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ВАКУУМНОЙ ЭКСТРАКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И. С. Простомолотов, С. Д. Лысых

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: ilya.prostomolotov@mail.ru)*

Экстрагирование является одним из самых распространенных процессов переработки сырья. Выпаривание тесно связано с процессом экстрагирования, так как во многих отраслях промышленного производства часто является следующим этапом переработки сырья. Такая технология необходима для того, чтобы превращать изготавливаемое сырье в удобный для дальнейшего использования продукт – гель или порошок. В данной работе рассматривается переработка растительной продукции в экстракт с последующим превращением в гель или порошок с помощью выпаривания.

На кафедре «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «ТГТУ» в лаборатории НОЦ ТГТУ-МичГАУ «Экотехнологии им. Ю. Г. Скрипникова» разработана конструкция универсальной вакуумной экстракционной выпарной установки (рис. 1) [1].

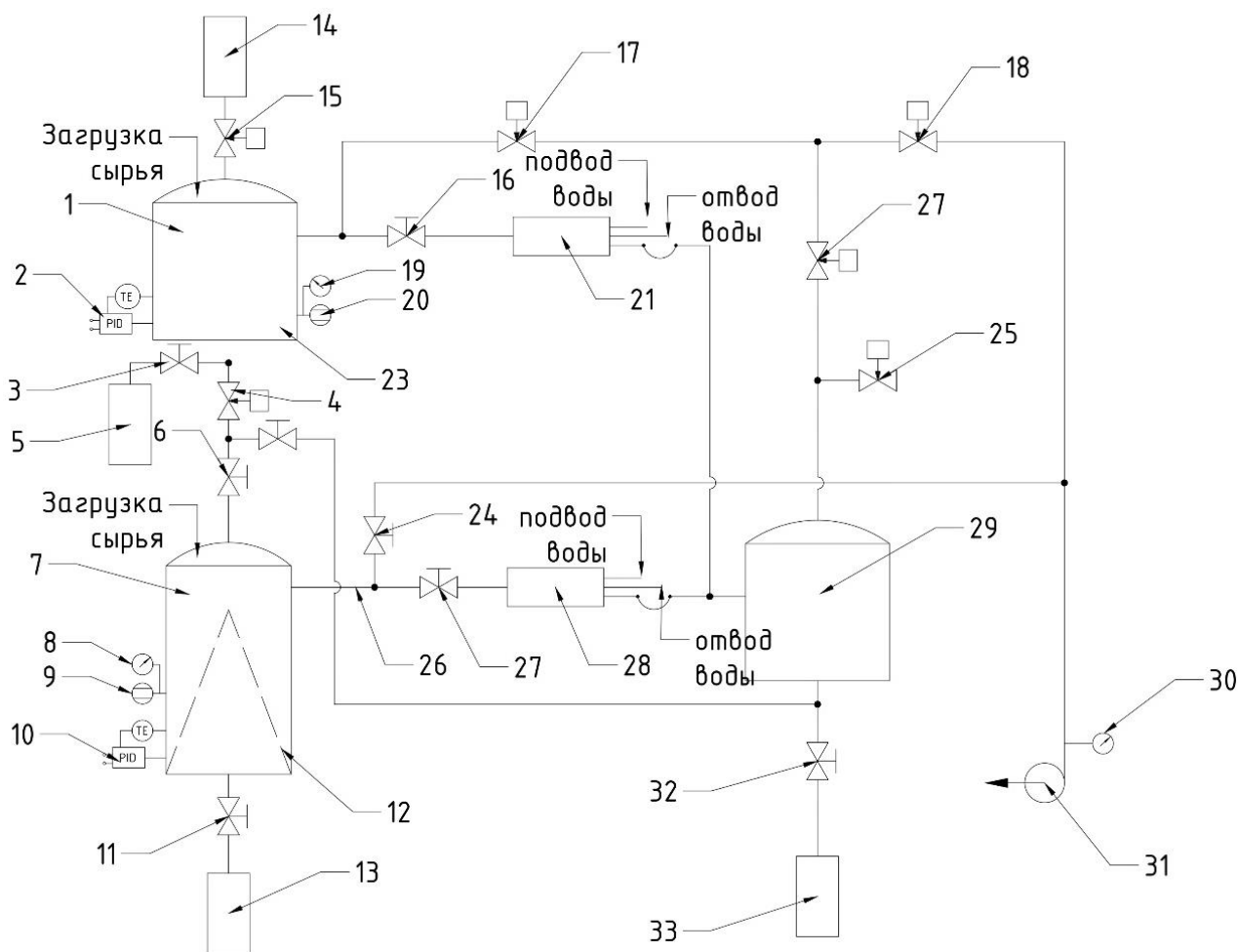


Рис. 1. Конструкция универсальной вакуумной экстракционной выпарной установки:

- 1 – экстрактор; 2, 10 – ПИД-регуляторы с термопарой; 3, 6, 11, 16, 24, 27, 32 – вентили;
 4, 15, 17, 18, 22, 25 – автоматические отсечные клапаны; 5 – емкость для сбора экстракта;
 7 – выпариватель; 8, 19, 30 – вакуумметры (манометры); 9, 20 – уровнемеры;
 12 – нагреватель конусообразный; 13 – емкость для сбора концентрата;
 14 – емкость для импульсного воздействия на сырье; 21, 28 – дистилляторы;
 23 – ограничительная сетка; 26 – трубопровод; 29 – емкость для сбора дистиллята;
 31 – жидкостно-кольцевой вакуумный насос; 33 – емкость для отбора дистиллята

Установка предназначена для переработки растительного сырья вакуумным экстрагированием и выпариванием. Она состоит из экстрактора 1 рабочим объемом 5 л, в котором установлена ограничительная сетка 23. Через клапан 4 и вентиль 6 экстрактор соединен с выпаривателем 7 рабочим объемом 10 л, в котором установлен конусообразный нагреватель 12. Экстрактор и выпариватель соединены паропроводом через вентили 16 и 27 с дистилляторами 21 и 28 соответственно. Дистиллятор подсоединен трубкой к емкости сбора дистиллята 29 объемом 5 л. В дистилляторе использовано водяное охлаждение. В систему подключен одноступенчатый жидкостно-кольцевой вакуумный насос 31 [2].

Экстрактор, выпариватель и емкость для сбора дистиллята имеют дополнительные емкости для сбора экстракта 5, концентрата 13 и дистиллята 29.

Исследования вакуумного водного экстрагирования плодов, овощей и листьев показали, что при выпаривании экстрактов образуются гелеобразная (при 35% влажности) и порошкообразная (при 5...6% влажности) фазы. Это подтверждено на примере экстракта тыквы «Мичуринская». Результаты опыта отображены на графике зависимости содержания воды от времени выпаривания (рис. 2).

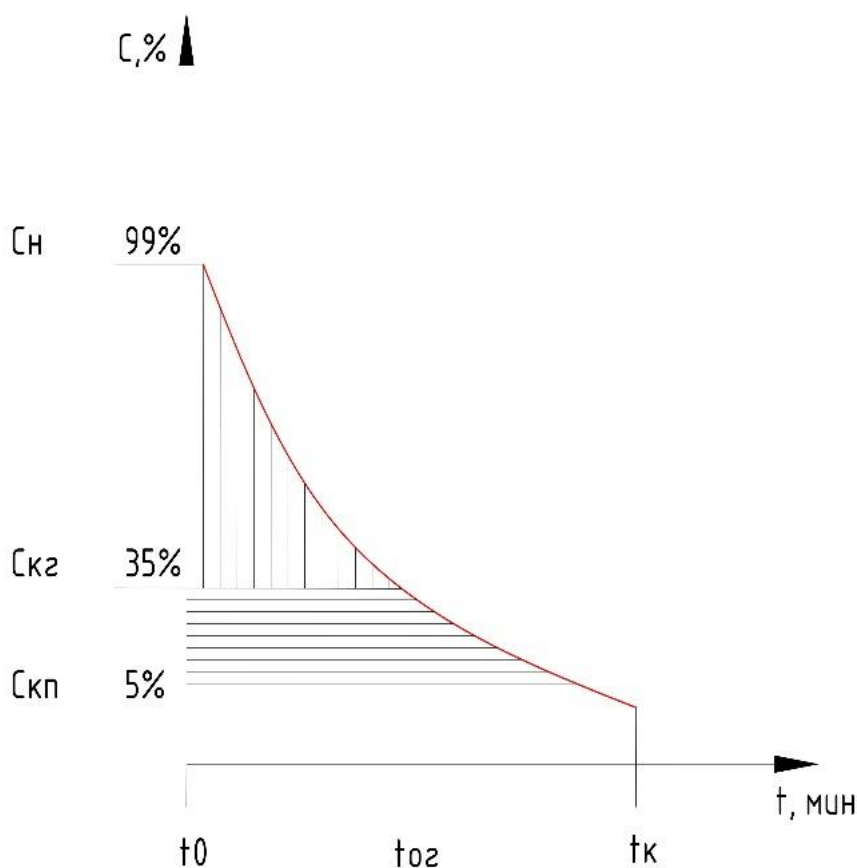


Рис. 2. График зависимости содержания воды от времени выпаривания

При экстрагировании и выпаривании часть энергетических затрат идет на создание давления разрежения на различных режимах, поэтому для их экономии предлагается одноступенчатый водокольцевой вакуумный насос с регулируемым нагнетательным окном (ВВН АРНО) [3]. Он рационально использует мощность на различных режимах работы.

Для обеспечения высокой эффективности, значительной экономии энергии и технологичности выпарную часть установки предлагается спроектировать в виде двух последовательных цилиндрических ступеней с дополнительными емкостями (рис. 3). Ключевой особенностью является динамическая регулиров-

ка угла наклона этих емкостей. Это позволяет оптимизировать процесс испарения, адаптируясь к изменяющемуся влагосодержанию водного экстракта в первой ступени и возрастающей вязкости гелеобразной стадии – во второй. Такая адаптация улучшает тепло- и массообмен.

Дополнительно для повышения энергоэффективности предусмотрена система рекуперации: дистиллят первой ступени используется для обогрева второй ступени. Это обеспечивает ее работу при меньшей температуре кипения, сохраняя чувствительные компоненты. Так же предусмотрена возможность точной регулировки вакуума в зависимости от температур внутри выпаривателя, что позволяет прецизионно контролировать процесс и предотвращать деградацию продукта (рис. 3).

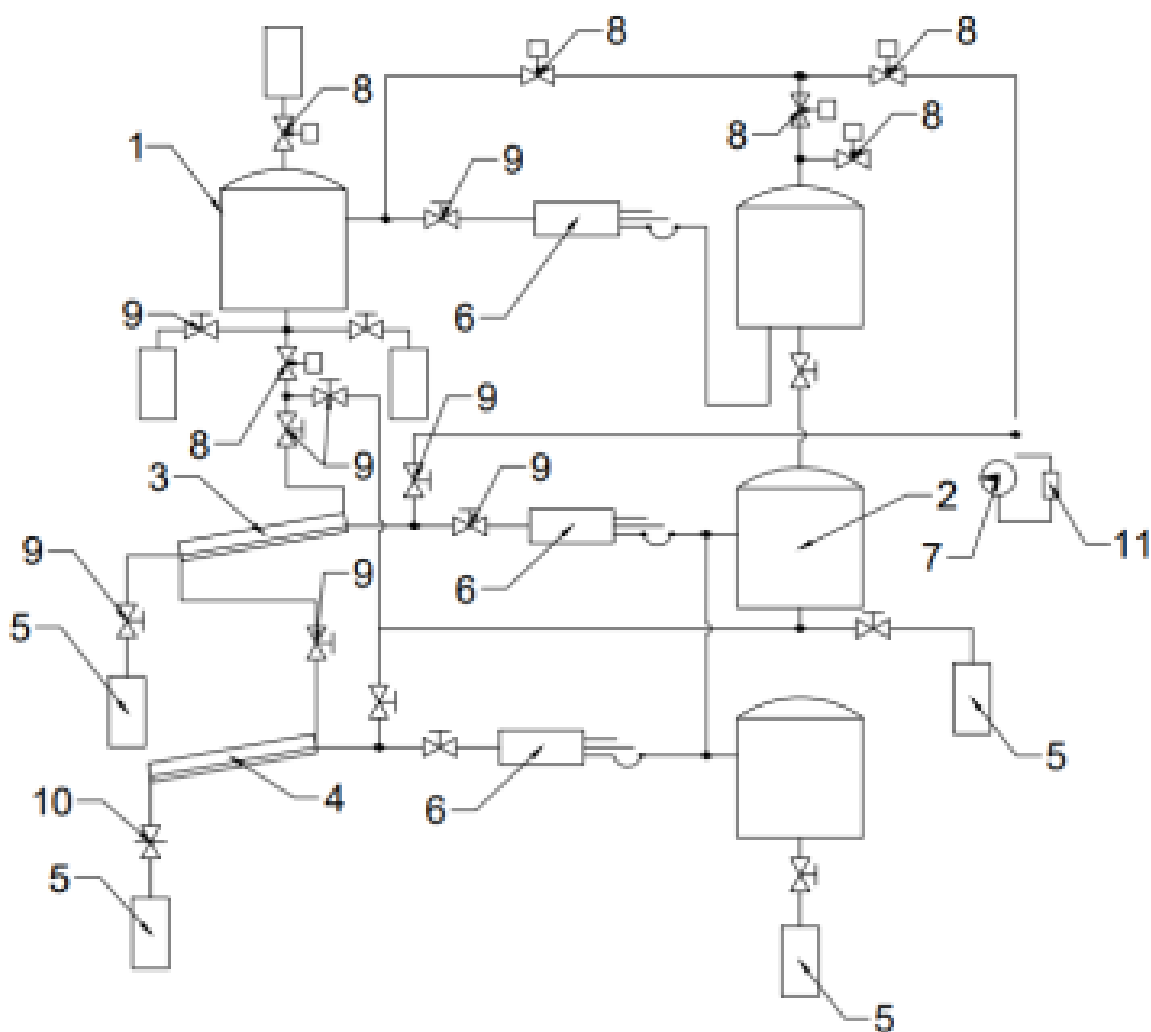


Рис. 3. Конструкция модернизированной универсальной вакуумной экстракционной выпарной установки:

- 1 – экстрактор; 2 – емкость для дистиллята; 3 – выпариватель первой ступени;
- 4 – выпариватель второй ступени; 5 – сборник; 6 – дистиллятор;
- 7 – ВВН АРНО; 8 – шаровый кран с электроприводом; 9 – вентиль запорный;
- 10 – заслонка с шомпором; 11 – охладитель

В статье дана характеристика вакуумной экстракции и выпаривания растительного сырья, а также предложена модернизированная конструкция ранее разработанной универсальной вакуумной экстракционной выпарной установки. Эти усовершенствования включают внедрение двухступенчатого выпаривания, реализованного в виде двух горизонтально наклоненных цилиндрических выпарных аппаратов, специально предназначенных для получения порошкообразной фазы концентрата. Дополнительно предлагается введение одноступенчатого водокольцевого вакуумного насоса и использование системы с двумя отдельными емкостями, где дистиллят первой ступени эффективно применяется для обогрева второго выпаривателя, повышая общую энергоэффективность процесса.

Библиографический список

1. Пат. № 2738938 С1 РФ, МПК В01Д 11/02, В01Д 1/22. Универсальная вакуумная экстракционно-выпарная установка / Анохин С. А., Никитин Д. В., Родионов Ю. В. и др. ; № 2019143887 ; заявл. 23.12.2019 ; опубл. 18.12.2020 ; патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ».

2. Родионов, Ю. В. Совершенствование теоретических методов расчета и обоснования параметров и режимов жидкостнокольцевых вакуумных насосов с учетом особенностей технологических процессов в АПК: дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Ю. В. Родионов. – Тамбов, 2013. – 434 с.

3. Пат. № 2322613 РФ, МПК F04C 15/00. Жидкостно-кольцевой вакуумный насос / Родионов Ю. В., Воробьев Ю. В., Максимов М. М. и др. ; № 2006122088106 ; заявл. 20.06.2006 ; опубл. 20.04.2008, Бюл. № 1 ; патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ».

РОЛЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В РАЗВИТИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ В РОССИИ (к 80-летию атомной промышленности в России)

О. А. Пугина

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: pugina.olga@mail.ru)*

История развития атомной энергии в России включает множество уникальных открытий и достижений. **20 августа 1945 года** был создан Специальный комитет для руководства работами по использованию атомной энергии

урана. И **20 августа 2025 года** атомщики России отметили 80 лет с момента создания атомной промышленности. В короткие сроки, всего за четыре года, создали атомную бомбу. В этом достижении мы стали вторыми: ядерный щит появился у нашей страны в ответ на угрозу со стороны США, которые летом 1945 года провели бомбардировку японских городов Хиросимы и Нагасаки, показав всему миру разрушительную силу нового оружия. Мы стали пионерами в мирном применении атомных технологий и остаемся глобальными лидерами индустрии до сих пор. Отечественные специалисты запустили первую в мире АЭС в Обнинске, тем самым открыли людям доступ к новому мощному источнику чистой энергии. Первый атомный ледокол, первый токамак тоже появились в нашей стране, и это главные вехи лишь первых 15 лет атомной промышленности СССР. Следующие десятилетия стали временем развития эпохи мирного атома и укрепления наших позиций в этом направлении. Отцы-основатели атомной отрасли Игорь Курчатов, Юлий Харитон, легендарные руководители Борис Ванников, Ефим Славский и целый ряд ученых, инженеров, руководителей навсегда вписали свои имена в историю атомной промышленности нашей страны.

Общественные отношения в такой потенциально-опасной сфере человеческой деятельности, как использование атомной энергии в мирных и оборонных целях, требуют всесторонней правовой регламентации. ***Атомное право – совокупность правовых норм и институтов, регулирующих общественные отношения в сфере использования атомной энергии, оно образует комплексную отрасль российского права.*** Предметом правового регулирования атомного права является совокупность общественных отношений, возникающих в связи с использованием атомной энергии как в мирных, так и в оборонных целях. Метод правового воздействия на них – метод правового регулирования, для которого характерно определенное сочетание запретов и дозволений, преобладание диспозитивных или императивных норм, специфика санкций и т.д. Конечной задачей правового регулирования в области использования атомной энергии является обеспечение безопасного для человека и окружающей природной среды целесообразного и эффективного использования атомных технологий.

До **1995 года** в России не было законов, устанавливающих правовую основу и принципы безопасности при использовании атомной энергии, защищающих жизнь, здоровье, имущество граждан и окружающую среду от возможных негативных воздействий использования атомной энергии и функцио-

нирования ядерного комплекса России. Однако за последние годы в этой области произошли значительные изменения. Приняты и работают базовые законы, регулирующие использование атомной энергии в стране. Однако действующее атомное законодательство нуждается в серьезном пересмотре, обновлении и дальнейшем развитии. Научной и методологической основой совершенствования законотворческой деятельности в области использования атомной энергии должна стать подготовленная учеными и специалистами в области использования атомной энергии и утвержденная (согласованная) заинтересованными органами Концепция атомного права.

В атомном праве административно-правовой метод опосредуется в специфических формах – техническое регулирование, лицензирование, нормирование, экспертиза, сертификация и др. Гражданско-правовой метод правового регулирования основывается на равенстве сторон правоотношения. Участники гражданско-правовых отношений выступают обычно как равноправные субъекты, независимые друг от друга. Они сами определяют свои права и обязанности посредством заключаемых между ними соглашений, которые, однако, должны соответствовать закону, находиться в его рамках. В атомном праве применяются оба метода правового регулирования. ***Специфическими для атомной отрасли принципами правового регулирования являются следующие основные принципы атомного права:***

- комплексный подход к правовому регулированию отношений в сфере использования атомной энергии;
- абсолютный приоритет защиты населения и окружающей среды при регулировании деятельности в области использования атомной энергии;
- обеспечение ядерной и радиационной безопасности как важнейших составляющих национальной безопасности Российской Федерации;
- обеспечение совершенствования государственного управления и государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии;
- соблюдение международных обязательств Российской Федерации в области нераспространения ядерного оружия, обеспечения ядерной безопасности и совместного уменьшения угрозы ядерного терроризма;
- гармонизация атомного законодательства России с принципами и нормами международного атомного права (включая рекомендательные нормы международных организаций – МАГАТЭ (Международное агентство по атом-

ной энергии); МКРЗ (Международная комиссия по радиологической защите); МОТ (Международная организация труда); Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ); Венская конвенция о гражданской ответственности за ядерный ущерб 1963 г.). Сформулированные принципы атомного права должны лежать в основе деятельности всех субъектов атомного права – граждан, общественных формирований, юридических лиц, государственных органов. С учетом роли государства особое значение имеет соблюдение этих принципов органами, относящимися к законодательной, исполнительной и судебной власти государства.

В своем выступлении на Международном форуме «Мировая атомная неделя» В. В. Путин сказал, что в мире наступает новый технологический уклад. Потребление электроэнергии вырастет больше, чем втрое. Россия уже создает центры обработки данных на своих АЭС. Только Россия обладает компетенциями во всей технологической цепочке атомной энергетики, а российские проекты АЭС самые востребованные в мире. Необходимо найти «четкий баланс» между развитием мирного атома и укреплением режима нераспространения ядерного оружия. Уран на земле может кончиться к 2060 году, но уже к 2030 году в России в Томской области запустят первую в мире энергоустановку с замкнутым топливным циклом. Такая система позволит повторно использовать 95% отработавшего топлива в реакторах, а это поможет серьезно сократить накопление опасных радиоактивных отходов и решить проблему истощаемости урана. (Кстати у США дефицит собственных обогатительных мощностей урана. Большую часть уранового сырья страна покупает за рубежом, основные поставщики – Россия, Канада, Казахстан, Узбекистан. И 25% АЭС в США работает на российском уране). На Дальнем Востоке активно развивается такое наше традиционно сильное направление, как атомная энергетика. Планируется строительство Приморской и Хабаровской АЭС, уже намечено строительство уникальной плавучей атомной электрогенерации. Она обеспечит энергией Баимский горнообогатительный комбинат на Чукотке. Проекты АЭС с полным правом относятся к так называемой «зеленой» энергетике. У них фактически отсутствует «углеродный след». Россия приглашает к сотрудничеству зарубежных специалистов [1]. В современных условиях атомная энергетика – один из важнейших секторов экономики России, который активно развивается. Правовое положение Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (Госкорпорации «Росатом») закреплено в Федеральном законе от 01.12.2007 № 317-ФЗ (ред. от 23.07.2025). Госкорпорация «Росатом»

подписала контракты на строительство за границей 36 атомных энергоблоков. По состоянию на 2025 год в мире действует 416 ядерных реакторов, и примерно две трети из них старше 30 лет. Ядерные реакторы обычно рассчитаны на 40 – 50 лет, хотя их срок службы может быть увеличен благодаря модернизации оборудования [2].

Поскольку атомное законодательство является комплексной отраслью российского законодательства, оно должно развиваться в тесной взаимосвязи с другими отраслями российского законодательства – гражданским, трудовым, административным, бюджетным, налоговым и другим законодательством. Так, нормы о гражданской ответственности за ядерный ущерб и ее финансовом обеспечении должны согласовываться с общими нормами ГК РФ об ответственности, в том числе об ответственности за причинение вреда, с нормами договорного права (о договоре страхования), а также с Бюджетным кодексом РФ (в части правового режима государственных гарантий и целевых фондов) и некоторыми другими источниками. Кроме того, российское атомное законодательство, в силу специфики своего предмета, более чем любая другая отрасль законодательства должно осуществляться с учетом и на основе норм международного атомного права. В последнее время все настойчивее юристы и законодатели высказываются о необходимости кодификации атомного законодательства и принятии Кодекса РФ, комплексно регулирующего отношения в области использования атомной энергии, который заменит все действующие в этой сфере акты законодательства. Этот вопрос нуждается в дальнейшей проработке.

Библиографический список

1. Запустим первую в мире систему: Путин рассказал о планах в атомной сфере [Электронный ресурс] // Коммерсант. – URL : <https://www.mk.ru/politics/2025/09/26/zapustim-pervuyu-v-mire-sist> (дата обращения: 28.10.2025).
2. «Росатом» строит 30 энергоблоков АЭС в России и за рубежом [Электронный ресурс] // Коммерсант. – URL : <https://www.kommersant.ru/doc/8062384> (дата обращения: 28.10.2025).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В КАПЕЛЬНОМ ПОТОКЕ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ВОЗДУХА В ТРУБЕ

А. А. Рязанцев, Д. С. Филатов, А. Д. Степанов, Н. С. Лакеев,
научный руководитель: канд. техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики В. Я. Губарев

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Испарительное охлаждение газов впрыском воды широко применяется в теплоэнергетике и промышленной теплоэнергетике: при охлаждении дымовых газов перед газоочисткой, в газотурбинных установках для повышения эффективности, в испарительных охладителях и градирнях [1, 2]. Эффективность таких устройств определяется, с одной стороны, интенсивностью тепло- и массообмена между каплями и газом, а с другой – геометрическими и гидродинамическими ограничениями (длина тракта, скорость и расход газа, допустимый диапазон температур). Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения требуемых параметров охлажденного воздуха при ограниченных габаритах оборудования и расходах воды.

Рассматривается горизонтальный цилиндрический трубопровод диаметром D и длиной L , по которому движется горячий воздух с массовым расходом $\dot{m}_a$, температурой на входе T_{g0} и скоростью u . В некотором сечении трубы через форсунку вводятся водяные капли с температурой T_{w0} и суммарным массовым расходом $\dot{m}_w$.

Цель работы – проанализировать условия полного испарения капель и оценить эффективность охлаждения воздушного потока при различных диаметрах капель, расходе воды и параметрах газового потока. К задачам исследования относятся: построение расчетно-аналитической модели тепло- и массообмена «капля–газ» с учетом фазового перехода, проведение параметрического расчета и определение ограничений по достижимой температуре воздуха на выходе.

Проведен параметрический расчет влияния исходного диаметра капель, расхода воды, длины трубопровода и скорости воздуха на температуру на выходе и координату полного испарения капель. Показано, что при заданных геометрических и режимных параметрах существует область, где даже полное испарение воды не позволяет охладить воздух до требуемой температуры, что необходимо учитывать при проектировании испарительных охладителей в теплоэнергетических системах.

Уменьшение диаметра капель повышает отношение площади поверхности к объему, увеличивая интенсивность тепло- и массообмена. Мелкодисперсный распыл (20...30 мкм) приводит к быстрому нагреву и испарению воды на сравнительно коротком участке трубы. Крупные капли (80...100 мкм) испаряются значительно медленнее, что может вызвать не только недоохлаждение воздуха, но и проблемы с отводом остаточной жидкости на выходе (рис. 1).

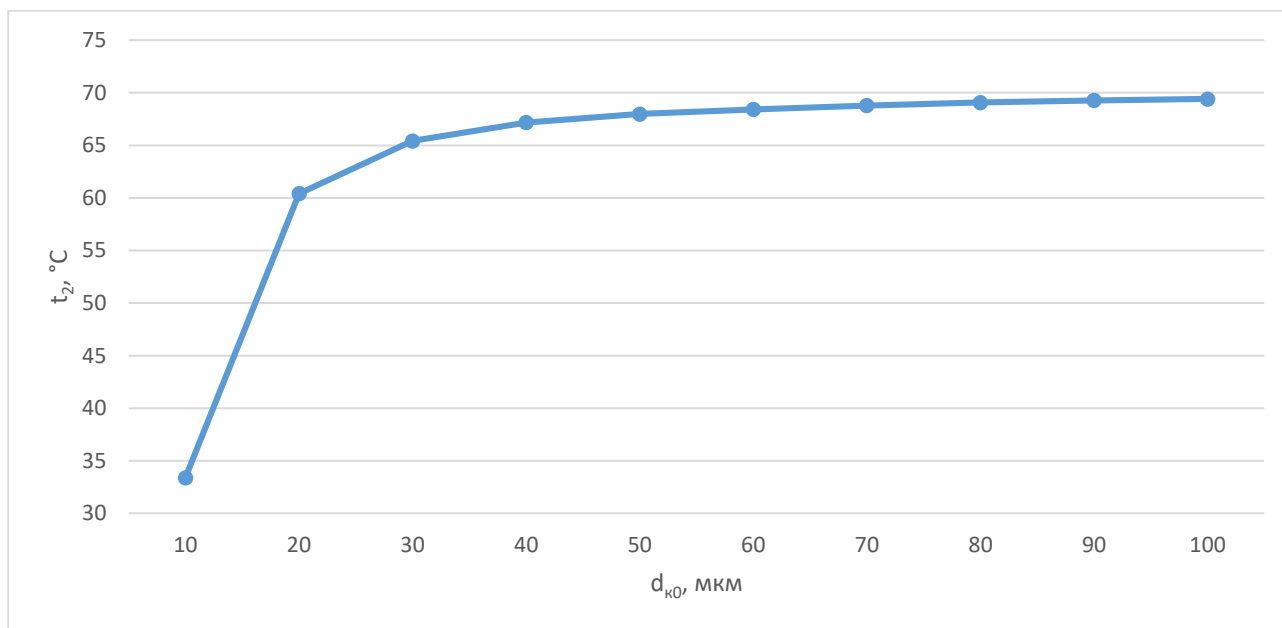


Рис. 1. График зависимости температуры воздуха на выходе от начального диаметра капли

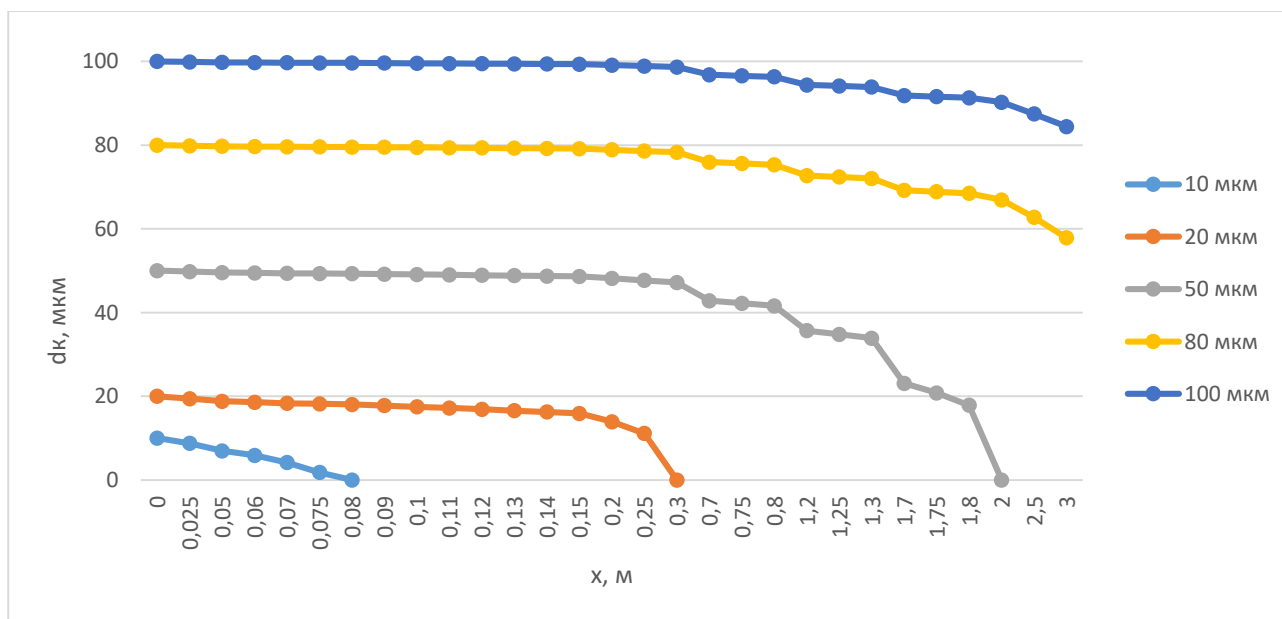


Рис. 2. График изменения диаметра капли по длине трубы при различных начальных диаметрах капли

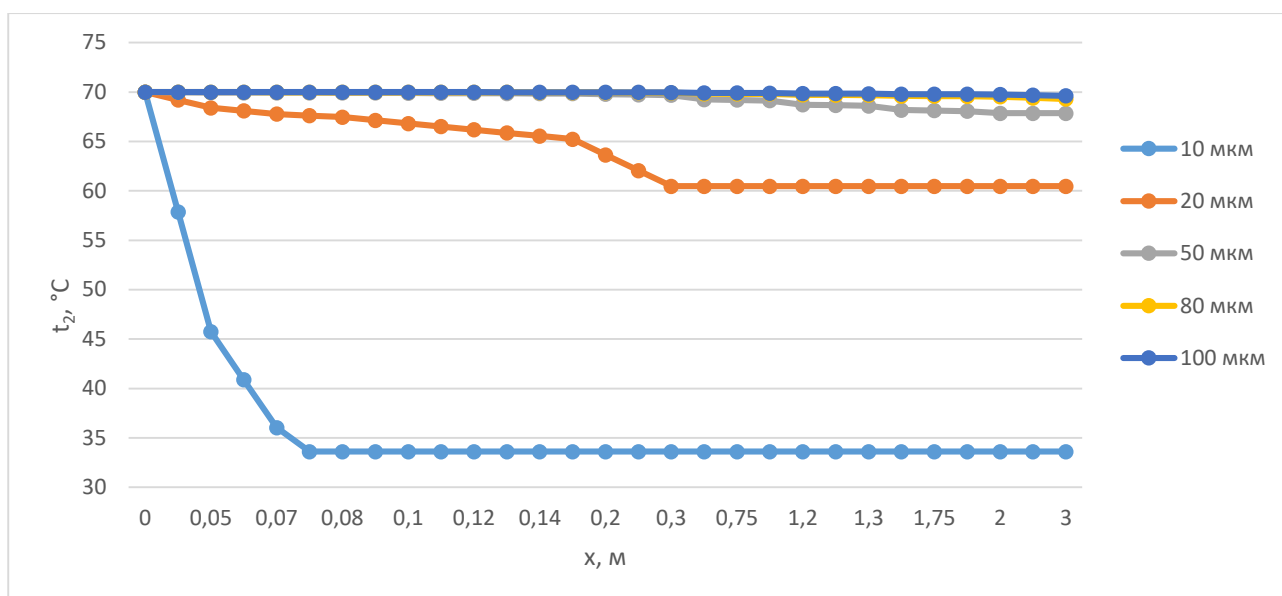


Рис. 3. График изменения температуры воздуха по длине трубы при различных начальных диаметрах капли

Для фиксированного состава и расхода воды длина трубы и скорость воздуха определяют время пребывания капель в зоне теплообмена. Увеличение длины или снижение скорости воздуха повышает вероятность полного испарения при тех же диаметрах капель. Таким образом, требуемая степень охлаждения и условие полного испарения задают требования к геометрии и гидродинамическим параметрам тракта.

Заключение. Разработана и реализована расчетно-аналитическая модель испарительного охлаждения горячего воздуха в трубопроводе путем впрыска воды в виде диспергированных капель. На основе одномерного описания теплообмена «капля–газ» с учетом фазового перехода определены условия полного испарения капель и получены значения температуры воздуха на выходе при различных диаметрах капель.

Проведенный численный эксперимент показал, что при заданной геометрии и скоростях потока существует энергетический потолок по достижимой температуре воздуха, определяемый суммарным тепловым эффектом испарения воды. При увеличении диаметра капель требуемый расход воды для достижения заданной температуры воздуха возрастает. Это подчеркивает необходимость совместного анализа энергетического баланса и кинетики испарения при проектировании испарительных охладителей в теплоэнергетических системах и задает направления дальнейших исследований по оптимизации параметров распыла и тракта.

Библиографический список

1. Исаченко, В. П. Теплопередача : учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : Энергоатомиздат, 1981.
2. Берман, Л. Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды на тепловых электростанциях / Л. Д. Берман. – М. : Энергоатомиздат, 1984.

МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ АНТЕННОЙ С ДИНАМИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

М. В. Савельев

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
Москва, Россия
(e-mail: max.savelev.2002@inbox.ru)*

Современный теплоэнергетический комплекс стоит на пороге фундаментальных изменений, движимых необходимостью повышения своей устойчивости, эффективности и гибкости. Цифровая трансформация становится не просто трендом, а стратегическим императивом, позволяющим ответить на ключевые вызовы: растущие нагрузки на инфраструктуру, требования к энергосбережению и острую потребность в прогнозировании и предотвращении аварий. Этот переход предполагает глубокую перестройку всех бизнес-процессов на основе данных, собираемых с тысяч датчиков в режиме реального времени, и создание единого цифрового контура от котельной до конечного потребителя. Успех этой масштабной задачи напрямую зависит от решения ряда критически важных проблем:

- Мониторинг состояния критически важного оборудования (котлов, турбин, насосных станций, теплотрасс) в реальном времени.
- Сбор и анализ больших данных с датчиков давления, температуры, расхода для интеллектуального управления нагрузкой.
- Снижение потерь за счет предиктивного обслуживания и автоматизированного управления.
- Обеспечение защищенного канала связи для передачи управляющих команд и телеметрии.

Реализация этих задач требует развертывания плотной сети беспроводных датчиков и устройств в рамках концепции Промышленного Интернета вещей. Однако суровые условия эксплуатации (металлические конструкции, значительные расстояния, электромагнитные помехи) создают серьезные вызовы для традиционных систем связи. Антенны с динамическими характеристиками, в частности, на основе динамических метаповерхностей [1], предлагают революционное решение этих проблем. Разработка специализированного модуля управления для таких антенн является центральной темой данного исследования и позволяет вписать развитие антенных технологий в контекст цифровизации ТЭК.

В основе работы динамической метаповерхностной антенны лежит принцип преобразования простой двоичной команды в сложную пространственную характеристику – диаграмму направленности. Антенна представляет собой не единый излучатель, а решетку из множества миниатюрных резонансных элементов (рис. 1), так называемых метаатомов [2]. Каждый такой элемент подобен настроенному радиоконтуру, способному эффективно поглощать и переизлучать энергию на определенной частоте. Уникальность динамической метаповерхности заключается в том, что состояние каждого элемента – активен он или пассивен – можно мгновенно переключать с помощью электронных компонентов, таких как PIN-диоды.

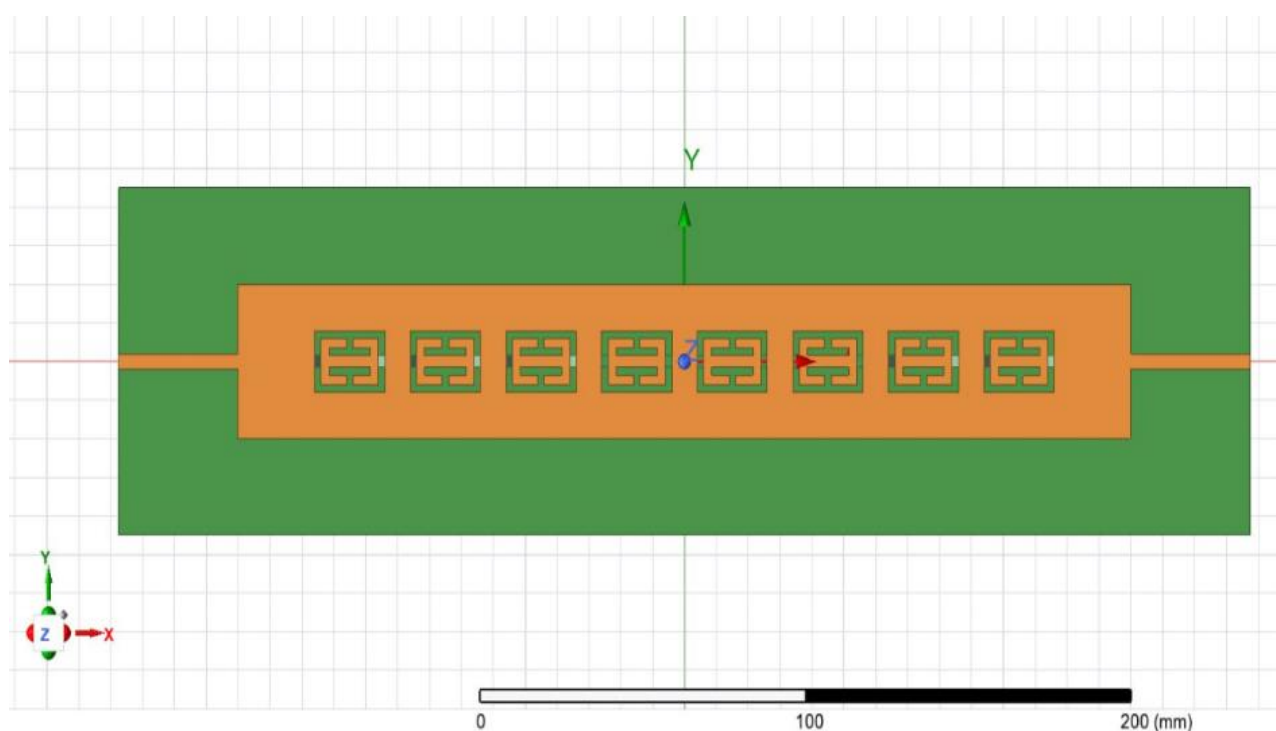


Рис. 1. Динамическая метаповерхностная антенна на 2,4 ГГц

Ключевая идея заключается в цифровом кодировании антенны. Состояние всей антенны описывается двоичным кодом, где единица соответствует активному, излучающему элементу, а ноль – неактивному, поглощающему или отражающему элементу. Таким образом, длинная битовая последовательность, например 10101010 или 11110000, определяет, какие именно элементы решетки в данный момент работают на излучение.

Физический принцип, позволяющий такому коду управлять направленностью, основан на интерференции электромагнитных волн. Каждый активный элемент антенны является источником вторичной сферической волны. В одних направлениях пространства эти волны приходят синфазно, складываются и усиливают друг друга, формируя главный лепесток диаграммы направленности. В других направлениях волны приходят в противофазе, гасят друг друга, создавая провалы и нули в диаграмме. Конкретная картина интерференции – т.е. итоговая форма луча – напрямую зависит от геометрического расположения активных элементов, т.е. от того, какие именно элементы были включены двоичным кодом.

Переключение элемента между состояниями «ноль» и «единица» не только включает или выключает его, но и приводит к скачкообразному изменению фазы излучаемого им сигнала. В идеальном случае это изменение составляет 180 градусов. Следовательно, изменяя код, мы фактически задаем определенное распределение фаз вдоль поверхности антенны. Чередую активные и неактивные элементы в определенном порядке, мы создаем искусственный фазовый сдвиг между соседними излучателями. Именно этот синтезированный фазовый сдвиг и заставляет результирующий луч отклоняться от нормали в заданном направлении. Например, последовательность с периодическим шаблоном создает эквивалент линейного набегу фазы, что и вызывает сканирование луча. Более сложные кодовые комбинации позволяют формировать несколько лучей одновременно или расширять главный лепесток для широкоугольного покрытия.

Таким образом, процесс управления антенной сводится к выбору из заранее рассчитанной или сгенерированной в реальном времени библиотеки нужного двоичного кода. Каждому коду соответствует строго определенная конфигурация диаграммы направленности. Модуль управления, построенный на быстродействующей программируемой логической интегральной схеме, выполняет роль декодера: он получает от верхнеуровневой системы команду высокого уровня, такую как «сканировать сектор 30 градусов» или «сфокусировать луч

на датчике № 5», и транслирует ее в конкретную битовую последовательность, которая подается на управляющие электроды элементов антенны. Этот принцип цифрового кодирования апертуры заменяет сложные, громоздкие и дорогие аналоговые фазовращатели, используемые в классических фазированных решетках, открывая путь к созданию компактных, энергоэффективных и программно-определяемых антенных систем для задач адаптивной связи в условиях цифровизации сложных промышленных объектов.

Разработка модуля управления антенной с динамическими характеристиками на основе технологии DMA представляет собой не просто узкотехническую задачу, а значимый вклад в процесс цифровизации теплоэнергетического комплекса. Интеграция таких интеллектуальных антенных систем в беспроводную инфраструктуру промышленных объектов позволяет кардинально повысить надежность, помехоустойчивость и энергоэффективность систем связи. Данное направление находится на стыке перспективных областей знаний: антенной техники, схемотехники СВЧ, программирования ПЛИС и промышленной IoT-автоматизации. Дальнейшие исследования будут сосредоточены на оптимизации алгоритмов управления, миниатюризации модуля и проведении натурных испытаний в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации на объектах ТЭК. Внедрение подобных разработок будет способствовать созданию интеллектуальной, устойчивой и безопасной энергетической системы будущего.

Библиографический список

1. Тярин, А. С., Базовые принципы построения и работы реконфигурируемых интеллектуальных поверхностей / А. С. Тярин, А. А. Куреев, Е. М. Хоров // Информационные процессы. – 2023. – Т. 23, № 4. – С. 488 – 496.
2. 60 GHz programmable dynamic metasurface antenna (DMA) for next-generation communication, sensing, and imaging applications: From concept to prototype / A. Jabbar, et al. // IEEE Open Journal of Antennas and Propagation. – 2024. – V. 5, No. 3. – P. 705 – 726.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ОБЪЕКТОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

К. В. Скоморохов, З. М. Селиванова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: selivanova_zm@mail.ru)

В теплоэнергетике теплоизолирующие материалы имеют важное значение для экономии энергии, так как ограничивают теплопередачу между поверхностями с различной температурой объектов, например применяемого промышленного оборудования, поддерживая стабильной его температуру. Таким образом, контроль качества теплоизолирующего покрытия объектов в теплоэнергетике с использованием системы теплового допускового контроля (СТДК) является актуальной и важной задачей.

Предложена структура системы теплового допускового контроля теплопроводности теплоизолирующего покрытия объектов (ТПО) в теплоэнергетике (рис. 1).

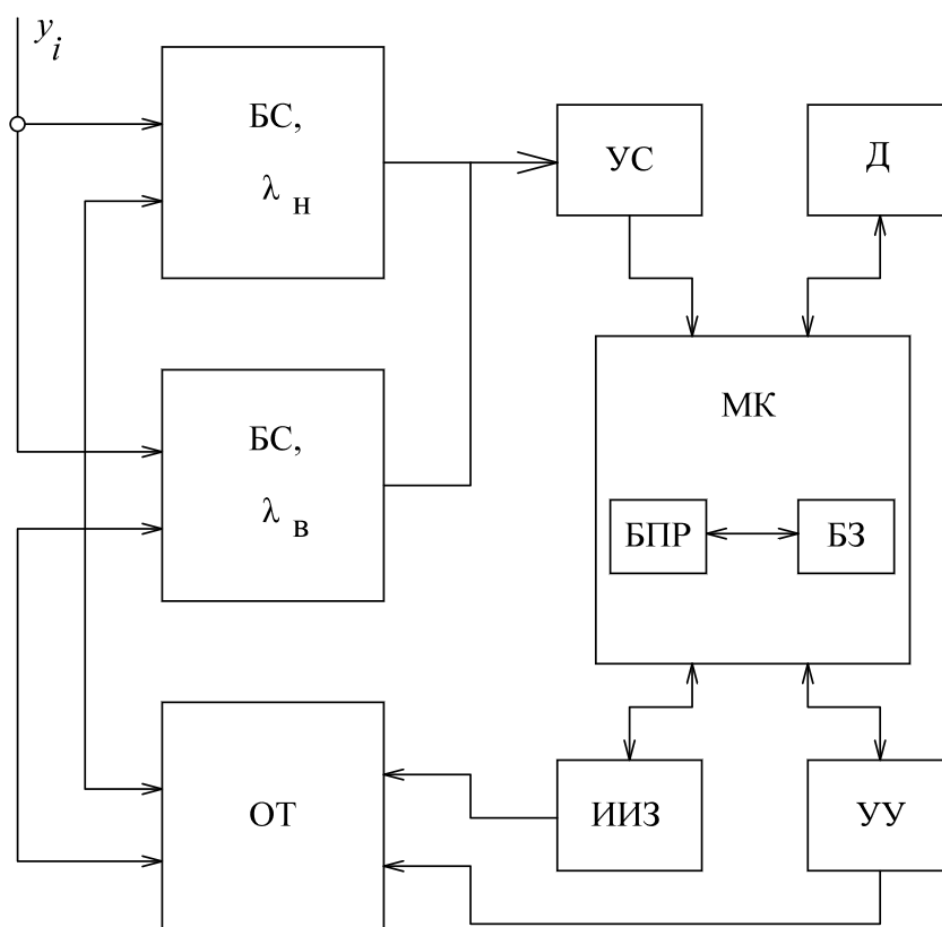


Рис. 1. Структура СТДК ТПО в теплоэнергетике

Система СТДК использует устройства для выполнения сравнений значений теплопроводности с нижним и верхним значениями заданных норм: N_n и N_b . Измерительная информация y_i от применяемых датчиков температуры подается на блок сравнения СТДК. Система теплового допускового контроля включает следующие структурные компоненты: БС – блок сравнения, ОТ – объект теплоэнергетики, УС – устройство синхронизации, МК – микроконтроллер, БПР – блок принятия решений, БЗ – база знаний, Д – дисплей, УУ – устройство управления, ИИЗ – интеллектуальный измерительный зонд.

При проведении теплового контроля объектов теплоэнергетики измерительный сигнал y_i сравнивается с установленными нормами N_n и N_b . Определяется, больше или меньше измеренный сигнал y_i нижнего значения нормы N_n . После этого определяется соответствие измерительной информации y_i норме верхнего значения N_b . Затем в блоке принятия решений осуществляется вывод: если $N_n \leq x_i \leq N_b$, то определяемая теплопроводность объекта теплоэнергетики соответствует допустимым нормам. При условии $y_i < N_n$ или $y_i > N_b$ контролируемая теплопроводность не соответствует допустимым значениям нормы. Результатом теплового допускового контроля является вывод или о нахождении y_i в поле допуска, или y_i не соответствует норме.

Допусковый контроль позволяет осуществить анализ: положительная или отрицательная будет разность при сравнении нормируемого значения теплопроводности и измеренного. При сравнении норм N_b и N_n , а также y_i оценивается условие: если $y_i - N_n > 0$, $y_i - N_b < 0$, то формируются решения о соответствии измерительной информации заданному допуску.

Тепловой контроль теплопроводности теплозащитных покрытий объектов теплоэнергетики осуществляется при использовании аналоговых каналов при параллельном сравнении значений теплопроводности с нормирующими значениями. При этом возможно формирование динамических погрешностей, но они незначительны по сравнению с использованием последовательного сравнения в других аналоговых каналах контроля.

При тепловом контроле значения теплопроводности преобразуются в напряжения. Таким образом, нормирующие значения задаются делителями напряжений. Сравнение напряжений выполняют компараторы, которые реализуют операционные усилители.

Нормирующие значения $N_n \leq x_i \leq N_b$ заносятся в цифровом виде в базу знаний, представленную в микроконтроллере системы теплового допускового

контроля. Контролируемая измерительная информация о теплопроводности объектов теплоэнергетики сравнивается с нормирующими значениями, представленными в цифровых кодах. Для реализации процедуры сравнения используются цифровые компараторы, схемы суммирования по модулю, а также цифровые логические элементы.

Применение теплоизолирующих материалов в теплоэнергетике регламентировано нормирующими документами [1 – 3]. Проведены исследования по определению теплопроводности теплоизолирующего покрытия объектов, результаты которых приведены в табл. 1.

1. Результаты экспериментальных исследований теплоизолирующего покрытия объектов в теплоэнергетике с использованием СТДК

Материалы теплоизолирующего покрытия	Справочная информация	Измеренная информация	Расчетная погрешность измерения
	λ , Вт/(м·К)	λ , Вт/(м·К)	δ_λ , %
Термостойкий листовой ламинат	0,245	0,255	4,08
Минеральная вата	0,033	0,034	3,03
Войлок	0,067	0,070	4,48
Пеношамот	0,212	0,221	4,25
Поливинилхлорид	0,159	0,167	4,40

Как следует из данных табл. 1, величина относительной погрешности измерений соответствует заданным требованиям к погрешности измерений СТДК ТПО – не более 5 %.

Разработанная система допускового теплового контроля отличается наличием созданных базы знаний, модуля допускового контроля и блока принятия решений для повышения точности оценки теплопроводности материалов, что позволило повысить качество теплозащитного покрытия объектов в теплоэнергетике.

Библиографический список

1. СП 61.13330. 2012. Свод правил. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – Росстандарт, 2013 г. – Введ. 2013-01-01. – 60 с.
2. ГОСТ Р 56542–2015. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – М. : Стандартинформ, 2015. – Введ. 2015-07-01. – 15 с.

3. ГОСТ Р 57830–2017. Композиты. Определение теплопроводности и температуропроводности методом дифференциальной сканирующей калориметрии с температурной модуляцией. – М. : Стандартинформ, 2017. – Введ. 2017-10-24. – 16 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИК-МЕТОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ САХАРА

**Н. О. Сорока, А. В. Гришина,
научный руководитель: канд. техн. наук И. В. Рогов**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail:rus68-00@mail.ru)*

Актуальность разработки новых методов контроля, в частности, инструментальных средств на основе инфракрасной (ИК) спектроскопии, обусловлена задачами повышения технологической эффективности и экономической устойчивости агропромышленного комплекса. В условиях, когда перерабатывающая промышленность и сельское хозяйство стремятся к оптимизации ресурсов и строгому соответствию стандартам, традиционные методы анализа сахара становятся недостаточно оперативными и трудозатратными. Создание портативных, точных и быстродействующих измерительных приборов, позволяющих оперативно определять концентрацию сахарозы непосредственно на этапе приемки сырья и в ходе технологического процесса, является ключевым фактором для внедрения комплексного подхода к управлению качеством.

Применение современных методов анализа, таких как ИК-спектроскопия, становится критически важным для обеспечения высоких стандартов продукции. Данная технология позволяет не только гарантировать соответствие сахара установленным нормам, но и повысить эффективность его производства.

В современной сахарной промышленности [1] применение ИК-спектроскопии для контроля качества сырья перешло из категории инноваций в необходимое условие эффективного производства. Актуальность этой технологии определяется ее способностью кардинально повышать точность и оперативность входного контроля сахарной свеклы, что напрямую влияет на экономические показатели всего предприятия. В отличие от традиционных лабораторных методов, требующих значительного времени и расходования реактивов, ИК-анализ предоставляет комплексные данные о ключевых параметрах сырья всего за 30...60 с.

Особую значимость метод демонстрирует на этапе приемки сырья, где необходимо быстро и объективно оценивать сахаристость каждой партии свеклы. Мгновенное получение точных данных позволяет не только справедливо рассчитываться с поставщиками, но и оперативно сортировать сырье для оптимизации последующей переработки. Технология обеспечивает одновременное определение нескольких критически важных показателей: содержания сахарозы, уровня влажности, количества вредных азотистых соединений и минеральных примесей. Такой комплексный анализ позволяет прогнозировать поведение сырья в технологическом цикле и предотвращать потенциальные сбои производственного процесса.

Важнейшим преимуществом ИК-метода [2] является неразрушающий характер анализа, который сохраняет целостность образцов и позволяет проводить многократные измерения без потери сырья. С точки зрения экономической эффективности метод обеспечивает существенное снижение эксплуатационных расходов за счет минимизации использования химических реактивов и сокращения трудозатрат. Получаемые данные интегрируются в систему управления производством, создавая основу для автоматизации технологических параметров: от регулирования режимов диффузии до оптимизации процессов кристаллизации.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема производства сахара из свеклы [1].

Определение сахара в свекле происходит на следующих этапах: приемка сырья; ЖОМ (отходы свеклосахарной промышленности); кристаллизация. Для оценки сахаристости используется метод поляриметрии, который имеет существенные минусы, такие как: длительность, чувствительность (погрешности от мутности и цвета), ручной труд, нет онлайн-контроля. Такой метод требует длительного времени, поэтому для определения сахара в свекле мы предлагаем ИК-метод, в котором молекулы сахарозы поглощают строго определенные длины волн в ИК-диапазоне [3].

На рисунке 2 приведена блок-схема устройства для измерения количества сахарозы в сырье.

Блок-схема включает в себя следующие основные элементы:

- блок питания, который обеспечивает электроэнергией все активные компоненты системы;
- ИК-излучатель, предназначенный для генерации пучка ИК-излучения;
- кювету (прозрачную для ИК-излучения), в которую помещается подготовленный образец;

- детектор (приемник) ИК-излучения, предназначенный для преобразования интенсивности ИК-излучения, прошедшего через образец в кювете, в электрический сигнал;
- усилитель сигнала детектора;
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП), предназначенный для преобразования аналогового сигнала в цифровой код, который может понять микроконтроллер;
- дисплей, на который выводятся результаты измерения в заданных единицах;
- микроконтроллер, предназначенный для управления всеми процессами: включения и выключения излучателя, запуска АЦП, обработки цифровых данных с АЦП, вычисления концентрации сахара по заданному алгоритму и вывода результатов измерений на дисплей.



Рис. 1. Принципиальная схема производства сахара из свеклы

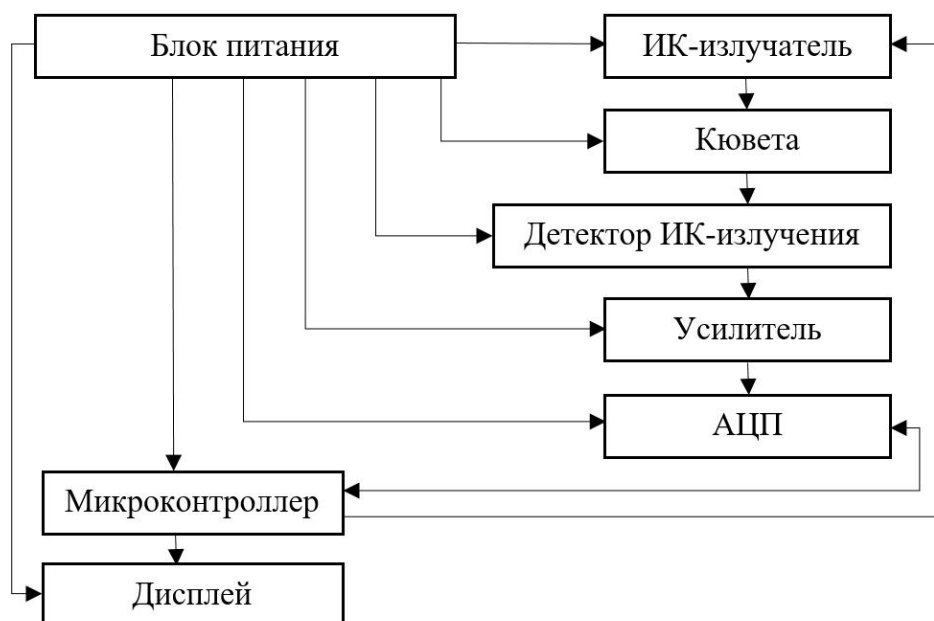


Рис.2. Блок-схема для измерения количества сахарозы в исходном сырье с помощью ИК-метода

Разрабатываемое измерительное устройство, реализующее блок-схему (рис. 2), строится на базе микроконтроллера ESP32-C3 от Espressif Systems. Такой выбор обусловлен наличием у этого микроконтроллера интегрированных Wi-Fi и Bluetooth 5, что позволяет считывать информацию с устройства, а также управлять им без необходимости проводного подключения к персональному компьютеру. ИК-излучатель и приемник выбираются исходя из спектра поглощения ИК-диапазона молекулой сахара в растворе воды [3].

Разработка и исследование измерительного прибора, реализующего ИК-метод определения сахарозы в сырье, позволят оценить эффективность данного метода для решения актуальных задач контроля качества в агропромышленном комплексе. Данное устройство представляет собой законченное техническое решение для оперативного и неразрушающего определения сахаристости. Внедрение такого прибора позволяет перейти от выборочного контроля к управлению качеством в режиме реального времени, что является залогом повышения конкурентоспособности и устойчивого развития предприятий по переработке сахаросодержащего сырья.

Библиографический список

1. Сапронов, А. Р. Общая технология сахара и сахаристых веществ : Для спец. «Технология сахаристых веществ» / А. Р. Сапронов, А. И. Жушман, В. А. Лосева ; под ред. А. Р. Сапронова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1990. – 396 с.

2. Пат. № 2574571 С1 Российская Федерация, МПК А61В 5/145, А61В 5/00. Способ неинвазивного определения концентрации глюкозы в крови / Крыжановский Э. В., Аджемов А. С., Григорян А. Г. ; № 2014152166/14 ; заявл. 22.12.2014 ; опубл. 10.02.2016.

3. Сорока, Н. О. Выявление длин волн инфракрасного диапазона для метода определения сахара в исходном сырье сахарных заводов / Н. О. Сорока, Д. С. Баршутина // Цифровая трансформация в энергетике : сб. тр. конф., Тамбов, 19 декабря 2024 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025. – С. 89 – 91.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМИ РЕЖИМАМИ АВТОНОМНОГО ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ

Д. Е. Судаков

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: Sudakov.dima1702@yandex.ru)*

Разработана цифровая модель системы управления микроклиматом автономного тепличного комплекса, ориентированная на оптимизацию энергопотребления системами отопления и вентиляции. Модель построена на основе экспериментально идентифицированных передаточных функций, описывающих тепловлажностные процессы. Использование сложнопозиционного регулирования позволяет минимизировать энергозатраты на поддержание заданных параметров, что представляет прямой интерес для задач цифровизации и повышения энергоэффективности в теплоснабжении распределенных объектов.

Повышение энергоэффективности систем теплоснабжения является ключевой задачей теплоэнергетического комплекса. Автономные объекты, такие как тепличные комплексы, характеризуются значительными энергозатратами на отопление и вентиляцию. Цифровизация управления такими объектами требует создания адекватных моделей, позволяющих оптимизировать их энергетические режимы. Целью работы является разработка цифровой модели системы управления, позволяющей анализировать и снижать энергопотребление при точном поддержании заданного микроклимата.

На первом этапе исследований была проведена энергетическая идентификация объекта управления. На основе экспериментальных данных методом

аппроксимации переходных характеристик получены передаточные функции, количественно описывающие влияние управляющих воздействий на тепловые режимы. Например, передаточная функция по каналу «включение нагревателя – изменение температуры воздуха» демонстрирует значительную инерционность и запаздывание, характерные для многих объектов теплоснабжения.

На основе полученного набора передаточных функций в среде MATLAB Simulink была создана комплексная имитационная модель системы управления. Данная модель позволяет исследовать динамику энергопотребления в зависимости от заданных установок микроклимата и внешних возмущающих воздействий.

Полученные динамические характеристики являются критически важной информацией для планирования энергетических циклов и оптимизации работы оборудования. Наглядно процесс аппроксимации экспериментальной переходной характеристики для получения параметров модели представлен на рис. 1.

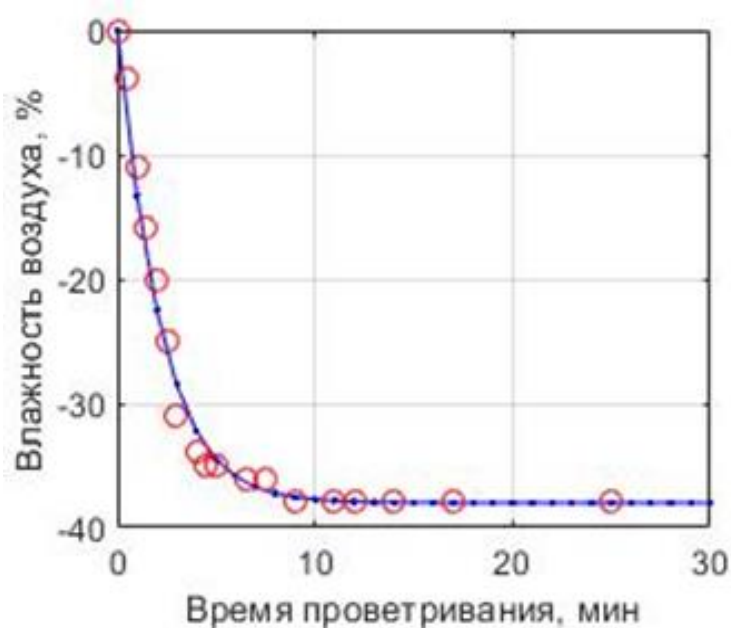


Рис. 1. Экспериментальная переходная характеристика и ее аппроксимация для определения параметров передаточной функции «проветривание – влажность почвы»

Моделирование наглядно показывает, как применение позиционного регулятора, минимизирует время активной работы исполнительных устройств и позволяет существенно снизить совокупное энергопотребление объекта.

Для подтверждения адекватности разработанной цифровой модели было проведено сравнение данных имитационного моделирования с эксплуатационными данными реального тепличного комплекса. Сравнение переходных про-

цессов показало их качественное и количественное соответствие, что подтверждает способность модели прогнозировать энергозатраты на поддержание требуемых температурно-влажностных параметров.

Успешная непрерывная эксплуатация системы в течение более шести месяцев служит практическим подтверждением корректности предложенных технических решений.

Разработанная цифровая модель системы управления автономным тепличным комплексом позволяет не только точно поддерживать заданные параметры микроклимата, но и проводить детальный анализ энергетической эффективности работы системы в целом. Полученные результаты и отработанная методика представляют значительный интерес и могут быть успешно применены для цифровизации и оптимизации режимов работы других автономных объектов, требующих точного контроля температурных параметров при одновременной минимизации энергозатрат.

Библиографический список

1. Hattarak1, S. A Solar-Powered IoT System to Monitor and Control Greenhouses-SPISMCG / S. Hattarak1, N. C. Jayashree // In book: Computational Intelligence for Engineering and Management Applications. – 2023. – P. 457 – 471.
2. Биотехническая система для выращивания растений / С. В. Фролов, Т. А. Фролова, В. О. Лычагина и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2024. – Т. 30, № 1. – С. 85 – 94.

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТЕПЛА В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ ТЕПЛИЦ

А. А. Шитиков, Н. А. Колядин

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: alexeyshitikov0908@gmail.com)*

В настоящее время для отопления теплиц практически повсеместно используется водяная система. Она обеспечивает наиболее равномерное распределение тепла, что очень благоприятно для роста растений. В классической системе водяного отопления в качестве отопительных приборов используют гладкие трубы с антикоррозийной поверхностью. Они размещаются в верхней, средней и нижней зонах теплицы. Запорная и регулирующая арматура обеспе-

чивает отдельное включение (выключение) и упорядочение теплоотдачи отопительных приборов в разных зонах.

Водяная система отопления характеризуется большой металлоемкостью и, следовательно, требует значительных капитальных затрат. А трубопроводы системы подогрева почвы усложняют ее обработку.

Использование в теплицах системы воздушного отопления позволяет заметно улучшить такие характеристики, как металлоемкость и капитальные вложения. К преимуществам системы воздушного отопления следует также отнести низкие эксплуатационные расходы и низкую инерционность.

Воздушное отопление теплицы реализуется на базе воздухоподогревателя, работающего на жидком или газообразном топливе. Воздухоподогреватель присоединяется к магистральному газопроводу или к емкости с топливом; для отвода продуктов сгорания за пределы теплицы используется дымоход. Прокачивая через себя воздух, заполняющий теплицу, и подогревая его до температуры около 40 °С, воздухоподогреватель нагнетает поток в сеть приточных воздуховодов, которая размещается по периметру теплицы на некотором расстоянии от стен на высоте около 2,5 м. Для обеспечения обдува внутренней поверхности, поддержания равномерной температуры, а также оптимальной подвижности воздушных масс на приливных отверстиях в воздуховодах устанавливаются вентиляционные решетки.

Важно отметить что любая система отопления должна удовлетворять требованиям к микроклимату, который она создает. Основными параметрами, характеризующими микроклимат, являются: температура воздуха и поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения внутреннего воздуха [1, 2].

В данной работе предлагается рассмотреть возможность применения струйного трансформатора тепла (вихревой трубы) для нагрева воздуха, поступающего в систему воздушного отопления теплицы.

Принцип работы и устройство струйного трансформатора тепла (вихревой трубы) описаны в работах [3 – 5].

При разработке принципиальной технологической схемы придерживались следующих требований:

- в качестве источника генерации тепловой энергии выступает струйный трансформатор тепла (вихревая труба);
- возможность обеспечить выработку необходимого количества и качества теплоносителя при различных режимах работы системы отопления;
- возможность кондиционирования теплицы в теплое время года.

Принципиальная технологическая схема системы воздушного отопления представлена на рис. 1.

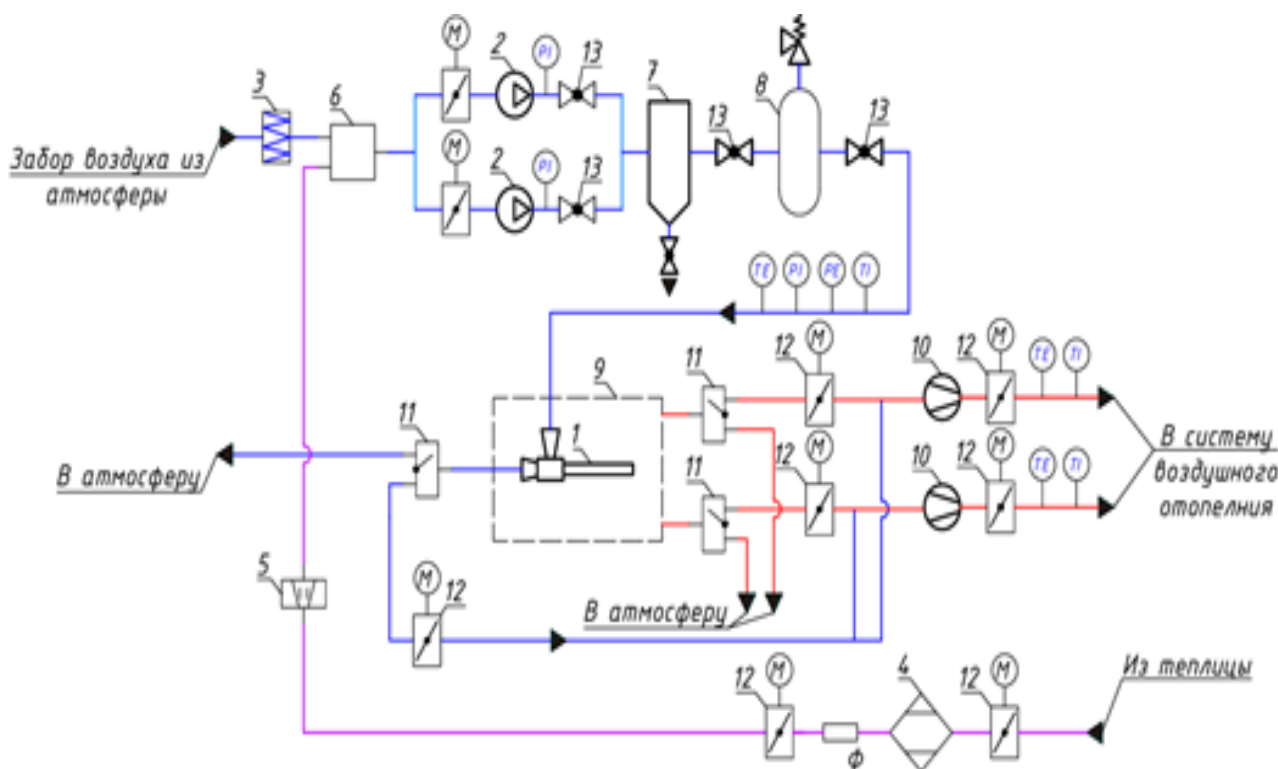


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема:

- 1 – вихревая труба; 2 – компрессор; 3 – фильтр грубой очистки; 4 – осушитель воздуха;
 5 – регулирующий клапан с регулирующим расходом; 6 – смешительная камера;
 7 – сепаратор; 8 – ресивер; 9 – вентиляционная камера; 10 – вентилятор;
 11 – переключатель потока; 12 – заслонка с электрическим приводом; 13 – шаровой кран

Для работы вихревой трубы 1 необходим сжатый воздух, который получаем в компрессоре 2. Так как у нас система с разным типом циркуляцией, то предусмотрим забор воздуха из атмосферы и помещения теплицы. При заборе воздуха из атмосферы необходимо установить воздушный фильтр грубой очистки 3. При заборе воздуха из теплицы воздуховод необходимо оснастить осушителем воздуха 4, после которого установлен датчик влажности воздуха, который будет подавать сигнал о неисправности устройства. Данный элемент необходим, так как забор воздуха будет осуществляться во время полива, и излишняя влажность воздуха негативно отразится на работе всей установки.

Из теплицы необходимо забирать воздух с переменным расходом, для этого установим регулирующий клапан с переменным расходом 5. Потoki воздуха будут смешиваться в смешительной камере 6. В данном устройстве при смешении атмосферного и тепличного воздуха будет образовываться

температура смеси, которая будет выше температуры наружного воздуха. Это вызовет снизить энергетические затраты на систему воздушного отопления. После смешения воздух сжимается в компрессоре и перемещается в сепаратор 7, где из воздуха удаляется влага, частички масла и прочие загрязнения. Для стабильной работы системы установлен ресивер сжатого воздуха 8. Он предназначен для равномерной подачи сжатого воздуха к вихревой трубе и снижает нагрузку на компрессор. Далее сжатый воздух поступает в вихревую трубу, которая располагается в вентиляционной камере 9.

Вентиляционная камера предназначена для снижения уровня шума вихревой трубы, который возникает при ее работе. Так же вентиляционная камера будет покрыта слоем тепловой изоляции, так как горячий поток воздуха будет скапливаться в ней. Необходимо также покрыть слоем тепловой изоляции саму трубу для работы устройства в стационарном режиме. К вентиляционной камере присоединяются два воздуховода, предназначенные для подачи воздуха в систему отопления.

На основании аэродинамического расчета необходимо установить канальный вентилятор 10, который будет компенсировать аэродинамические потери в системе и обеспечит стабильную подачу теплого воздуха. Так как подавать горячий воздух в теплицу регулярно не требуется, установим переключатель потока 11. В период, когда горячий воздух не требуется, он будет его выбрасывать в атмосферу. В теплый период времени, когда температура окружающей среды выше температуры, требуемой в теплице, в систему воздуховодов будет подаваться холодный поток воздуха. Воздуховод с холодным потоком напрямую соединен с вихревой трубой. Аналогично через переключатель потока холодный поток будет подаваться в теплицу либо выбрасываться в атмосферу. В качестве вспомогательных элементов используются заслонки с электрическим приводом 12 и краны шаровые 13.

Для мониторинга работы оборудования и параметров теплоносителя на схеме расположены контрольно-измерительные приборы.

Регулирование расхода теплоносителя (воздуха) реализовано двумя способами. Первый способ заключается в использовании VSD-компрессора с ПИД-регулятором, данное регулирование позволит в широких диапазонах изменять расход воздуха с сохранением рабочего давления. Второй способ регулирования заключается в изменении коэффициента массового расхода струйного трансформатора тепла (вихревой трубы). В совокупности эти два способа позволяют поддерживать требуемые параметры системы отопления.

В результате получена принципиальная технологическая схема приготовления теплоносителя для воздушной системы отопления. Так же схема способна осуществить кондиционирование, в результате чего теплицей можно пользоваться круглый год.

Библиографический список

1. Дегтярев, Е. А. Исследование влияния вида системы отопления на формирование параметров микроклимата в помещении / Е. А. Дегтярев, С. Д. Лысых, О. Н. Попов // Проблемы современной теплоэнергетики : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. – Казань, 2024. – С. 271 – 277.
2. Дегтярев, Е. А. Моделирование микроклимата в отапливаемом помещении от различных систем отопления / Е. А. Дегтярев, С. Д. Лысых, О. Н. Попов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов, 2024. – С. 109 – 113.
3. Меркулов, А. П. Вихревой эффект и его применение в технике / А. П. Меркулов. – М. : Машиностроение, 1969 – 184 с.
4. Минаев, Д. А. Численное моделирование вихревого эффекта в вихревой трубе А. П. Меркулова / Д. А. Минаев, О. Н. Попов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., 21–22 окт. 2024 г. – Тамбов, 2024. – С. 117 – 120.
5. Минаев, Д. А. Моделирование вихревого эффекта / Д. А. Минаев, О. Н. Попов // Цифровая трансформация в энергетике : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. для студентов, молодых ученых и специалистов, 19 дек. 2024 г. – Тамбов, 2024. – С. 67–68.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА МИНИ-ТУРБИНЫ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Р. А. Щеголихин

*Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия
(e-mail: schegolihin.roma@yandex.ru)*

Увеличение энергоэффективности сооружений представляет собой актуальную и значимую задачу современности. В условиях изменяющегося климата и роста энергетических затрат повышение энергоэффективности становится неотъемлемым направлением развития строительной отрасли.

Современные тенденции энергосбережения требуют внедрения инновационных решений, направленных на повышение энергоэффективности инженерных систем. Одним из таких решений является использование энергии потока свободно движущихся сточных вод систем водоотведения, преобразуемой в электрическую энергию с помощью мини-турбин [1].

Определение крутящего момента, создаваемого потоком жидкости на лопастях турбины, является ключевым этапом проектирования. Существуют различные способы определения крутящего момента, один из них – это численное определение, результаты которого достигаются с использованием численных методов вычислительной гидродинамики (CFD), реализованных в программном комплексе ANSYS CFX.

Для проведения численного анализа крутящего момента в качестве исходных данных выступит вертикально-осевая мини-турбина на базе ротора Дарье [2].

Смоделирована трехмерная модель физического объекта исследования в трубопроводе системы водоотведения. Модель включает три расчетные зоны: входной участок потока до турбины; рабочую область взаимодействия потока с лопастями; выходную часть потока после турбины (рис. 1).

При работе в ANSYS с моделью необходимо задать именованные области – вход, выход, стенка, лопасти и корпус. В модуле *Mesh* создается трехмерная расчетная сетка, оптимизированная под сложную геометрию лопастей турбины. Особое внимание уделяется зонам с высокими градиентами скорости и давления, где выполняется локальное сгущение сетки.

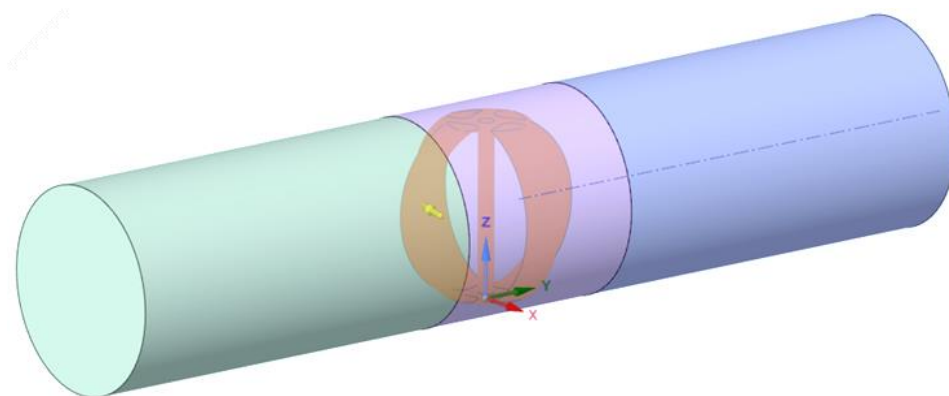


Рис. 1. Трехмерная модель

В областях, прилегающих к твердым поверхностям – стенкам трубопровода и лопаткам мини-турбины, формируется пограничный слой с постепенным уменьшением размеров ячеек по направлению к стенке. Главным требованием является контроль качества сетки на ортогональность и сходимости назначенных рабочих точек (рис. 2).

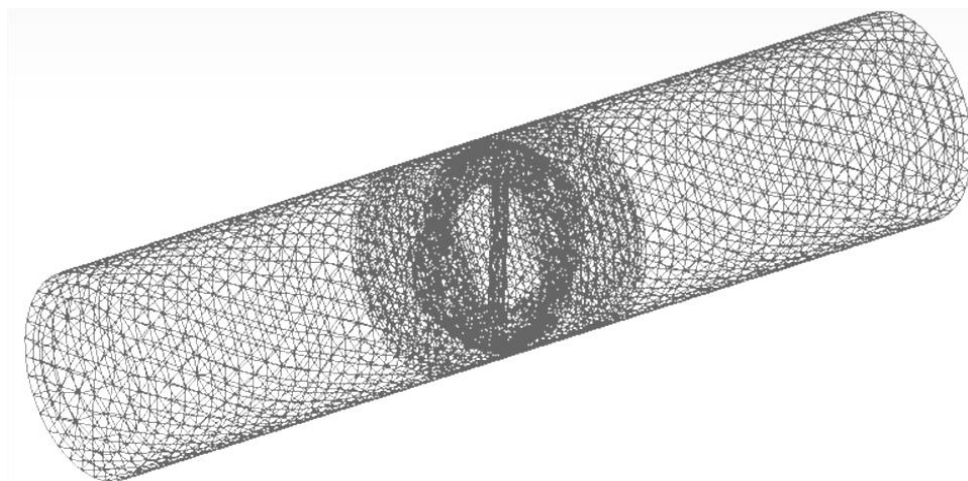


Рис. 2. Сетка трехмерной модели

В модуле *Setup* задаются граничные условия взаимодействия потока с элементами турбины: рабочая среда – вода (модель *Water Liquid*); входной параметр – скорость потока в диапазоне 0,5...8,0 м/с; выходное давление – нулевое избыточное; стенки корпуса и лопастей модели – неподвижные или вращающиеся скользящие поверхности; три области между зонами объединены для обеспечения неразрывности потока.

После назначения граничных условий производится запуск решателя *CFX-Solver*. Критерии сходимости установлены на уровне 10^{-6} , что гарантирует высокую точность вычислений. По результатам численного моделирования получены значения крутящего момента мини-турбины в зависимости от скорости потока, они сведены в табл. 1.

1. Результаты численного моделирования

Скорость ϑ , м/с	Момент M , Н·м
0,5	0,02
1,0	0,6
1,5	0,9
2,0	1,1
2,5	2,4
3,0	3,6
3,5	5,2
4,0	7,9
4,5	8,6
5,0	12,5
5,5	16,6
6,0	21,1
6,5	25,6
7,0	29,7
7,5	38,6
8,0	50,0

По данным табл. 1 построен график зависимости $M(\vartheta)$ (рис. 3).

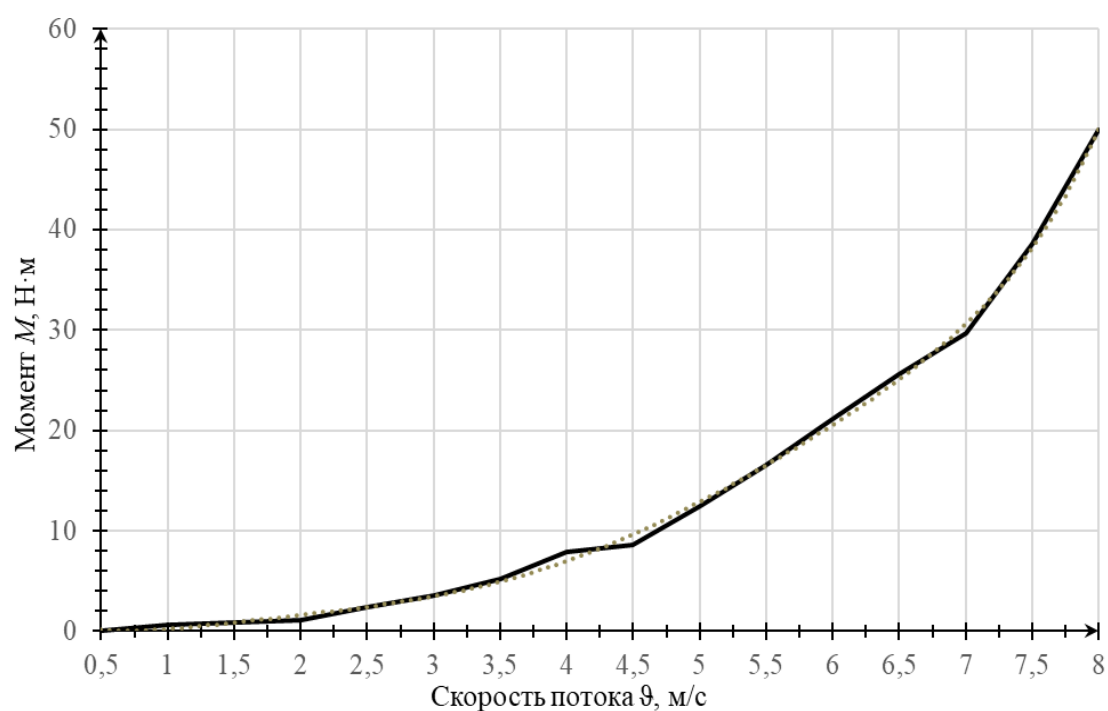


Рис. 3. График зависимости $M(\vartheta)$

Согласно данным, представленным на рис. 3, изменение значения крутящего момента турбины наблюдается в диапазоне от 0,02 до 50,00 Н·м. На основе полученных данных была построена линия тренда $y = f(x)$ (y – крутящий момент мини-турбины M , x – скорость потока ϑ), описывающая общую зависимость крутящего момента лопасти турбины

$$y = 7e^{-5x^6} - 0,0031x^5 + 0,0538x^4 - 0,4347x^3 + 1,8082x^2 - 3,0326x + 1,7747.$$

Для аппроксимации использовалась методика регрессионного анализа, в результате получено численное выражение, отражающее формульную зависимость момента эмпирического характера.

Полученная математическая модель в дальнейшем будет использоваться при разработке алгоритмического обеспечения информационно-измерительной и управляющей системы процессом производства электрической энергии с использованием мини-турбин [3, 4].

Библиографический список

1. Повышение энергоэффективности многоквартирного дома / Р. А. Щеголихин, С. Д. Лысых, И. С. Простомолотов, С. Р. Ястребов // Цифровая трансформация в энергетике : материалы Пятой Междунар. науч. конф. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – С. 46 – 48.

2. Щеголихин, Р. А. Определение крутящего момента гидротурбины / Р. А. Щеголихин, С. Д. Лысых, А. А. Шитиков // Цифровая трансформация в энергетике : сб. тр. VI Междунар. науч.-практ. конф. для студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025. – С. 94 – 96.

3. Принципы построения интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, Н. Ю. Залукаева и др. // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства : материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. – Омск : Омский государственный технический университет, 2020. – С. 246–247.

4. Грибков, А. Н. Информационно-управляющие системы многомерными технологическими объектами : теория и практика : монография / А. Н. Грибков, Д. Ю. Муромцев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 164 с.

Секция 2

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

И. Т. Абдрахманова, А. Н. Ермеккалиева

*Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,
Уральск, Казахстан
(e-mail: indira.a83@mail.ru, aizekow2208@mail.ru)*

Современный этап развития электроэнергетики характеризуется активным внедрением цифровых технологий в производственные процессы. Автоматизация, ранее направленная преимущественно на повышение надежности и точности управления, сегодня становится частью более масштабного явления – цифровой трансформации. Актуальность данной темы определяется необходимостью повышения эффективности энергетических систем, оптимизации использования ресурсов и обеспечения устойчивого функционирования инфраструктуры в условиях растущей сложности энергетических сетей. Новизна исследования заключается в анализе влияния современных цифровых инструментов на структуру и принципы работы систем автоматизации, а также в рассмотрении перспектив перехода к полностью интеллектуализированным системам управления. Цель работы заключается в исследовании тенденций цифровизации процессов автоматизации в электроэнергетике и выявлении направлений их дальнейшего развития. Основная задача – определить роль цифровых технологий в формировании новой модели управления производственными процессами и повысить эффективность функционирования энергетических предприятий.

Цифровая трансформация систем автоматизации в электроэнергетике предполагает переход от традиционных схем управления к интеллектуальным комплексам, способным к самообучению, прогнозированию и адаптации. Современные автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) все чаще интегрируются с облачными вычислениями, искусственным интеллектом и большими данными. Это позволяет анализиро-

вать работу оборудования в реальном времени, выявлять аномалии и принимать решения, направленные на предотвращение аварийных ситуаций. Важным элементом цифровизации становится использование технологий «Интернета вещей», обеспечивающих сбор данных с множества датчиков и устройств, расположенных на объектах энергетической инфраструктуры.

Новым аспектом исследования является внедрение концепции распределенных цифровых платформ управления, которые объединяют локальные автоматизированные системы в единую интеллектуальную сеть. Такие решения позволяют повысить адаптивность энергетических комплексов, обеспечить автоматическую координацию между узлами сети и реализовать принципы автономного управления на основе самообучающихся алгоритмов. Новизна подхода заключается в переходе от централизованных схем управления к гибридным системам, где каждый элемент инфраструктуры способен самостоятельно принимать решения, взаимодействуя с другими объектами сети. Это обеспечивает устойчивость системы к внешним воздействиям и повышает надежность электроснабжения.

Одним из ключевых направлений развития является внедрение концепции «умных» сетей (Smart Grid), основанных на взаимодействии распределенных источников энергии, интеллектуальных систем учета и автоматизированного управления. Такие сети обеспечивают оптимизацию потоков энергии, повышение устойчивости системы и снижение потерь при передаче электроэнергии. Важную роль в цифровой трансформации играет применение цифровых двойников энергетических объектов, позволяющих моделировать поведение оборудования, прогнозировать его состояние и оптимизировать режимы работы без вмешательства в реальный процесс.

Параллельно с технологическим развитием меняются требования к персоналу. Эффективное использование цифровых средств управления требует формирования новых компетенций у специалистов в области автоматизации и электроэнергетики. Возрастает значение междисциплинарных знаний, охватывающих программирование, анализ данных, кибербезопасность и цифровую инженерию. Существенным вызовом остается обеспечение защищенности данных и устойчивости автоматизированных систем от кибератак, поскольку цифровизация неизбежно повышает риски несанкционированного доступа и нарушения технологических процессов.

Новым направлением исследования является внедрение адаптивных систем управления на основе нейросетевых алгоритмов, способных самостоятельно корректировать параметры технологических процессов в зависимости от внешних условий и технического состояния оборудования. Эти системы

формируют основу интеллектуальных подсистем диагностики и оптимизации, обеспечивая переход от традиционного автоматического контроля к самоорганизующимся структурам управления. Такой подход позволяет значительно повысить точность прогнозирования аварийных ситуаций, сократить энергетические потери и минимизировать человеческий фактор. Новизна данного подхода заключается в интеграции искусственного интеллекта в контур реального времени систем автоматизации, что ранее реализовывалось преимущественно в виде аналитических надстроек, не связанных напрямую с управлением технологическими процессами.

Важным результатом цифровой трансформации является повышение прозрачности и управляемости производственных процессов. Использование аналитических платформ и интеллектуальных алгоритмов позволяет оптимизировать режимы работы оборудования, минимизировать потери и снизить эксплуатационные затраты. Цифровизация способствует переходу от реактивного обслуживания к предиктивному, когда решения принимаются на основе прогнозных данных, что значительно повышает надежность систем электроснабжения.

Проведенное исследование показывает, что цифровая трансформация систем автоматизации в электроэнергетике является стратегическим направлением развития отрасли. Внедрение интеллектуальных технологий управления, интеграция облачных и IoT-решений, использование цифровых двойников и искусственного интеллекта создают новые возможности для оптимизации производственных процессов и повышения эффективности энергосистем. Однако цифровизация требует комплексного подхода, включающего модернизацию оборудования, развитие цифровых компетенций специалистов и обеспечение кибербезопасности. В дальнейшем особое внимание следует уделить созданию унифицированных цифровых платформ для управления энергетическими объектами, а также разработке отечественных решений, обеспечивающих технологическую независимость отрасли.

Библиографический список

1. Андреев, А. В. Цифровая трансформация электроэнергетики: тенденции и направления развития / А. В. Андреев // Энергетическая политика. – 2023. – № 4. – С. 28 – 35.
2. Борисов, Н. С. Интеллектуальные системы управления в энергетике / Н. С. Борисов // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 10. – С. 15 – 21.

3. Громов, Ю. В. Облачные технологии и «Интернет вещей» в системах управления энергетическими объектами / Ю. В. Громов // Энергетика и промышленность России. – 2021. – № 6. – С. 42 – 47.

4. Кузнецова, И. С. Цифровая модернизация систем автоматизации на энергетических предприятиях / И. С. Кузнецова // Вестник энергетики. – 2022. – № 7. – С. 55 – 63.

5. Литвинов, П. А. Технологии Smart Grid как основа цифровой энергетики / П. А. Литвинов // Электроэнергетика: управление и экономика. – 2023. – № 3. – С. 12 – 20.

6. Морозова, Е. П. Применение искусственного интеллекта для диагностики оборудования в электроэнергетике // Информационные технологии в энергетике. – 2022. – № 9. – С. 77 – 84.

7. Сафронов, В. Л. Цифровые двойники в системах управления технологическими процессами / В. Л. Сафронов // Наука и инновации в энергетике. – 2023. – № 5. – С. 33 – 39.

8. Федоров, И. М. Кибербезопасность автоматизированных систем управления в условиях цифровизации / И. М. Федоров // Автоматизация и цифровизация промышленности. – 2021. – № 11. – С. 68 – 73.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

И. С. Амангали, А. Р. Гусманова

*Западно-Казахстанский аграрно-технический университет
имени Жангир хана, Уральск, Казахстан
(e-mail: aisgus23@mail.ru)*

Современное развитие электроэнергетики невозможно без внедрения цифровых методов и технологий. Цифровизация охватывает все этапы производственного процесса – от генерации и передачи до потребления энергии. Цель статьи – рассмотреть основные цифровые технологии, применяемые в электроэнергетике, и проанализировать их влияние на повышение эффективности, надежности и устойчивости энергосистем.

1. «Интернет вещей» (IoT) и сенсорика

Использование сенсоров и устройств IoT позволяет собирать данные в реальном времени о параметрах генерации, передачи и распределения электроэнергии – температура оборудования, вибрация, токи и напряжения, состояние линий. Эти данные становятся основой для анализа и автоматического управления.

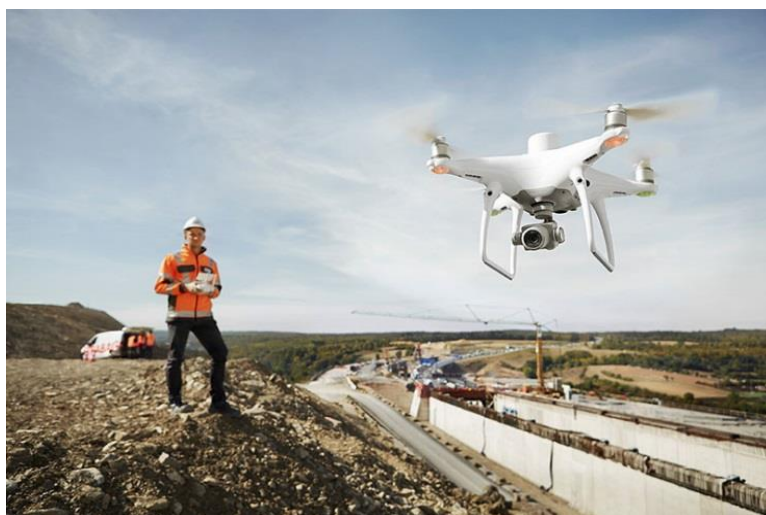


Рис. 1. Модуль Real Time Kinematic

Пример: мониторинг состояния силовых линий с помощью беспилотников (дронов), оборудованных камерами и сенсорами, с передачей данных на центральную платформу.

2. Большие данные и аналитика (Big Data & Analytics)

Собираемые данные требуют обработки и анализа для выявления закономерностей, прогнозирования отказов и оптимизации режимов работы. Применение алгоритмов машинного обучения позволяет принимать решения на основе комплексных данных.

Пример: предиктивное обслуживание оборудования электростанций – анализ вибраций, температур, режимов работы и прогноз возможных отказов.



Рис. 2. Архитектура платформы больших данных в энергетике

3. Цифровые двойники (Digital Twin)

Цифровой двойник – это виртуальная модель физического объекта (например, генератора, подстанции, линии). Он позволяет проводить виртуальные испытания, моделирование и мониторинг состояния оборудования в реальном времени.

Пример: цифровые двойники электросетей применяются для прогнозирования аварийных ситуаций и оптимизации работы системы.

Цифровой двойник в электроэнергетике



Рис. 3. 3D-модель оборудования на экране

4. «Умные сети» (Smart Grid) и распределенные технологии

Переход от централизованной энергетики к распределенной модели требует цифровых решений. «Умные сети» обеспечивают двунаправленный обмен энергией, интеграцию малой генерации и возобновляемых источников. Пример: технологии блокчейн используются для учета P2P-транзакций между производителями и потребителями энергии.



Рис. 4. Пример «Умных сетей»

Библиографический список

1. Елисеев, А. Н. Цифровизация электроэнергетики: тенденции и перспективы / А. Н. Елисеев // Энергетика. – 2022. – № 4. – С. 15 – 22.
2. Павлов, Д. В. Интеллектуальные системы мониторинга теплового состояния электрооборудования / Д. В. Павлов, М. Ю. Соколова // Автоматизация в промышленности. – 2021. – № 8. – С. 34 – 42.
3. Международное энергетическое агентство (IEA). Digitalization and Energy Report. – Paris : IEA, 2023.

АКУСТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ОБЪЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗА

С. В. Артемова¹, М. А. Кононов¹, М. А. Каменская², С. М. Лемещенко¹

¹ *РТУ МИРЭА, Москва, Россия*

(e-mail: artemova_s@mirea.ru), (e-mail: kononov@mirea.ru)

² *Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

(e-mail: art_mari@bk.ru)

Актуальной проблемой на тепловых и атомных электростанциях является обеспечение высокой чистоты водорода в системах охлаждения мощных турбогенераторов. Снижение объемной концентрации водорода даже на 1...2% приводит к существенному росту температуры обмоток, увеличению вентиляционных потерь и повышению риска возникновения аварийных ситуаций. Традиционные методы контроля чистоты водорода – катарометрический и палладиевый – характеризуются недостаточной точностью и нестабильностью в условиях промышленной эксплуатации. В качестве альтернативы предложен акустический метод, основанный на измерении скорости распространения ультразвука в газовой среде. В работе представлена конструкция макета измерительной ячейки, изготовленной с применением технологии 3D-печати, и описана методика экспериментальной верификации ее работоспособности. Поскольку прямые испытания на водородных смесях сопряжены со значительными техническими и безопасностными ограничениями, в качестве модельной среды использовался воздух с управляемым изменением температуры. Регистрация фазового сдвига ультразвукового сигнала осуществлялась визуально по изменению формы фигур Лиссажу на экране осциллографа. Полученные результаты подтверждают высокую чувствительность разработанной системы к вариациям скорости звука и обосновывают перспективность дальнейшего развития акустического метода для промышленного применения в энергетике.

Мощные турбогенераторы с водородным охлаждением широко применяются на энергоблоках тепловых и атомных электростанций единичной мощностью от 300 до 1000 МВт. Высокая теплопроводность и низкая вязкость водорода при температуре 60 °С (соответственно $\approx 210 \cdot 10^{-3}$ Вт/(м·К) и $\approx 8,5 \cdot 10^{-6}$ Па·с) обеспечивают эффективный отвод джоулева тепла и минимизацию гидродинамических потерь, что критически важно для надежности и экономичности работы генераторов [1, 2].

Согласно Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ [3], объемная концентрация водорода в корпусе турбогенератора должна составлять не менее 97%. Падение чистоты до 96% вызывает повышение температуры обмоток на 1...2 °С и увеличение вентиляционных потерь на 10...18%. Для генератора мощностью 400 МВт это эквивалентно дополнительным потерям до 180 кВт, что влечет экономические издержки свыше 200 долларов США в сутки [1]. Более того, при концентрации водорода ниже 95% возникает риск формирования взрывоопасной смеси с воздухом (диапазон воспламеняемости – от 4 до 75% объемных), что делает задачу непрерывного мониторинга чистоты водорода не только метрологической, но и важнейшей мерой промышленной безопасности.

Существующие промышленные газоанализаторы – катарометрические и палладиевые – обладают рядом существенных недостатков: погрешность измерения достигает 2...5%, требуется частая калибровка (не реже одного раза в квартал), а показания чувствительны к температуре, влажности и расходу газа [1, 2]. В этих условиях перспективным представляется акустический метод, описанный в патенте РФ № 2550306 [2], который теоретически обеспечивает погрешность не более 0,2% и не требует отбора пробы газа.

Целью настоящей работы является экспериментальная верификация принципа действия измерительной ячейки, реализующей указанный метод, с использованием модельной газовой среды.

1. Постановка задачи

Скорость распространения ультразвука в идеальном газе определяется соотношением

$$c = \sqrt{\frac{kRT}{\mu}}, \quad (1)$$

где k – показатель адиабаты; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура; μ – молярная масса газа.

В рамках исследования были сформулированы следующие задачи:

1. Разработать и изготовить макет измерительной ячейки с использованием аддитивных технологий.
2. Реализовать схему генерации и приема ультразвукового сигнала с возможностью визуализации фазового сдвига.
3. Провести модельный эксперимент с локальным нагревом воздушной среды внутри ячейки.
4. Зафиксировать и проанализировать изменение фигур Лиссажу как индикатора фазового сдвига.

2. Описание макета и методики эксперимента

Измерительная ячейка была изготовлена методом FDM-печати из термостойкого полимера. Конструктивно ячейка представляет собой цилиндрический корпус с пьезоэлектрическими преобразователями, установленными на противоположных торцах: один выполняет функции излучателя, другой – приемника.

Экспериментальная установка представлена на рис. 1.

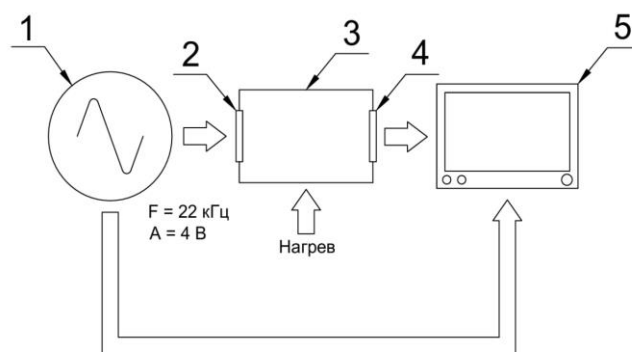
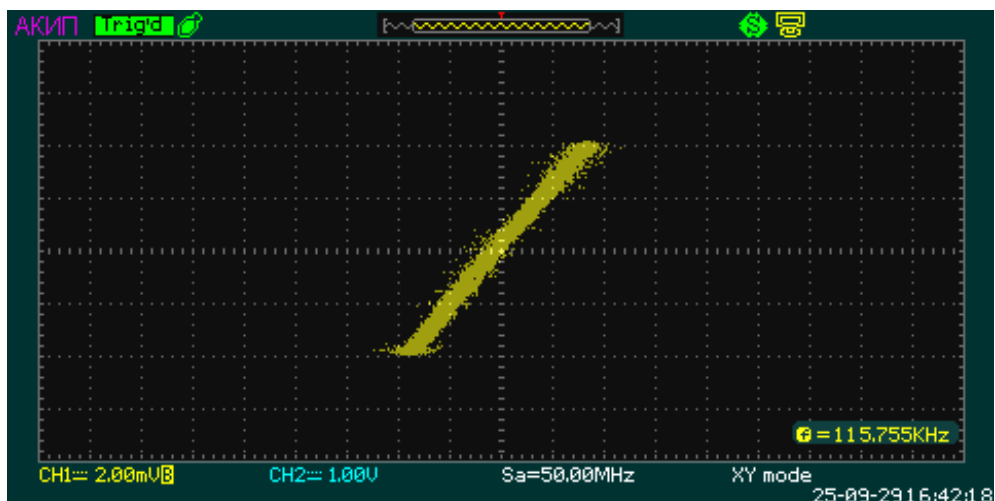


Рис. 1. Структурная схема установки:

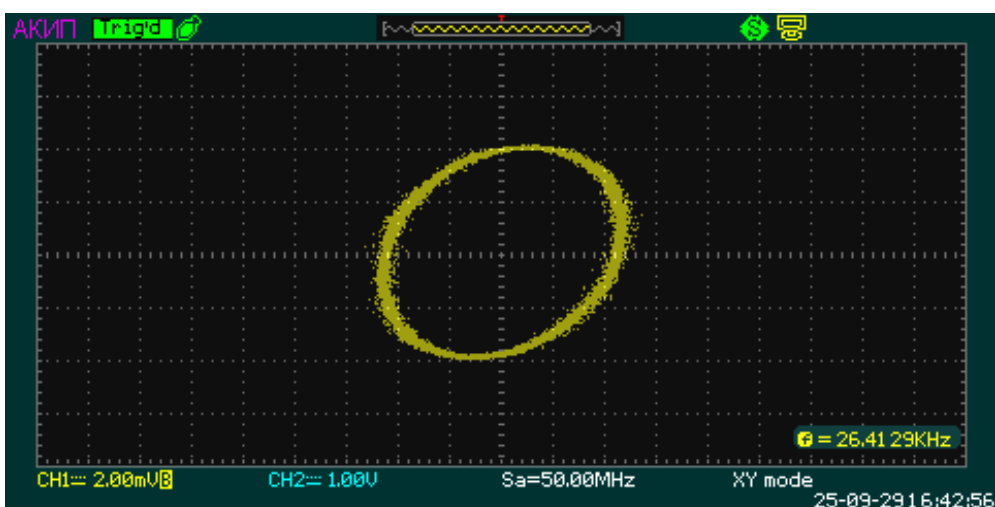
- 1 – генератор сигналов синусоидальной формы; 2 – излучающий пьезоэлемент;
3 – корпус макетного образца измерительной ячейки;
4 – принимающий пьезоэлемент; 5 – осциллограф

Генератор подает на излучатель синусоидальный сигнал амплитудой 4 В и частотой 22 кГц, соответствующей резонансной частоте для заданной длины акустического тракта. Сигналы с излучателя и приемника подаются на два канала осциллографа. Для визуализации фазового сдвига используется режим отображения фигур Лиссажу.

В ходе эксперимента воздушная среда внутри ячейки подвергалась локальному нагреву. Изменение температуры приводило к увеличению скорости звука в воздухе, что фиксировалось в виде деформации фигуры Лиссажу (рис. 2). Наблюдаемые изменения подтверждают высокую чувствительность системы к вариациям акустических параметров среды.



a)



b)

Рис. 2. Изменение фигур Лиссажу

a – при отсутствии нагрева; *б* – при нагреве

Закключение. Проведенный эксперимент подтвердил принципиальную работоспособность акустического метода измерения объемной концентрации водорода. Наглядная регистрация фазового сдвига посредством фигур Лиссажу продемонстрировала достаточную чувствительность разработанной измерительной ячейки к изменениям скорости звука в газе. Полученные результаты создают основу для последующей калибровки системы на реальных водород-воздушных смесях и разработки промышленного образца информационно-измерительной системы мониторинга чистоты водорода в турбогенераторах.

Библиографический список

1. Каплан, Б. Ю. Система измерения чистоты водорода в мощных турбогенераторах / Б. Ю. Каплан, М. В. Мостовской // Законодательная и прикладная метрология. – 2016. – № 3(142). – С. 29 – 33.

2. Пат. РФ № 2550306. Способ измерения объемной концентрации водорода / Каплан Б. Ю. ; заявка № 2014104720 ; Опубл. 10.05.2015.

3. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. Утверждены приказом Минэнерго РФ от 19.06.2003 № 229.

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЦИФРОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ДАЛЬНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ

А. В. Архипова, К. С. Колодин

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: Asay1710@yandex.ru, Kolodin.kirill2015@yandex.ru)*

Энергетический потенциал цифровой радиолокационной системы ЦРЛС показывает эффективность ЦРЛС по излучению и приему сигналов для обеспечения обнаружения целей [1].

Энергетический потенциал ЦРЛС зависит от следующих параметров [2]

- мощность передатчика $P_{\text{прд}}$ (чем больше излучаемая мощность, тем больше энергии достигает цели и возвращается обратно);
- чувствительность приемника $P_{\text{прм}}$ (чем ниже минимальный уровень сигнала, который обеспечивает требуемую вероятность правильного обнаружения при заданном уровне ложной тревоги, тем слабее может быть принятый сигнал, а значит, увеличивается дальность обнаружения целей);
- коэффициент усиления антенны G повышает энергию излучаемого и отраженного сигнала в заданном направлении;
- эффективная площадь антенны S_A характеризует способность антенны собирать падающий на нее поток мощности отраженного сигнала и преобразовывать этот поток мощности в мощность на нагрузке ЦРЛС: физические размеры и конструкция антенны влияют S_A .
- эффективная площадь отражения (ЭПО) цели σ является количественной мерой свойства целей отражать электромагнитную волну (ЭПО цели не является характеристикой ЦРЛС, она определяет энергию отраженного сигнала на входе приемника ЦРЛС).

Одним из главных тактических характеристик ЦРЛС является его максимальная дальность обнаружения, которую можно найти из следующего выражения [1, 3]

$$D_{\text{обн}} = 4 \sqrt{\frac{P_{\text{ПРД}} G \sigma S_A}{(4\pi)^2 P_{\text{ПРМ}}}}, \quad (1)$$

Уравнение (1) является основным уравнением радиолокации и показывает, что максимальная дальность РЛС в свободном пространстве зависит от собственных параметров радиолокационной станции и отражающих свойств цели.

Дальность обнаружения будет тем сильнее, чем больше излучаемая мощность передатчика, коэффициент усиления, ЭПО цели и чем меньше значение чувствительности приемника.

На рисунке 1 демонстрируется влияние мощности излучаемой передатчиком на дальность обнаружения ЦРЛС при различных значениях чувствительности приемника $P_{\text{прм}}$.

Из рисунка 1 видно, что повышение мощности передатчика увеличивает дальность обнаружения пропорционально $\sqrt[4]{P_{\text{ПРД}}}$. Если уменьшать (улучшать) чувствительность приемника в 10 раз, то дальность обнаружения увеличивается в 1,8 раза. Это связано с тем, что при уменьшении чувствительности приемника, ЦРЛС будет нормально функционировать при меньших значениях отраженного сигнала от цели, который поступает на вход приемника.

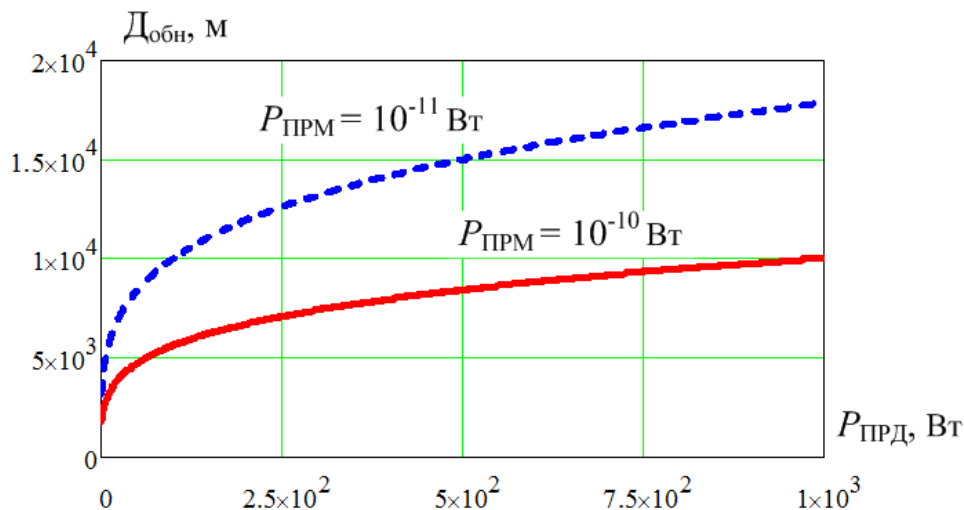


Рис. 1. Зависимость дальности обнаружения от изменения $P_{\text{ПРД}}$ при различных значениях чувствительности приемника $P_{\text{прм}}$

На рисунке 2 показано влияние мощности, излучаемой передатчиком, на дальность обнаружения ЦРЛС при различных значениях эффективной площади антенны S_A .

Из рисунка 2 видно, что при уменьшении эффективной площади антенны в 5 раз, дальность обнаружения ЦРЛС уменьшится в 1,5 раза. Это обусловлено тем, что при уменьшении эффективной площади антенны, на вход приемника

ЦРЛС будет поступать сигнал меньшей мощности нормально, функционировать при меньших значениях отраженного сигнала от цели, который поступает на вход приемника.

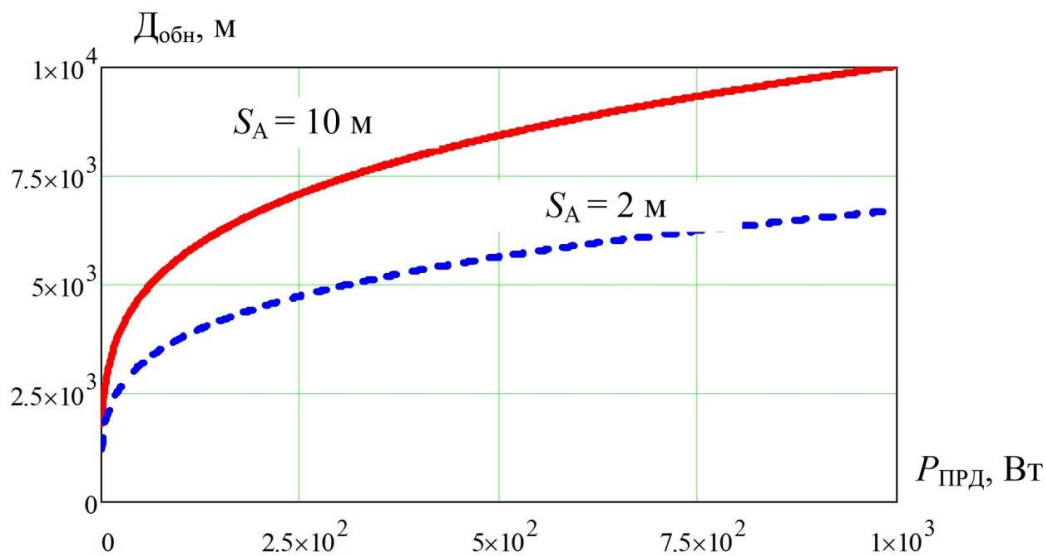


Рис. 2. Зависимость дальности обнаружения от изменения $P_{прд}$ при различных значениях эффективной площади антенны S_A

На рисунке 3 представлено влияние мощности, излучаемой передатчиком, на дальность обнаружения ЦРЛС при различных значениях коэффициента усиления антенны G . Это следует из теории антенн, чем уже диаграмма направленности (главный лепесток излучения), тем выше коэффициент усиления антенны в заданном направлении (увеличивается плотность потока энергии в направлении цели, и в этом случае отраженный сигнал по мощности от цели увеличивается).

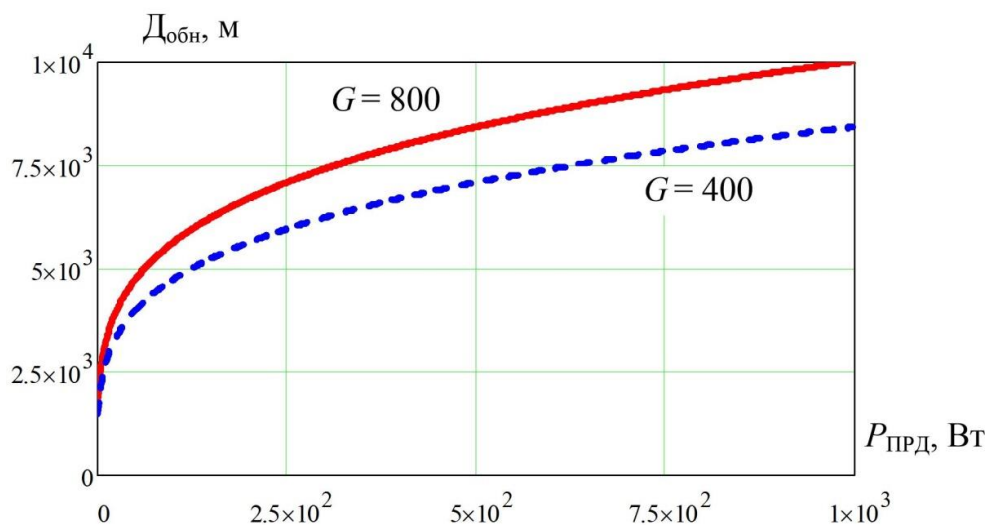


Рис. 3. Зависимость дальности обнаружения от изменения $P_{прд}$ при различных значениях коэффициента усиления антенны G

Таким образом, результаты исследования показали, что для увеличения дальности обнаружения ЦРЛС необходимо улучшать параметры энергетического потенциала:

- мощность передатчика $P_{\text{прд}}$;
- чувствительность приемника $P_{\text{прм}}$;
- коэффициент усиления антенны G ;
- эффективную площадь антенны S_A .

Исходя из расчетов, увеличение мощности передатчика в 2 раза потребует увеличить массогабаритные характеристики передатчика в 16 раз, что не всегда является целесообразным.

Увеличение геометрических размеров, улучшение распределения поля в раскрыве, снижение уровня боковых лепестков антенны позволяют увеличить коэффициент усиления и эффективную площадь антенны [4].

В настоящее время предпочтительным вариантом для повышения дальности обнаружения ЦРЛС являются современные алгоритмы обработки, которые позволяют уменьшить чувствительность приемника.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения Publishing. – 256 с.
2. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics : Conference Series. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.
3. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.
4. Панасюк, Ю. Н. Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 270 с.

АЛГОРИТМ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ УСПЕШНОГО АПВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Р. П. Беликов, И. Н. Фомин, О. Б. Гладков

*Орловский государственный аграрный университет
имени Н. В. Парахина, Орел, Россия*

Введение. При автоматизации электрических сетей важно знать о положении выключателя в распределительной сети (включен или отключен) и совершались ли им действия по восстановлению электроснабжения при возникновении устойчивого или неустойчивого короткого замыкания (КЗ) и такую информацию необходимо получать на подстанции дистанционно [1].

В целях своевременного получения информации об успешном АПВ выключателя в распределительной сети разработан способ [2, 3].

Согласно способу в начале линии в распределительной сети контролируют появление броска тока КЗ [4, 5]. С момента появления броска тока КЗ начинают отсчет времени, равного времени срабатывания защиты выключателя, и контролируют момент отключения броска тока КЗ. Если в момент окончания отсчета времени происходит отключение броска тока КЗ, то устанавливают факт отключения выключателя. А далее, с момента отключения броска тока КЗ, начинают отсчет времени, равного времени выдержки АПВ этого выключателя. При этом контролируют появление второго броска тока. И если в момент окончания отсчета времени выдержки АПВ этого выключателя, появляется бросок тока значением больше нормального рабочего, но меньше тока КЗ, то устанавливают факт успешного АПВ высоковольтного выключателя [6, 7].

Для реализации контроля успешного АПВ выключателя был разработан алгоритм.

Алгоритм реализации мониторинга работы выключателя в распределительной сети составлен на основе анализа диаграмм [8], отражающих различные варианты его работы. Начало алгоритма предусматривает наличие заложенных данных о величинах рабочего тока и минимального тока КЗ, времени выдержки АПВ выключателя. Начало работы алгоритма обеспечивает контроль появления тока КЗ в ЛЭП. При выполнении условия, заложенного в начале алгоритма, делается вывод, что произошло КЗ, и запускается счетчик времени, отсчитывая время, равное времени срабатывания защиты секционирующего выключателя ЛЭП [9, 10]. В момент окончания отсчета времени с помощью последующих блоков контролируется ток. При выполнении условия выдается

сигнал об отключении секционирующего выключателя. А далее включается блок счетчика времени, равный времени выдержки АПВ выключателя, и контролируется ток. Следующим блоком алгоритма контролируется появление броска рабочего тока в линии электропередачи [11] (вызванный подключением нагрузки, расположенной за выключателем). При выполнении условия выдается сигнал об успешном АПВ выключателя.

Выводы. Таким образом, на основе разработанного алгоритма можно разработать устройство, которое позволит получать на подстанции своевременную информацию об отключении и успешном АПВ выключателя в распределительной сети.

Библиографический список

1. Fomin, I. Remote monitoring of circuit breakers in partitioned power line / I. Fomin, N. Makhianova, R. Belikov // Proceedings – 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2018, Moscow, 15–18 мая 2018 года. – М., 2018. – Р. 8728873.

2. Фомин, И. Н. Особенности эксплуатации воздушных линий электропередачи / И. Н. Фомин, Р. П. Беликов // Ресурсосберегающие технологии при хранении и переработке сельскохозяйственной продукции : материалы XV Всерос. (с междунар. участием) науч.-практ. семинара, Орел, 17 июня 2021 года. – Орел : Изд-во «Картуш», 2021. – С. 160 – 163.

3. Identification power line sections with increased-electricity losses using sensors with Wi-Fi technology for data transmission / I. N. Fomin, R. P. Belikov, T. A. Kudinova, A. N. Tsvetkov // E3s Web of Conferences, Prague, Czech Republic, 14–15 мая 2020 года. – Prague, Czech Republic : EDP Sciences, 2020. – V. 178. P. 01083.

4. Пат. № 2337454 С1 Российская Федерация, МПК H02J 13/00. Способ контроля отключения и отказа автоматического повторного включения секционирующего выключателя в линии кольцевой сети ; № 2007142953/09 ; заявл. 20.11.2007 ; опубл. 27.10.2008 / Суров Л. Д., Фомин И. Н., Греков В. В. ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО ОрелГАУ).

5. Пат. № 2305356 С1 Российская Федерация, МПК H02J 13/00. Способ контроля успешного и неуспешного автоматического повторного включения выключателей в секционированной линии кольцевой сети ; № 2006118486/09 ;

заявл. 29.05.2006 ; опубл. 27.08.2007 / Суров Л. Д., Фомин И. Н. ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО ОрелГАУ).

6. Пат. № 2410817 С1 Российская Федерация, МПК H02J 13/00, H02J 9/06. Способ контроля изменений состояния головного выключателя в линии кольцевой сети ; № 2009146796/07 ; заявл. 16.12.2009 ; опубл. 27.01.2011 / Суров Л. Д., Фомин И. Н., Махиянова Н. В., Лебедев Р. В. ; заявитель Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО ОрелГАУ).

7. Пат. № 2394331 С1 Российская Федерация, МПК H02J 13/00. Способ контроля отключения головного выключателя линии при отказе отключения секционирующего выключателя при его повторном включении на устойчивое короткое замыкание в кольцевой сети ; № 2009118084/09 ; заявл. 12.05.2009 ; опубл. 10.07.2010 / Суров Л. Д., Фомин И. Н., Фомин ; Д. Н. заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО ОрелГАУ).

8. Суров, Л. Д. Контроль срабатывания выключателя сетевого пункта АВР на короткие замыкания в кольцевой сети / Л. Д. Суров, И. Н. Фомин, В. Ф. Шумарин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 3. – С. 18 – 20.

9. Фомин, И. Н. Алгоритм дистанционного контроля головного выключателя линии электропередачи / И. Н. Фомин, Р. П. Беликов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4(61). – С. 72 – 77.

10. Фомин, И. Н. Алгоритм и структурная схема дистанционного контроля успешного автоматического повторного включения секционирующего выключателя ЛЭП / И. Н. Фомин, В. И. Зелюкин, Р. П. Беликов // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2015. – № 209-2. – С. 100 – 105.

11. Фомин, И. Н. Запрет включения АВР выключателя в кольцевой сети / И. Н. Фомин, Р. П. Беликов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4(67). – С. 93 – 99.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ В СФЕРЕ ОБРАЩЕНИЯ ОТХОДОВ УПАКОВКИ ТЕТРА РАК

П. С. Беляев, В. В. Павлинов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: bps800@yandex.ru)

Повсеместный рост потребления продукции в упакованном виде, наряду с удобством дозирования, транспортировки, хранения и использования продукции имеет очевидную негативную сторону в виде накопления использованной упаковки [1]. Сложность разделения отходов упаковки с выделением перспективных для дальнейшего использования материалов приводит к значительному росту полигонов для захоронения отходов и негативному воздействию на окружающую среду [2]. При этом наибольшую сложность имеют процессы разделения отходов полимерной упаковки, наносящей существенный вред экологии и особенно комбинированной упаковки, состоящей из многочисленных слоев картона, полимеров и металлов [3]. В статье рассматривается современное состояние в области энергосбережения при утилизации трудноперерабатываемых отходов комбинированной упаковки на примере фирмы «Tetra Pak».

Цифровизация процессов переработки в «Tetra Pak» представляет собой важный этап на пути к устойчивому развитию и эффективному управлению отходами. По мере роста спроса на эффективные решения в области переработки отходов на фоне усиливающейся обеспокоенности состоянием окружающей среды компания «Tetra Pak» внедряет различные технологические разработки, направленные на улучшение переработки своей упаковки, состоящей из слоев картона, пластика и алюминиевой фольги. Такой комплексный подход не только способствует извлечению ценных материалов, но и решает насущные социальные, экономические и энергетические проблемы, связанные с современными методами переработки отходов.

Компания «Tetra Pak» внедрила искусственный интеллект (ИИ) и передовые технологии обработки изображений в свои системы переработки отходов. Например, рентгеновское оборудование и камеры с искусственным интеллектом используются для анализа поступающих на перерабатывающие предприятия материалов, что позволяет выявлять несоответствующие требованиям предметы, которые могут нарушить процесс переработки. Кроме того, технология компьютерного зрения помогает распознавать определенные материалы, например, картонные упаковки для напитков, в смешанных потоках отходов, что способствует более эффективной сортировке.

Эти инновации являются частью более масштабных усилий по оптимизации работы и повышению производительности предприятий по переработке отходов. За последние годы компания «Tetra Pak» добилась значительных успехов в области устойчивого развития, сократив за 5 лет выбросы парниковых газов на 25% по всей цепочке жизненного цикла продукции. Компания стремится максимально повысить эффективность производственных процессов при минимальном потреблении энергии и воды [4].

Внедрение ИИ и робототехники в системы управления складом «Tetra Pak» значительно улучшило работу цепочки поставок. Эти технологии позволяют быстро и точно находить продукцию, оптимизировать маршрутизацию и упаковку и в конечном итоге сокращать время подготовки заказов. Минимизируя количество ошибок и оптимизируя процессы, компания «Tetra Pak» повышает уровень удовлетворенности клиентов, а также производительность и экологичность переработки [5].

Использование ИИ также применяется для оптимизации операций по переработке отходов, когда алгоритмы машинного обучения анализируют процессы сортировки, чтобы повысить эффективность извлечения материалов и обеспечить соответствие стандартам переработки.

«Умная» упаковка, как часть цифровой трансформации, использует датчики и искусственный интеллект для повышения эффективности переработки. Эти интеллектуальные системы могут точно сортировать материалы, отслеживать уровень заполнения контейнеров для отходов и предоставлять данные в режиме реального времени для составления графиков вывоза отходов. Эта возможность позволяет компании «Tetra Pak» оптимизировать логистику, сократить количество ненужных сборов и уменьшить выбросы углекислого газа, связанные с утилизацией отходов [6].

Автоматизация в сочетании с этими интеллектуальными технологиями имеет решающее значение для управления сложными современными процессами переработки и перехода к экономике замкнутого цикла. Исследования технологий переработки «Tetra Pak» свидетельствуют о благоприятном воздействии на окружающую среду. Оценка жизненного цикла продукции показывает, что в среднем сценарии использования интеллектуальных упаковочных решений снижает воздействие на климат на 29,17% [7]. Это свидетельствует об экономической целесообразности и экологических преимуществах внедрения устойчивых методов создания упаковки, ее использования и переработки, что подтверждает важность цифровизации для улучшения состояния окружающей среды [8].

Таким образом, цифровизация в сфере переработки отходов не только повышает эффективность работы, но и вносит значительный вклад в обеспечение экологической устойчивости и вовлечение потребителей в процесс переработки. Цифровые технологии стремительно меняют индустрию продуктов питания и напитков, выводя упаковку за рамки простого удобства для потребителя и наделяя ее более сложными функциями. Компания «Tetra Pak» находится в авангарде этих изменений и использует свою интеллектуальную инженерную платформу, чтобы клиенты могли эффективно поддерживать и обновлять свои цифровые решения [9]. Эти инновации не только повышают эффективность работы, но и улучшают процесс переработки в целом, позволяя лучше отслеживать и сортировать материалы.

Чтобы преодолеть стагнацию в сфере переработки, компания «Tetra Pak» участвует в стратегическом сотрудничестве, направленном на увеличение мощностей по переработке и объемов сбора. Эти партнерские отношения имеют решающее значение, поскольку они позволяют различным участникам производственно-сбытовой цепочки, в том числе брендам и предприятиям по переработке отходов, сообща, повышать эффективность переработки. Недавние инициативы компании «Tetra Pak», такие как создание перерабатывающего предприятия UPFACTORY в Калифорнии, свидетельствуют о стремлении превращать отходы в экологичные строительные материалы и одновременно решать проблему воздействия упаковочных отходов на окружающую среду [10].

По мере того, как компания «Tetra Pak» будет осваивать новые методы переработки отходов, интеграция цифровых технологий и совместные усилия будут играть ключевую роль в решении экологических проблем и вопросов продовольственной безопасности.

Библиографический список

1. Quality and Life Circle Management Tools of the Polymer Products in the Context of the Digital Transformation Conditions / O. L. Mitryakova, I. V. Nagornova, P. S. Belyaev, L. G. Varepo // AIP Conference Proceedings 2412, 060013 (2021).
2. Беляев, П. С. Утилизация отходов полимеров с получением композитов для дорожного строительства / П. С. Беляев, М. В. Соколов, В. А. Фролов. – М. : ИНФРА-М, 2024. – 141 с.
3. Petroleum Bitumen and Polymer-Bitumen Binders: Current State and Russian Specifics. Review / P. S. Belyaev, V. A. Frolov, V. P. Belyaev, et al. // AIP Conference Proceedings 2412, 060001 (2021).

4. Lakhout, A. Revolutionizing urban solid waste management with AI and IoT: a review of smart solutions for waste collection, sorting, and recycling // Results in Engineering. – 2025. – P. 104018.
5. Ramos, E. R. L. C. Smart solutions for a cleaner planet: artificial intelligence and machine learning in plastic waste reduction : дис. / E. R. L. C. Ramos. – Instituto Politecnico de Castelo Branco (Portugal), 2024.
6. Dabic-Miletic, S. The challenges of integrating AI and robotics in sustainable WMS to improve supply chain economic resilience / S. Dabic-Miletic // Journal of Industrial Intelligence. – 2024. – V. 2, No. 2. – P. 119 – 131.
7. Environmental benefit of recycling plastics from waste electrical & electronic equipment / L. Sun, et al. // Resources, Conservation and Recycling. – 2024. – V. 211. – P. 107855.
8. Life cycle environmental and economic assessment of Tetra Pak recycling technologies / H. Dong, et al. // Resources, Conservation and Recycling. – 2024. – V. 202. – P. 107355.
9. Lande, T. Unlocking Product Lifecycle Management Potential: A Self-Assessment framework for maturity: A case study on Tetra Pak, Sweden / T. Lande. – 2023.
10. URL : <https://sustainabilityonline.net/news/tetra-pak-steps-up-sustainability-efforts-in-north-america/>

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

А. А. Бурмистрова, В. А. Пилипенко

*Филиал ПАО «Россети» – МЭС Волги, Россия,
Филиал ПАО «Россети» – Средне-Волжское ПМЭС, Россия
(e-mail: vikapilipenko@list.ru)*

Трансформаторное масло – важнейший элемент распределительных сетей, который подвержен старению из-за постоянных нагрузок и условий, в которых оно работает. Своевременная физико-химическая и хроматографическая диагностика трансформаторного масла позволяет выявить не только первичные признаки старения, но и дефекты самого трансформатора. Наиболее точным диагностическим методом является хроматографический анализ трансформаторного масла, основанный на диагностике растворенных газов в трансформаторном масле, а также влажность твердой изоляции.

Актуальным вопросом в век искусственного интеллекта является полная цифровизация и автоматизация диагностических методов оценки трансформаторного масла.

С годами по всему миру происходит старение парка трансформаторов, а современные трансформаторы подвержены быстрому износу и появлению дефектов, а то и вовсе, полному отказу оборудования. Отбор проб масла для диагностики, последующая транспортировка проб до химической лаборатории и сам анализ отнимают время, в промежуток которого состояние масла и самого трансформатора ухудшается и может привести к необратимым последствиям. Соответственно, цель – минимизировать потери, связанные с затратой времени, человеческих ресурсов и финансов на диагностические мероприятия. Основной задачей является активное внедрение и использование автоматизированных систем для диагностики трансформаторного масла в режиме «онлайн».

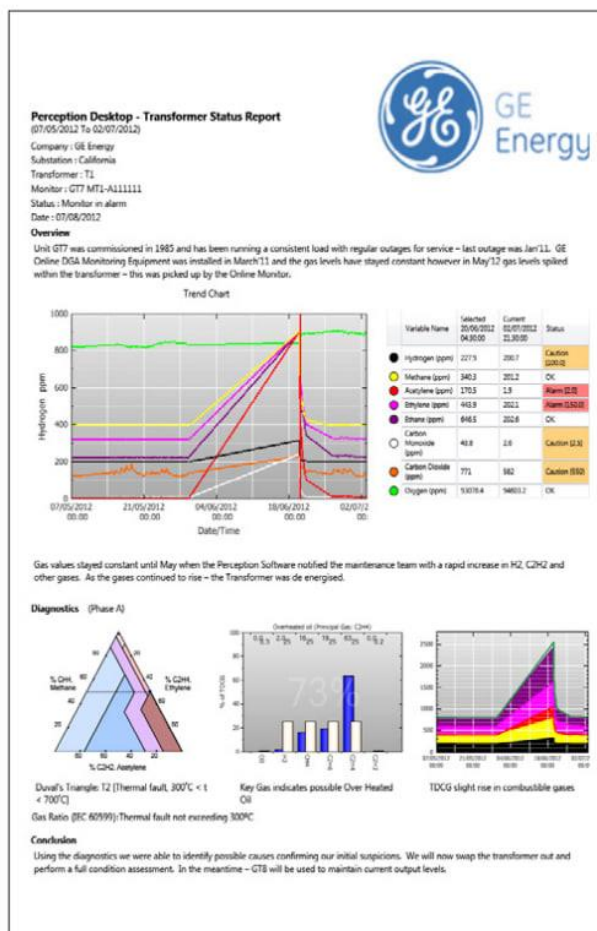
Для примера можно привести систему MULTITRANS, которая проводит непрерывный (ежечасный) анализ растворенных газов в масле, а также определяет содержание влаги (табл. 1).

Данные, получаемые в режиме «онлайн», позволяют проводить оценку степени износа трансформатора, выявлять дефекты на ранних стадиях, а также предотвратить аварийные отключения и отказы оборудования (рис. 1).

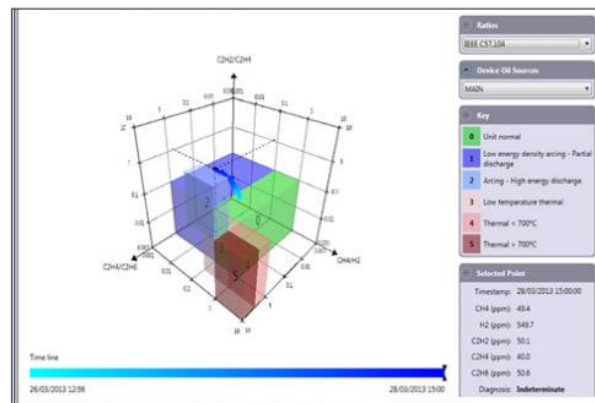
MULTITRANS имеет свою операционную систему Perception Software, которая помогает настроить устройство, позволяет добавить в программу уже имеющиеся данные и проанализировать тенденции к росту уровня определенных газов в масле.

1. Технические характеристики

Параметр	Диапазон измерения
Водород (H_2)	5 – 5,000 мд
Оксид углерода (CO)	2 – 50,000 мд
Углекислый газ (CO_2)	20 – 50,000 мд
Метан (CH_4)	2 – 50,000 мд
Ацетилен (C_2H_2)	0,5 – 50,000 мд
Этан (C_2H_6)	2 – 50,000 мд
Этилен (C_2H_4)	2 – 50,000 мд
Вода (H_2O)	0 – 100% RS (дано в мд)
Точность	$\pm 5\%$ или $\pm LDL$ (смотря что больше)
Кислород (O_2)	100 – 50,000 мд, погрешность $\pm 10\%$
Азот (N_2)	10,000 – 100,000 мд, погрешность $\pm 15\%$



Transformer overview report



IEEE® C57.104 DGA diagnostic



Transformer health/risk overview

Рис. 1. Диагностика трансформатора с использованием системы MULTITRANS

Более того, программное обеспечение имеет средства импорта и экспорта данных, что позволяет при обнаружении тревоги направить уведомление прямо на электронную почту сотруднику отдела диагностики, либо напрямую на рабочий смартфон сотрудника. Систему активно используют в энергетике Англии, Германии, Японии, Китая.

Так как прибор является разработкой английских ученых, у нас есть прекрасная возможность адаптировать прибор и создать отечественный аналог, а также разработать собственную операционную систему для прибора, совместимую с отечественными операционными компьютерными системами.

Методология оценки экономического эффекта

Для расчета используются следующие показатели:

1. Снижение затрат на внеплановые ремонты ($\Delta C_{\text{рем}}$):

$$\Delta C_{\text{рем}} = C_{\text{рем. до}} - C_{\text{рем. после}},$$

где $C_{\text{рем. до}}$ и $C_{\text{рем. после}}$ – средние годовые затраты до и после внедрения.

2. Увеличение межремонтного интервала ($K_{\text{инт}}$):

$$K_{\text{инт}} = \frac{T_{\text{инт. после}}}{T_{\text{инт. до}}},$$

где $T_{\text{инт}}$ – средний период между плановыми ремонтами.

3. Предотвращенный ущерб от отказов ($U_{\text{пред}}$):

$$U_{\text{пред}} = P_{\text{отк. до}} \times U_{\text{ед}} - P_{\text{отк. после}} \times U_{\text{ед}},$$

где $P_{\text{отк}}$ – вероятность отказа за год; $U_{\text{ед}}$ – ущерб от одного отказа (потеря выручки, штрафы, затраты на аварийный ремонт).

4. ROI системы (за 5 лет):

$$ROI = \frac{\sum_{i=1}^5 (\Delta C_{\text{рем}} + U_{\text{пред}})}{C_{\text{внедр}}} \times 100\%,$$

где $C_{\text{внедр}}$ – затраты на внедрение.

Экономические эффекты:

- снижение страховых премий;
- оптимизация закупок запчастей;
- соответствие регуляторным требованиям;
- увеличение срока службы оборудования.

Ограничения и риски:

- высокие начальные инвестиции;
- необходимость калибровки.

Внедрение системы MULTITRANS для диагностики трансформаторов обеспечивает: сокращение эксплуатационных затрат, повышение надежности энергоснабжения.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что цифровизация и автоматизация процессов диагностики трансформаторного масла – это сложный, затратный, но необходимый процесс в современной энергетической промышленности. Возможностями вышеописанной системы является своевременное обнаружение дефектов, анализ и предложение способов устранения дефектов, а также уменьшение затрат на человеческие, временные и финансовые ресурсы. Развитие автоматизированных систем позволит внедрить искусственный интеллект в деятельность энергетических компаний, что исключит присутствие человека в отдельных отраслях энергетики.

Библиографический список

1. GE Grid Solutions, официальный буклет разработки системы MULTITRANS [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.ekoselectric.com/assets/multitrans-en.pdf>
2. Пергам – каталог диагностического оборудования в энергетике. [Электронный ресурс]. – URL : https://www.pergam.ru/catalog/electrical_equipment/monitoring_transformers/multitrans.htm?srsId=afmboorgmwtpmxc7xjq5_awvw-k4adqqvs7j1vml6asvtafsew4__n

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПРЕРЫВАНИЯ ЛУЧА В СЕНСОРНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ КЛАВИАТУРАХ

Г. А. Волков

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
Россия, Москва
(e-mail: egor1234567890ego@mail.ru)*

В современную эпоху стремительной цифровизации интерфейсов взаимодействия человека с техникой все большее значение приобретают бесконтактные способы ввода информации [1]. Появление инфракрасных сенсорных клавиатур отвечает насущной потребности в надежных, долговечных средствах управления, свободных от недостатков традиционных механических и мембранных аналогов. В их основе лежит простая, но эффективная идея: вместо физического замыкания контактов используется фиксация прерывания невидимого инфракрасного луча, что исключает механический износ и открывает широкие возможности для герметизации устройства. Работоспособность в широком температурном диапазоне (от -40 до $+85$ °C) делает такие клавиатуры пригодными для эксплуатации в сложных климатических условиях.

Конструктивно такая клавиатура представляет собой систему излучателей (обычно ИК-светодиодов) и приемников (фотодиодов или фототранзисторов), формирующих координатную сетку невидимых лучей. При «нажатии», т.е. при пересечении луча пальцем или иным объектом, фотоприемник регистрирует падение интенсивности излучения. Специальный контроллер анализирует, какой именно луч был прерван, и преобразует эту информацию в координаты нажатия.

Несмотря на очевидные преимущества инфракрасных сенсорных клавиатур [2], их практическое применение сталкивается с существенной проблемой: восприимчивостью к внешним световым воздействиям. В реальных условиях эксплуатации окружающая среда редко бывает стабильна – уровень внешнего освещения может резко меняться из-за естественного дневного света, искусственного освещения или бликов от поверхностей. Более того, рядом расположенное оборудование нередко излучает в инфракрасном диапазоне, пересекаясь со спектром работы сенсорной клавиатуры. Такие паразитные сигналы способны имитировать прерывание луча, приводя к ложным срабатываниям – непреднамеренным «нажатиям» клавиш, которые искажают вводимые данные и дестабилизируют работу системы.

Ситуация осложняется тем, что интенсивность внешних помех непостоянна: она варьируется в течение дня, зависит от погодных условий, включения/выключения осветительных приборов или работы соседствующего оборудования. В результате чувствительность клавиатуры смещается, пороги срабатывания изменяются, а точность распознавания нажатий падает. Поэтому устройству приходится проводить повторную автокалибровку, подстраивая его под текущие условия освещенности.

Таким образом, ключевая задача заключается в том, чтобы обеспечить устойчивую работу инфракрасной сенсорной клавиатуры без постоянной подстройки – даже при значительных колебаниях внешнего освещения и наличии паразитных ИК-излучений. Для ее решения необходимо разработать цифровые методы обработки прерывания луча, которые позволят не зависеть от изменяющейся световой обстановки.

На рисунке 1 представлены два графика, иллюстрирующие принцип определения прерывания луча по пороговому уровню на примере зашумленного сигнала.

На верхнем графике показан сигнал, генерируемый ИК-светодиодом, в условиях слабого внешнего освещения. В этом случае при прерывании луча интенсивность излучения падает ниже установленного порогового уровня. Это позволяет системе надежно зафиксировать факт прерывания луча.

Ситуация усложняется, если на инфракрасную клавиатуру воздействует сильное внешнее излучение. В этом случае, даже при прерывании луча интенсивность излучения может оставаться выше порогового уровня. В результате система не распознает прерывание – возникают пропуски событий или сбои в работе устройства.

Для решения этой проблемы применяют динамическую подстройку порогового уровня в зависимости от текущего уровня внешнего излучения. Однако такой подход имеет существенный недостаток: изменение порога чувствительности снижает помехоустойчивость системы. Это может привести к ложным срабатываниям – например, к регистрации «нажатия» при отсутствии реального действия пользователя.

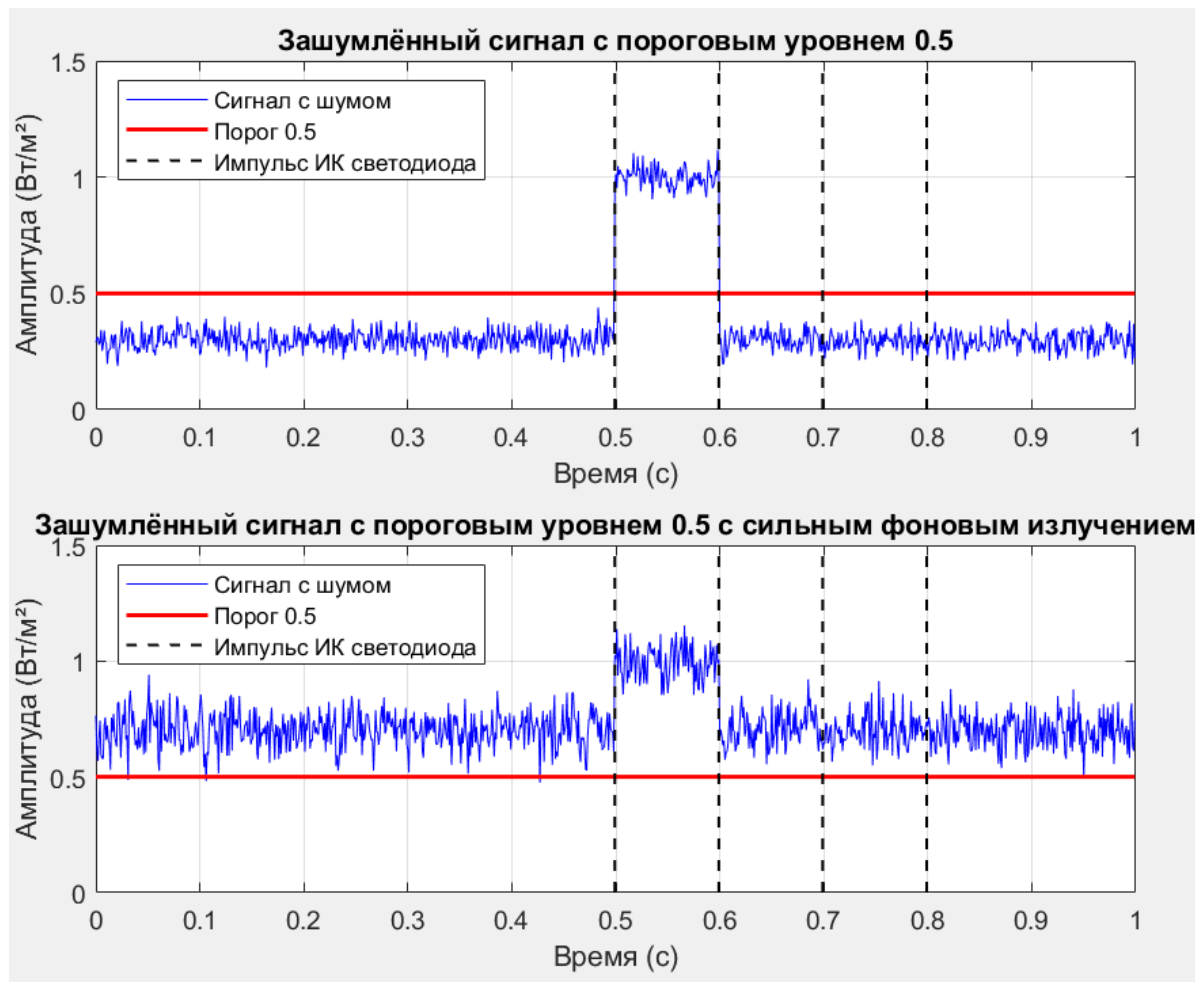


Рис. 1. Определение прерывания луча по пороговому уровню

Воспользуемся функциональным анализом [3] для решения проблемы. Теперь будем ИК-светодиодом передавать не единичный импульс, а импульсы с частотой следования 50 Гц. На рисунке 2 показан такой сигнал со слабым и сильным фоновым излучением. При дискретном преобразовании Фурье (1) видно, что преобладает спектр частотой 50 Гц над другим, независимо от фонового излучения

$$X[m] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi nm/N}, \quad (1)$$

где $X[m]$ – результат ДПФ; $x[n]$ – исходный дискретный сигнал; n – номер отсчета; m – номер частотной компоненты; N – общее количество отсчетов в анализируемой последовательности.

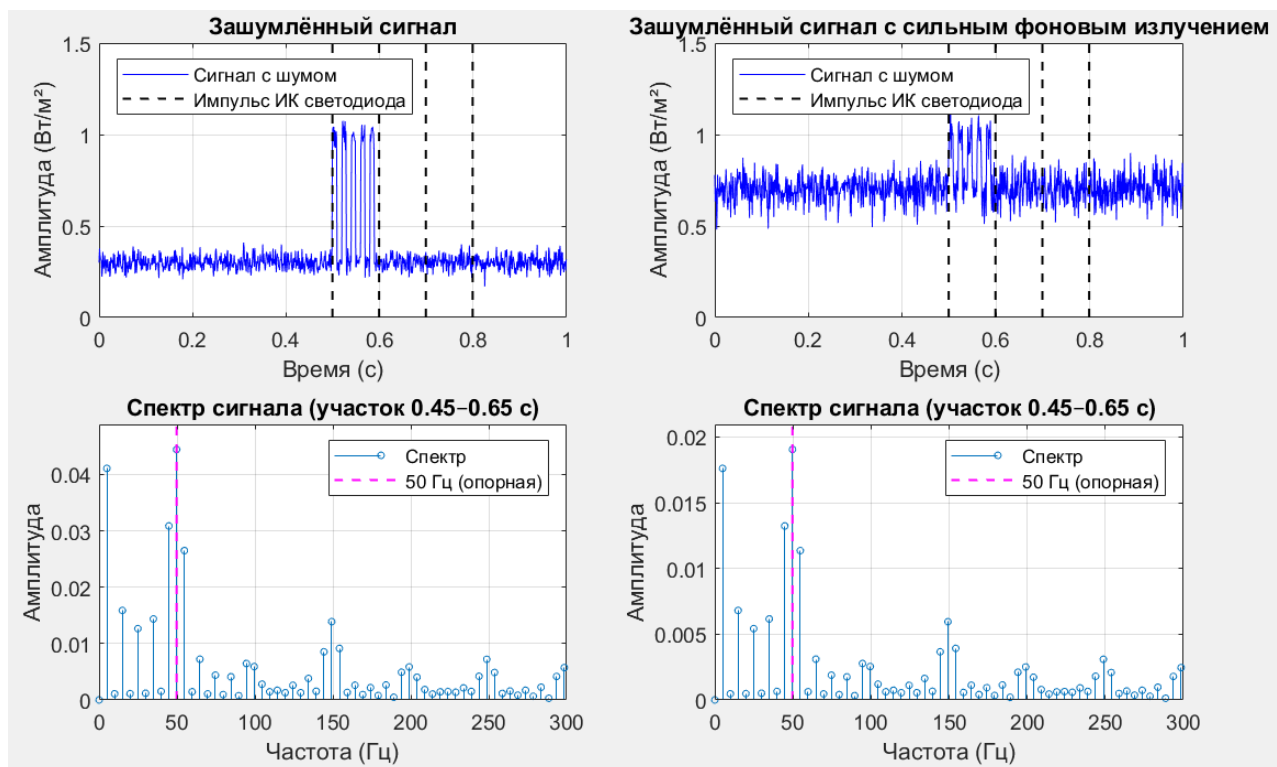


Рис. 2. Определение прерывания луча с помощью преобразования Фурье

При передаче импульсного сигнала от ИК-светодиода с фиксированной частотой следования метод дискретного преобразования Фурье демонстрирует высокую эффективность выделения полезного сигнала на фоне внешних помех. Как показывают результаты анализа, вне зависимости от интенсивности фонового излучения, – как при слабом, так и при сильном, – в спектре преобладает четко выраженная составляющая на частоте 50 Гц. Это означает, что модуляция сигнала заданной частотой создает устойчивый «маркер», позволяющий надежно отделить полезный сигнал от паразитных воздействий. Постоянное фоновое излучение, как правило, формирует низкочастотные компоненты или равномерно распределенные шумы, которые не конкурируют с узконаправленным пиком на целевой частоте. За счет этого можно точно определить было ли прерывание луча или нет.

Дальнейшее развитие направления связано с внедрением быстрого преобразования Фурье. Еще более перспективным направлением является применение цифровых фильтров [4] как аппаратно-эффективных альтернатив спектральному анализу.

Библиографический список

1. Адамов, А. П. Методика системного конструкторско-технологического проектирования изделий электронной техники с учетом требований концепции «индустрия 4.0» / А. П. Адамов, А. А. Адамова, А. Т. Темиров // Надежность и качество : тр. Междунар. симпозиума. – 2020. – Т. 2. – С. 310 – 317.
2. Нестеров, Ю. И. Виртуальный измерительный комплекс / Ю. И. Нестеров, А. И. Власов, Б. Н. Першин // Датчики и системы. – 2000. – № 4. – С. 12 – 22.
3. Применение методов функционального анализа технических объектов при разработке программного обеспечения / И. Б. Артемьев, Е. В. Резчикова, А. В. Кондратюк и др. // Динамика сложных систем – XXI век. – 2018. – Т. 12, № 1. – С. 56 – 61.
4. Власов, А. И. Вероятностные и семантические испытания компьютерной системы, решающей нестандартные задачи / А. И. Власов, А. Н. Орехов, Л. В. Тетик // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 31 – 45.

НАПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОМ КОМПЛЕКСЕ: НОВЫЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Д. А. Гладышев

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: gladyshev0203dima@yandex.ru)*

Внедрение цифровых технологий является ключевым направлением модернизации электросетевого комплекса Российской Федерации, в том числе, и в Тамбовской области. Одной из наиболее важных задач в этом процессе является переход от планово-ремонтной системы обслуживания оборудования к системе технического обслуживания по фактическому состоянию.

Контроль и управление работой оборудования подстанции является чрезвычайно важной задачей. Одним из лучших способов точно контролировать работу электротехнического оборудования является применение эффективной системы мониторинга. В Тамбовской области в рамках реализации концепции «Интеллектуальная сеть – ПАС» (Промышленная автоматизированная система) на ключевых подстанциях, таких как ПС 110 кВ «Северная» и ПС 110 кВ «Центральная», активно внедряются современные системы диагностики.

Высоковольтные выключатели. На Тамбовских подстанциях осуществляется внедрение систем мониторинга, которые устанавливаются непосредственно на выключателях и поддерживают непрерывную, контролируемую связь с локальной или удаленной базой данных с помощью программного обеспечения. Система текущего контроля сохраняет поступающую с датчика информацию, сравнивая ее со стандартными рабочими параметрами, которые хранятся в системе.

Система мониторинга определяет плотность элегаза или газовой смеси, контролирует времена и скорости включения и отключения выключателя, ход главных контактов, ток, протекающий в момент отключения, продолжительность горения дуги, а также оценивает степень износа контактов. Это позволяет прогнозировать остаточный ресурс аппаратов и предотвращать внезапные отказы.

Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ). Для обеспечения высокой надежности распределительных сетей 6...10 кВ в крупных городах области, включая Тамбов, Мичуринск и Моршанск, применяются системы мониторинга частичных разрядов (ЧР). Система производит сбор данных от СВЧ-сенсоров, установленных на КРУЭ, и обрабатывает результаты данных. Это позволяет диагностировать появление и избежать развития дефектов изоляции на ранней стадии, а также эффективно отслеживать состояние изоляции в течение всего срока службы КРУЭ. Внедрение таких систем позволило на 15% снизить количество повреждений в камерах КРУЭ.

Высоковольтные вводы. Система контроля изоляции высоковольтных вводов обеспечивает оперативную диагностику в процессе эксплуатации силовых трансформаторов на подстанциях 35 кВ и выше в регионе. Данная система позволяет проводить прямые измерения методом, который не чувствителен к искажениям напряжения и несимметрии сети. Оснащена устройствами защиты от перенапряжений в цепях входных и выходных сигналов, а также фильтрами подавления помех; датчики давления имеют встроенную защиту от перенапряжений и перегрузок.

Комплексное внедрение этих технологий на пилотных подстанциях Тамбовской области позволит создать единое цифровое диагностическое пространство. Это не только повысит надежность, но и даст значительный экономический эффект. Такое решение упростит мониторинг состояния оборудования и ускорит процесс принятия решений по его обслуживанию.

Библиографический список

1. ПАО «Россети». Концепция цифровой трансформации электросетевого комплекса России до 2030 года [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.rosseti.ru/investment/innovations/DigitalTR/>.
2. Сироткин, Е. А. Интеллектуальная диагностика силовых трансформаторов на основе анализа вибрационных сигналов / Е. А. Сироткин, В. Г. Шубин // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № 4(49). – С. 54 – 61.
3. Жижин, К. Ю. Технологии цифровых двойников в управлении активами электросетевых компаний / К. Ю. Жижин, А. С. Смирнов // Электрические станции. – 2022. – № 5. – С. 12 – 19.
4. ГОСТ Р 58919–2020. Системы мониторинга частичных разрядов в электроустановках. Общие технические требования. – Введ. 2021-07-01. – М. : Стандартиформ, 2020. – 24 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

А. А. Гордеев

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: alexander.gordeeff2011@yandex.ru)*

Энергетика в современном мире столкнулась с парадоксом: чем более развитыми становятся сети, тем сложнее управлять ими старыми методами. Рост возобновляемой энергетики, сложная логика «умных сетей» (Smart Grids) и повышение требований к надежности функционирования систем электроснабжения делают традиционную оптимизацию недостаточной.

В связи с чем весьма актуальными становятся методы, основанные на технологиях искусственного интеллекта (ИИ). Они представляют собой набор практических инструментов, которые обеспечивают эффективное решение целого ряда задач, таких как: управление «умными сетями»; прогнозирование потребления энергии; предварительное обнаружение и предотвращение сбоев в энергосистемах; анализ данных для улучшения энергетической эффективности; оптимизация использования возобновляемых источников энергии и др. Ключевой особенностью интеллектуальных методов и систем является то, что они позволяют перейти от реагирования на сбой в системе к их предска-

нию и предотвращению. Весьма эффективным является гибридный подход, в котором находят совместное применение несколько различных методов ИИ [1].

Одним из популярных направлений ИИ являются генетические алгоритмы (ГА), которые построены по принципу естественной эволюции. Методы, основанные на ГА, позволяют смоделировать несколько возможных режимов работы энергосистемы, а затем произвести их сравнительную оценку по функции приспособленности, далее лучшие решения комбинируются и видоизменяются до тех пор, пока не будет достигнут наилучший результат. С помощью методов, построенных на базе ГА, можно исследовать большое количество вариантов и определить наиболее оптимальный.

Весьма перспективной технологией ИИ является машинное обучение (МО). Алгоритмы МО осуществляют анализ данных, поступающих с датчиков, и историю работы элементов системы электроснабжения, а затем по результатам анализа предсказывают возможные изменения в режимах работы оборудования, в том числе оценивается вероятность выхода из строя отдельных элементов системы. При этом существенно сокращается число ненужных итераций и ускоряется поиск наиболее оптимального режима работы системы электроснабжения.

Опыт оптимизации механических систем показывает, что совместное применение ГА и МО позволяет достичь следующих результатов: эффективность повышается на 25%; надежность системы увеличивается на 18%; временные затраты на процесс оптимизации снижаются на 30% [2].

Методы ИИ позволяют решать множество задач в сфере энергетики:

- оптимизация генерации: алгоритмы ИИ в реальном времени определяют наиболее экономичный и экологичный режим работы электростанции с учетом множества различных факторов (стоимость топлива; прогноз погоды для возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и т.д.);
- интеллектуальные («умные») сети: система ИИ перераспределяет потоки мощности таким образом, чтобы потери были минимальны, парирует колебания напряжения и мгновенно локализует аварии, переключая потоки энергии в обход поврежденного участка;
- управление спросом: вместо того, чтобы строить новые электростанции для пиковых нагрузок, система ИИ анализирует потребителей и дает сигналы «умным» приборам или промышленным предприятиям на временное снижение потребления, сглаживая пик и экономя большое количество ресурсов;

- прогнозное обслуживание: система ИИ анализирует множество параметров системы электроснабжения (износ оборудования, уровень вибрации, температуру и др.), что позволяет перейти от планового ремонта к ремонту по состоянию оборудования, таким образом предотвращаются аварии и сокращается время простоя оборудования.

Применение методов ИИ для оптимизации режимов работы систем электроснабжения позволяет достичь положительных результатов: [1]

- эффективность: снижение потерь при передаче и распределении электроэнергии на 10...20%; повышение общего КПД системы;
- надежность: снижение частоты и длительности перерывов в электроснабжении;
- экономика: сокращение затрат на топливо, ремонты и эксплуатацию; ускорение процесса планирования режимов на 25...35%;
- экология: более эффективное использование ВИЭ и снижение углеродного следа за счет оптимизации работы тепловых электростанций.

Необходимо отметить, что применение методов и систем ИИ в энергетике, помимо перечисленных выше положительных эффектов, может привести и к возникновению ряда негативных моментов, которые необходимо проработать до внедрения и практического применения систем ИИ [1];

- высокая стоимость: разработка и внедрение систем ИИ требует больших инвестиций в исследование, оборудование и интеграцию;
- кибербезопасность: энергосистема с ИИ может стать объектом атаки хакеров, поэтому защита данных и алгоритмов является вопросом национальной безопасности;
- человеческий фактор: чрезмерная зависимость от систем ИИ может привести к возникновению нештатной ситуации, поэтому необходим постоянный контроль режимов работы системы со стороны оператора;
- социальные последствия: автоматизация ведет к сокращению рабочих мест, связанных с ручным контролем и обслуживанием;
- этика: алгоритмы ИИ должны быть понятными, «прозрачными» и контролируруемыми, иначе неясно, кого винить в случаях, когда система ИИ примет ошибочное решение, которое приведет к возникновению аварийной ситуации.

В настоящее время применение методов ИИ в энергетике начинает становиться мировой практикой. Многие страны (США, Китай, Германия и др.) уже активно используют эти технологии для повышения надежности, эффективности и устойчивости своих энергокомплексов [1].

Будущее современной энергетики – за автономными и самовосстанавливающимися энергосистемами, которые будут самостоятельно оптимизировать, прогнозировать и восстанавливать себя. Наша главная задача – сделать алгоритмы ИИ не только мощными, но и понятными, безопасными и этичными. Окончательный переход к интеллектуальной энергетике – это в большей степени готовность общества, регуляторов и бизнеса к изменениям.

Библиографический список

1. Кравченко, В. В. Инновационное применение искусственного интеллекта в энергетике / В. В. Кравченко, В. И. Хамицкая // Современные тенденции в развитии экономики энергетики : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., 1 декабря 2023 г. / редкол. : Е. Г. Пономаренко (пред.) и др. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 32 – 35.
2. Балабанов, В. И. Алгоритмы оптимизации механических систем с применением методов искусственного интеллекта для повышения эффективности и надежности / В. И. Балабанов, О. Р. Куйчиев // Экономика и социум. – 2024. – № 10(125). – С. 528 – 531.

АЛГОРИТМ КООРДИНАЦИИ РПН И БАРН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

М. С. Губарев, В. И. Зацепина

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: Vizatsepina@yandex.ru, maxgubaref2017@yandex.ru)*

В статье рассматривается вопрос обеспечения качественного и надежного электроснабжения в распределительных сетях. Предлагается новый алгоритм совместной работы РПН и БАРН, построенный на каскадном принципе и направленный на минимизацию отклонений напряжения. Разработан пошаговый алгоритм управления, который позволяет гибко распределять зоны ответственности между устройствами. Научная новизна состоит в создании формализованного алгоритма взаимодействия, обеспечивающего синергетический эффект.

Современные электрические сети часто испытывают колебания напряжения из-за изменяющейся нагрузки и распределенной генерации. Для их стабилизации используют два устройства: РПН трансформатора и БАРН.

РПН позволяет изменять коэффициент трансформации без отключения потребителей, меняя витки обмотки [1]. Он быстро реагирует на изменения в сети.

БАРН стабилизирует напряжение у потребителя, автоматически регулируя его [2].

Однако раздельная работа этих устройств не всегда эффективна. РПН помогает всей линии, но не решает проблемы с падением напряжения у удаленных потребителей. БАРН стабилизирует напряжение локально, но может создавать неоптимальные условия для всей сети.

Разработка алгоритма координации РПН и БАРН, обеспечивающего их совместную работу для минимизации отклонений напряжения во всех узлах сети.

РПН трансформатора выполняет функцию «грубого» регулирования, задавая базовый уровень напряжения в начале линии или на крупной секции. Его задача – минимизировать среднеквадратичное отклонение напряжения по всей контролируемой группе узлов.

Распределенные БАРН выполняют функцию «точного» регулирования в точках своей установки. Их цель – компенсировать локальные падения напряжения и поддерживать его в узком диапазоне у критически важных потребителей.

Согласованность работы обеспечивается за счет общего критерия оптимальности и обмена данными в реальном времени.

В основе алгоритма лежит критерий, минимизирующий суммарное квадратичное отклонение напряжения во всех контрольных точках сети [3].

Целевая функция системы имеет вид

$$J = \sum_{j=1}^m (U_{\text{БАРН}j} - U_{\text{ном}})^2 + \alpha (U_{\text{РПН}} - U_{\text{ном}})^2,$$

где J – целевая функция (критерий оптимальности); $U_{\text{БАРН}j}$ – напряжение на шинах нагрузки, контролируемое j -м БАРН; $U_{\text{РПН}}$ – напряжение на шинах трансформатора с РПН; $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение; α – весовой коэффициент, определяющий приоритетность поддержания напряжения на шинах РПН; m – количество БАРН в системе.

Алгоритм является циклическим и реализуется с заданным временным интервалом. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

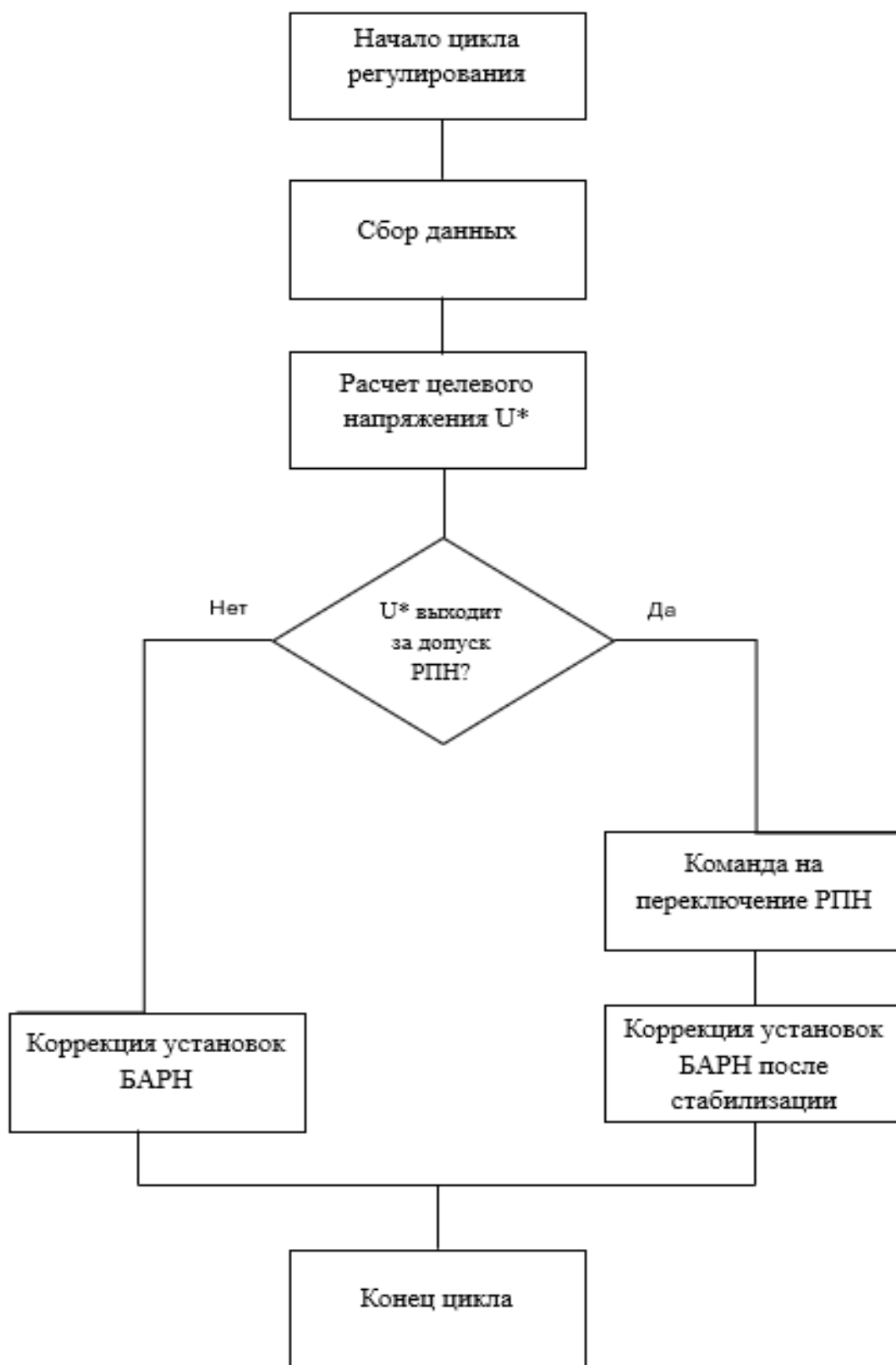


Рис. 1. Блок-схема алгоритма координации

Сначала идет сбор данных. Центр управления (или интеллектуальное устройство на РПН) запрашивает и получает от всех БАРН значения контролируемых напряжений и текущее напряжение на шинах РПН $U_{\text{РПН}}$.

Далее идет расчет целевого напряжения. На основе полученных данных рассчитывается целевое напряжение для шин РПН $U_{\text{РПН}}^*$, которое минимизирует целевую функцию J .

Эта формула показывает, насколько необходимо скорректировать напряжение на РПН, чтобы уменьшить среднее отклонение по сети.

Следующим шагом идет принятие решения о переключении РПН. Если рассчитанное значение $U_{\text{РПН}}$ превышает половину ступени регулирования РПН (например, 0,75% от $U_{\text{ном}}$, и новое положение РПН находится в допустимых пределах, то формируется команда на его переключение. Если условие не выполняется, переключение РПН не производится.

После переключения РПН (или если оно не требовалось) и стабилизации режима сети, центр управления рассчитывает новые уставки для каждого БАРН.

И в конце происходит анализ эффективности и завершение цикла. Проверяется, достигнута ли требуемая точность стабилизации.

При необходимости в следующих циклах параметры алгоритма могут адаптивно настраиваться. На этом цикл регулирования завершается. Разработан алгоритм координации РПН и БАРН, который позволяет перейти от их разрозненной работы к интегрированной системе управления напряжением.

Предложенный подход позволяет повысить надежность электроснабжения за счет более точного поддержания напряжения у всех потребителей, снизить число переключений РПН и оптимизировать потери в распределительной сети. Перспективой дальнейших исследований является внедрение в алгоритм методов нечеткой логики для работы в условиях неопределенности и учет влияния распределенной генерации. Так же можно интегрировать в алгоритм машинное обучение, чтобы улучшить работу алгоритма.

Библиографический список

1. Лаптева, И. И. Исследование методов моделирования работы системы регулирования напряжения силового трансформатора с устройством РПН / И. И. Лаптева, Е. А. Карнаков // Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки. – 2021. – № 10(91). С. 27 – 31.
2. Тарасовский, Т. С. Система бесконтактного автоматического регулирования напряжения БАРН с тиристорно-реакторным переключающим устройством / Т. С. Тарасовский, А. О. Лимберг // Инновационный транспорт. – 2021. – № 2(40). – С. 49 – 53.

ЭВОЛЮЦИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ

К. Б. Дорофеев, В. И. Зацепина

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: kirilldorofeev014@gmail.com)*

Надежность электроснабжения промышленных объектов остается одним из ключевых факторов обеспечения бесперебойного технологического процесса. В этих условиях системы быстрого действия автоматического ввода резерва (БАВР) играют критически важную роль, позволяя минимизировать длительность перерывов питания при кратковременных нарушениях в питающей сети [1, 2]. Согласно ПУЭ [1], применение автоматики резервирования является обязательным для большинства категорий потребителей.

С развитием цифровых технологий требования к БАВР эволюционировали: от простой логики переключения резерва к интеллектуальной самоадаптирующейся системе, способной интегрироваться в общую архитектуру промышленной автоматизации. Цифровая трансформация ставит новые задачи: обеспечить не только быстрое действие и селективность, но и открытость, кибербезопасность и поддержку современных протоколов связи [6, 7].

Исторически первые системы БАВР строились на базе электромеханических реле. Такие решения отличались простотой и высокой помехоустойчивостью, однако обладали низкой чувствительностью и отсутствием диагностики [3]. С появлением микропроцессорных терминалов начался качественный скачок: высокое быстрое действие (до 10...20 мс), самодиагностика, регистрация событий [4]. Однако многие системы страдали от коммерческой тайны и сложности интеграции в общую архитектуру управления [3].

Современный этап развития БАВР связан с использованием программируемых логических контроллеров (ПЛК) и стандарта IEC 61131-3 [5]. Язык лестничных диаграмм (LD), унаследованный от релейной логики, остается наиболее востребованным благодаря своей интуитивной понятности для инженеров-электриков [5]. Программа на LD визуально напоминает электрическую схему: две вертикальные шины питания, между которыми располагаются цепи с нормально-разомкнутыми и нормально-замкнутыми контактами, а также обмотками реле. Логические операции «И» и «ИЛИ» реализуются последовательным и параллельным соединением контактов соответственно [5].

В то же время современные ПЛК позволяют использовать и другие языки программирования (Structured Text, Function Block Diagram), а также интегри-

ровать функциональные блоки, реализующие алгоритмы на основе нейросетей или локальных составляющих сигнала [8]. Это расширяет возможности БАВР за счет адаптивной логики и распознавания аварийных режимов.

Цифровая трансформация предполагает не только «умную» автоматику, но и ее взаимодействие с другими уровнями системы: от датчиков до облачных платформ. Современные ПЛК и микропроцессорные терминалы оснащаются интерфейсами Ethernet и поддерживают протоколы OPC UA, MQTT, Modbus-TCP, что позволяет включать БАВР в архитектуру «Промышленного Интернета вещей» (IIoT) [6].

Такая интеграция дает возможность не только визуализировать состояние системы в реальном времени, но и осуществлять прогнозную диагностику, анализировать исторические данные для оптимизации уставок и предотвращать ложные срабатывания. Однако вместе с этим возрастают требования к электромагнитной совместимости (ЭМС) и кибербезопасности. Как отмечается в [7], микропроцессорные устройства особенно уязвимы к импульсным помехам, что требует строгого соблюдения норм ГОСТ 32144–2013 [2] и применения экранирования, фильтрации и гальванической развязки.

Перспективным направлением является использование генеративного искусственного интеллекта (Gen-AI) для автоматической генерации логики БАВР на основе типовых схем и требований технического задания [6]. Это особенно актуально для начинающих инженеров и при массовом развертывании решений на промышленных объектах.

Эволюция БАВР от электромеханических реле к интеллектуальным цифровым платформам отражает общий тренд энергетики – переход к гибким, адаптивным и связанным системам. При этом ядро функциональности – обеспечение бесперебойного электроснабжения – остается неизменным. Современные решения не просто заменяют старые, а дополняют их новыми возможностями: диагностикой, самонастройкой, интеграцией в IIoT и потенциалом для использования методов искусственного интеллекта. В ближайшей перспективе ключевыми направлениями станут дальнейшая стандартизация, повышение киберустойчивости и развитие гибридных подходов к моделированию и верификации логики БАВР.

Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд., с изм. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2023.
2. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Электромагнитная совместимость в низковольтных системах электроснабжения. Нормы качества элек-

трической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014–07–01. – М. : Стандартиформ, 2014.

3. Шевелева, А. В. Электромеханическое реле или микропроцессорные устройства релейной защиты – плюсы и минусы / А. В. Шевелева // Прогрессивные технологии и процессы : сб. науч. ст. – 2015. – С. 88 – 92.

4. Зубков, Д. В. Анализ особенностей микропроцессорных устройств релейной защиты / Д. В. Зубков, П. С. Пинчуков // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – Хабаровск, 2019. – Т. 1. – С. 62 – 66.

АРХИТЕКТУРА И МЕХАНИЗМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОЙ ДОСТУПНОСТИ В ВИРТУАЛИЗИРОВАННЫХ КЛАСТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

А. А. Дычаковская

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
Москва, Россия
(e-mail: inc4no@gmail.com)*

Современные цифровые платформы предъявляют повышенные требования к надежности вычислительных систем. В условиях высокой интенсивности обработки данных, распределения сервисов и необходимости мгновенного реагирования на сбои критическим становится обеспечение высокой доступности вычислительной инфраструктуры. Любой простой вычислительный сервис может приводить к сбоям в управлении энергопроизводством, нарушению режима работы сетей и снижению эффективности производства. Одним из наиболее эффективных подходов является использование виртуализированных кластерных систем, которые позволяют объединить вычислительные серверы в единый отказоустойчивый комплекс. Механизмы автоматического восстановления, балансировки нагрузки, миграции виртуальных машин и консолидации ресурсов обеспечивают стабильность работы сервисов при выходе из строя отдельных компонентов. Наличие нескольких узлов позволяет значительно повысить отказоустойчивость системы и предоставляет возможность перераспределения нагрузки в случае сбоя, обеспечивая непрерывность работы энергетических цифровых сервисов.

Актуальность исследования определяется возрастающей сложностью цифровых платформ, интеграцией ИТ-инфраструктуры с промышленными си-

стемами, а также необходимостью минимизации простоев критически важных процессов. Новизна работы заключается в комплексном анализе архитектурных и технологических решений высокой доступности для электроэнергетических систем, а также в оценке влияния механизмов распределения нагрузки на общую эффективность инфраструктуры.

Цель исследования – обоснование архитектурных подходов и технологических механизмов обеспечения высокой доступности виртуализированных кластерных систем для производственных процессов.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- исследовать архитектуру виртуализированных кластеров и их функциональные компоненты;
- проанализировать механизмы обеспечения отказоустойчивости и непрерывности работы;
- рассмотреть технологии исследования проблемы высокой доступности;
- оценить влияние виртуализации на надежность и энергоэффективность вычислительной инфраструктуры.

Кластеры виртуализации представляют собой совокупность вычислительных узлов, объединенных общими сетевыми ресурсами и ресурсами хранилища, а также управляемых централизованной системой. Такой подход обеспечивает динамическое распределение нагрузки, миграцию виртуальных машин и автоматическое восстановление цифровых сервисов, критичных для управления производственными процессами электроэнергетики. Узлы кластера представляют собой физические или виртуальные серверы, на которых установлен гипервизор. Каждый узел предоставляет процессорные, оперативные и сетевые ресурсы в общий пул, используемый виртуальными машинами. Наличие нескольких узлов позволяет значительно повысить отказоустойчивость системы и обеспечивает возможность перераспределения нагрузки в случае сбоя, обеспечивая непрерывность работы энергетических цифровых сервисов [1]. Централизованное хранилище является обязательным компонентом кластера. Хранилище обеспечивает доступ всех узлов к данным виртуальных машин, снапшотам и образам, что является критически важным для механизмов миграции и быстрого восстановления. Наличие централизованного хранилища позволяет переносить вычислительную нагрузку без прерывания работы сервисов. Менеджер кластера обеспечивает мониторинг узлов, управление миграцией виртуальных машин, балансировку нагрузки и автоматическое восстановление.

В его задачи входит выявление деградации или недоступности узлов, инициирование запуска виртуальных машин на резервных серверах, выполнение балансировки нагрузки и обеспечение соответствия требованиям по доступности и производительности. Также для корректной работы кластера используется несколько логически изолированных сетей: сеть управления, хранения, миграции и сеть пользовательского трафика. Разделение сетевых сегментов обеспечивает надежность и предотвращает задержки, которые могут негативно сказаться на работе механизмов высокой доступности.

Высокая доступность достигается сочетанием архитектурных решений и специализированных механизмов восстановления работоспособности вычислительных сервисов. Автоматическое восстановление виртуальных машин подразумевает собой обнаружение системой управления отказа узла по результатам анализа состояния, удаления его из состава активных ресурсов и инициации автоматического запуска виртуальных машин на доступных серверах. Благодаря использованию общего хранилища время восстановления сокращается до нескольких минут, что соответствует требованиям большинства цифровых сервисов. Миграция виртуальных машин без простоя позволяет проводить профилактические работы на оборудовании, осуществлять динамическую балансировку нагрузки и предотвращать перегрузку узлов [2]. Во время миграции выполняется перенос состояния оперативной памяти, в то время как диск остается на общем хранилище. Отсутствие централизованного хранилища делает такую миграцию невозможной. На основе данных мониторинга загрузки процессора, памяти и сетевых интерфейсов осуществляется балансировка нагрузки. Одним из наиболее эффективных механизмов является консолидация вычислительных ресурсов – перенос виртуальных машин с малонагруженных узлов на более загруженные, что позволяет высвободить часть оборудования. Высвобожденные узлы могут быть переведены в состояние пониженного энергопотребления, сохраняя при этом готовность к быстрому включению при увеличении нагрузки. Такой подход не нарушает отказоустойчивость кластера и позволяет оптимизировать энергопотребление.

В исследовании применялись аналитические и структурные методы, моделирование сценариев отказов, а также экспериментальная оценка работы механизмов миграции и консолидации. Проведено моделирование работы кластерных систем при изменении нагрузки и при отказе отдельных компонентов. Исследованы временные задержки при восстановлении виртуальных машин, влияние пропускной способности сетей хранения на стабильность миграции, а также эффективность механизмов консолидации.

Результаты моделирования и анализа показали:

- применение механизмов миграции позволяет сократить вероятность длительных простоев на 40...60%;
- консолидация рабочих нагрузок снижает энергопотребление инфраструктуры на 10...17% без нарушения требований к доступности;
- предотвращение нерационального роста числа узлов позволяет уменьшить эксплуатационные затраты и повысить эффективность использования вычислительных ресурсов.

Полученные данные подтверждают, что кластерные системы виртуализации обеспечивают высокую устойчивость и позволяют оптимизировать энергопотребление за счет интеллектуального распределения нагрузки.

Виртуализированные кластерные системы обеспечивают высокий уровень доступности цифровых сервисов в производственных процессах благодаря архитектурным механизмам распределения нагрузки, миграции виртуальных машин и автоматического восстановления. Центральным элементом подобной архитектуры является общее хранилище данных, позволяющее минимизировать простой при отказах. Проведенное исследование показало, что кластеры виртуализации позволяют не только повысить надежность вычислительных систем, но и улучшить их энергоэффективность за счет консолидации нагрузки и предотвращения избыточного роста вычислительных мощностей. Перспективами дальнейших работ являются разработка интеллектуальных алгоритмов прогнозирования отказов, а также внедрение технологий автоматизированного управления ресурсами на основе методов машинного обучения.

Библиографический список

1. Алексанков, С. М. Модель надежности отказоустойчивого кластера с миграцией виртуальных машин / С. М. Алексанков, В. А. Богатырев, А. Н. Деркач // Программные продукты и системы. – 2019. – Т. 32, № 1. – С. 103 – 108.
2. Bogatyrev, V. A. Evaluation of a cyber-physical computing system with migration of virtual machines during continuous computing / V. A. Bogatyrev, A. Derkach // Computers. – 2020. – V. 9, No. 2. – P. 42.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОПРИВОДНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

М. В. Жестерев, С. А. Синепупов, В. Н. Мещеряков

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

(e-mail: mixailzhesterev@gmail.com)

Данная статья посвящена теме повышения энергоэффективности многоприводного агрегата для пищевой промышленности. В качестве рассматриваемого агрегата выбран Stephan 6, агрегат, предназначенный для приготовления соусов, теста и другого схожего пищевого сырья. Агрегат состоит из 9 электроприводов, составляющих основную потребляемую мощность установки. На рисунке 1 представлена структурная схема Stephan 6.

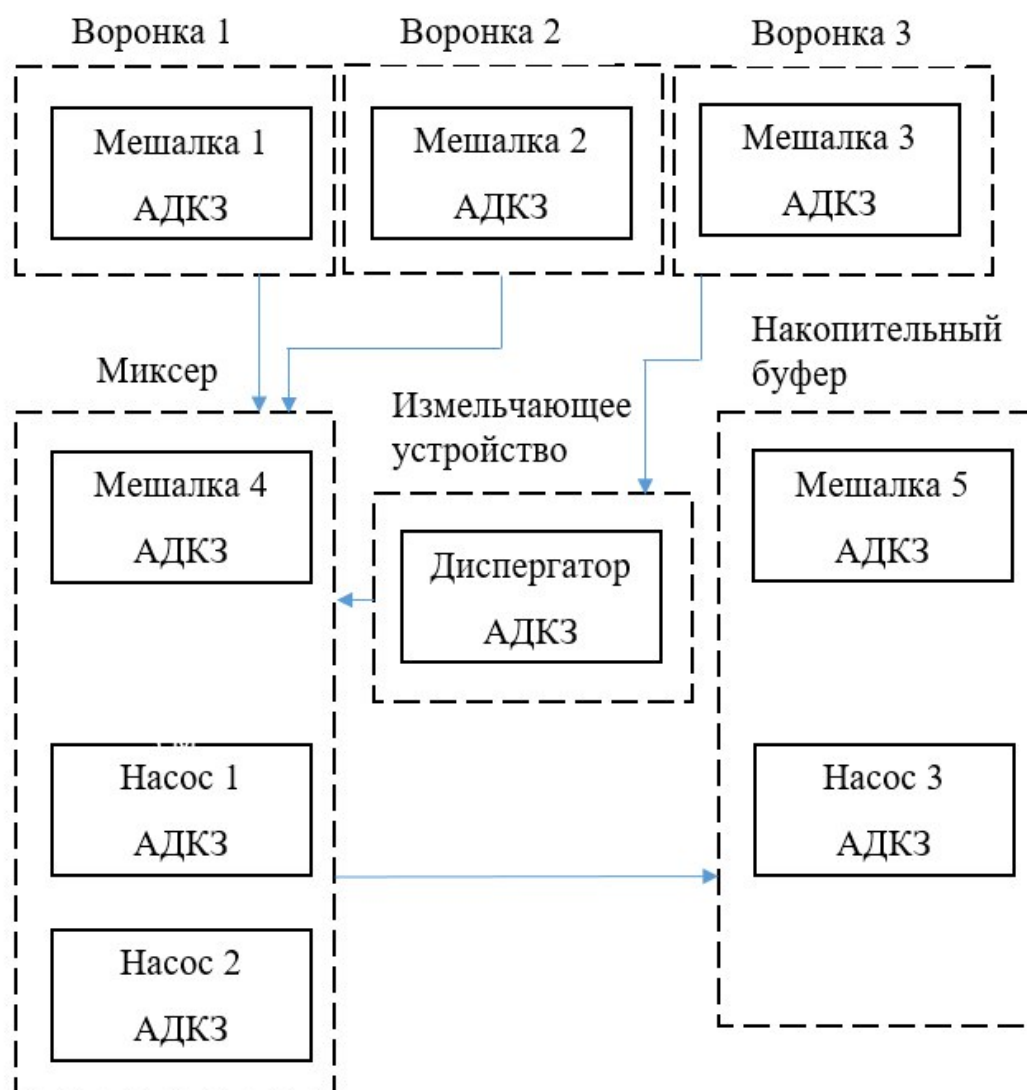


Рис. 1. Структурная схема Stephan 6

Для повышения энергоэффективности планируется замена элементов управления электроприводов системы на более эффективные, оптимизация режимов управления, оптимизация технологического рецепта установки.

На первом этапе целесообразнее рассматривать наиболее простые изменения с точки зрения монтажа, простоя и экономической выгоды. Было принято решение оптимизировать алгоритмы управления.

Для анализа была составлена технологическая карта работы приводов в одном из рецептов (циклов) работы.

1. Анализ приводов системы

Механизм	Предполагаемая мощность, кВт	Ключевые параметры и примечания для модернизации
Мешалка 1 (предварительное смешивание)	2,2	Регулировка скорости: желательно. Требуемый момент: средний. Важен плавный пуск для предотвращения разбрызгивания
Мешалка 2 (предварительное смешивание)	2,2	Аналогично мешалке 1
Мешалка 3 (предварительное смешивание)	4,0	Аналогично мешалке 1
Мешалка 4 (в миксере)	7,5	Регулировка скорости: обязательно. Требуемый момент: высокий. Замес продукта при варке
Делигратор / Диссектор / Диспергатор	15,0	Регулировка скорости: обязательна (до 3000...6000 об/мин и выше). Требуемый момент: высокий. Главный кандидат на рекуперативное торможение из-за высокой инерции
Мешалка 5 (в накопит. буфере)	4,0	Регулировка скорости: желательна. Требуемый момент: низкий/средний (для поддержания консистенции)
Насос 1 (перекачка)	3,0	Регулировка скорости: полезна для контроля расхода. Плавный пуск/останов для предотвращения гидроудара
Насос 2 (ререкачка)	1,5	Аналогично насосу 1
Насос 3 (ререкачка / дозирование)	2,2	Регулировка скорости: полезна для точного дозирования

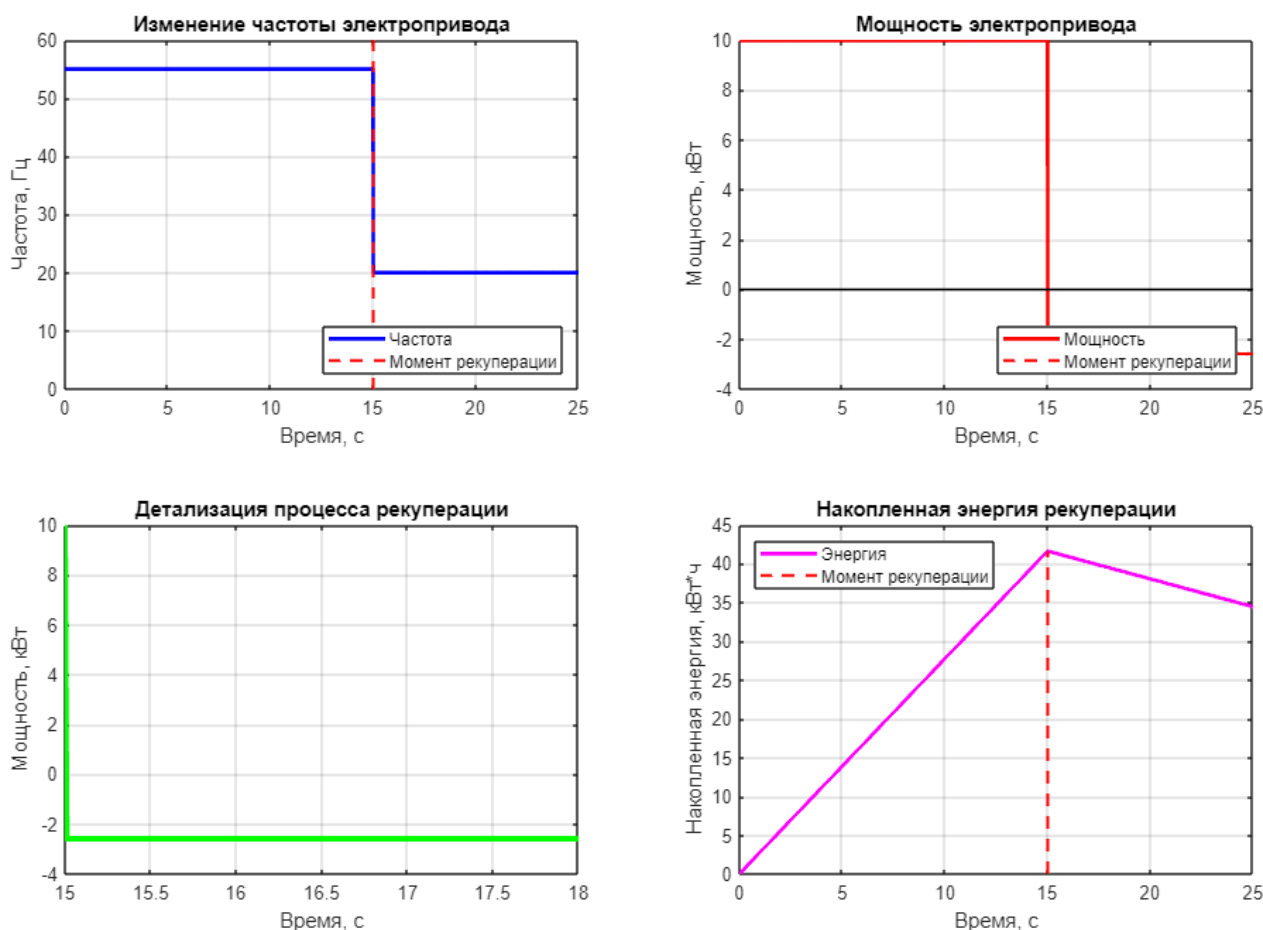


Рис. 2. Характеристики эксперимента

При анализе данной диаграммы, специфики работы приводов, а также мощности и рабочей частоты вращения можно сделать вывод, что наиболее рациональным является использование рекуперации в данной системе управления.

Для проведения эксперимента была выбрана оболочка Matlab Simulink. Была составлена модель диспергатора.

Для будущих расчетов была снята характеристика самовыбега диспергатора. Время самовыбега составило 30 секунд.

Для моделирования режима рекуперации был написан скрипт, который позволяет разогнаться электроприводу до номинальной скорости, выйти на установившийся режим, затем происходит имитация торможения. Среда, которая разогналась от электропривода, создает момент инерции необходимый для вращения, переводя преобразователь частоты в режим рекуперации (имитируется скриптом), мы получим характеристику, по которой сможем оценить эффективность данного способа. На рисунках 3 и 4 показаны основные характеристики, снятые в ходе моделирования. В скрипт заложены формулы расчета пиковой мощности рекуперации и счетчик возвращенной энергии. Для оценки метода также необходим КПД, он был посчитан и составляет 85%.

=== РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕКУПЕРАЦИИ ===
 Начальная частота: 55.0 Гц
 Конечная частота: 20.0 Гц
 Время начала рекуперации: 15.0 с
 Пиковая мощность рекуперации: -2.6 кВт
 Возвращенная энергия за цикл: 1.434 кВт*ч
 КПД рекуперации: 85.0%

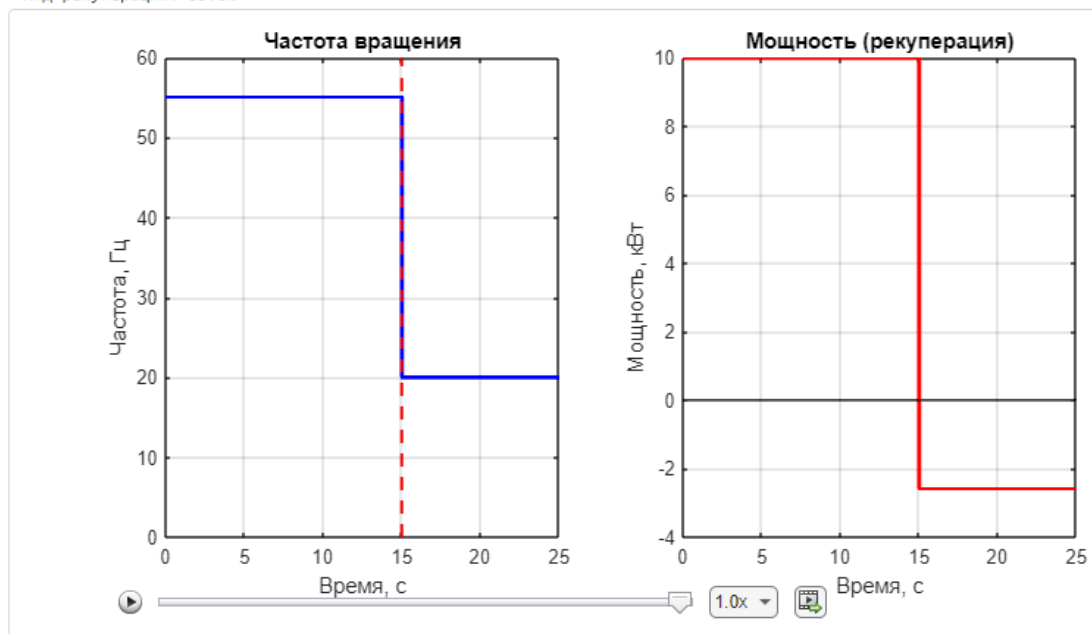


Рис. 3. Результаты моделирования

В заключение нужно отметить, что модернизацию данной установки нужно проводить в несколько этапов из-за сложности механизмов, большого количества элементов, высокой производственной нагрузки. В качестве первого этапа было предложено использовать оптимизацию управления электроприводов системы. В данной статье была проведена оценка использования рекуперации приводов системы на основании технологического процесса и диаграммы работы. Наиболее выгодным для возврата энергии стал механизм с наибольшей частотой вращения и наибольшим моментом инерции вала и протекающей среды. Была составлена математическая модель, скрипт для расчета и составления диаграммы. В результате эксперимента можно сказать, что данное решение повысит энергоэффективность установки, внедрение рекуперации в систему управления диспергатора имеет смысл и требует дальнейшего рассмотрения в целях внедрения на производственные площадки.

Библиографический список

1. Страшко, Л. Н. Управление многоприводными комплексами пищевых производств / Л. Н. Страшко, В. П. Беседин. – М. : Изд-во «КолосС», 2017. – 288 с. – (Фундаментальный учебник по специфике приводов в пищевой промышленности).

2. Куликов, С. М. Современные частотные преобразователи с функцией рекуперации энергии в промышленных установках / С. М. Куликов, П. Д. Жуков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 5. – С. 78 – 83. – (Описание практического применения рекуперативных ПЧ).

3. Пантелеев, В. И. Асинхронные двигатели в рекуперативных режимах работы / В. И. Пантелеев, А. В. Рыжков, Д. С. Соколов // Электротехника. – 2019. – № 8. – С. 45 – 52. – (Обзорная статья по теории рекуперации).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ПОДСТАНЦИЙ К ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Ю. В. Жилкина¹, Д. А. Воденников²

*¹ Главный специалист Службы управления производственными активами,
филиал ПАО «Россети» – МЭС Центра*

*² Генеральный директор «Россети Урал»
(e-mail: zhilkina.yulia@gmail.com)*

Мировое научное сообщество активно исследует инновационные методы подготовки персонала энергетической отрасли. Так, исследовательский институт EPRI разработал полностью интерактивную виртуальную подстанцию, представляющую собой цифровой двойник реального объекта, предназначенный для проведения тренингов в безопасной виртуальной среде. Использование VR-комплексов позволяет обучать персонал без риска повреждения оборудования, а также значительно снижает логистические и финансовые затраты, связанные с доступом к действующим подстанциям. В ходе выполнения настоящего исследования было подтверждено, что погружение в виртуальную среду существенно повышает эффективность обучения, улучшает безопасность, снижает издержки и способствует лучшему усвоению знаний.

В условиях импортозамещения и обеспечения технологического суверенитета возникает необходимость создания отечественных решений, которые объединяют строгое математическое моделирование электроэнергетических режимов, фотореалистичную визуализацию и современные алгоритмы искусственного интеллекта.

Ключевая особенность комплекса – отказ от жестко запрограммированных учебных сценариев в пользу динамически изменяющихся ситуаций, формируемых с помощью нейросетевой модели. Разработанный алгоритм генери-

рует противоаварийные тренировочные сценарии на основе топологии конкретной подстанции и заданных условий. Нейросетевая подсистема реализована с использованием крупной языковой модели (LLM) и способна работать в автономном режиме на локальном сервере с развернутой моделью SberGPT. Локальное развертывание отечественной модели позволяет обходиться без подключения к внешним API, тем самым исключая проблемы конфиденциальности и обеспечивая работу тренажера в изолированных сетях автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Алгоритм работы модуля сценариев. На основе структурного описания подстанции нейросеть выбирает один из элементов схемы и инициирует на нем нарушение нормального режима – например, короткое замыкание на шинах, отказ выключателя при операции, перегрузку трансформатора или иное возмущение. Данное событие выступает инициирующим фактором учебной ситуации. Структурированное представление сценария включает описание типа аварии, требуемые переключения и шаги по восстановлению схемы после ликвидации аварийной ситуации.

Когда тренировка начата, действия обучаемого оператора непрерывно отслеживаются и анализируются подсистемой контроля. Нейросетевой модуль сравнивает последовательность реальных операций с эталонной моделью поведения, проверяя корректность и полноту действий, соблюдение технологической логики, время реакции и соответствие инструкциям. Каждое действие (или бездействие) влияет на дальнейший ход сценария: алгоритм обладает свойством адаптивности. Если оператор действует неверно или с опозданием, сценарий динамически перестраивается – генерируются дополнительные осложнения, обусловленные допущенной ошибкой. Например, при неправильном отключении оборудования может возникнуть перегрузка смежных линий или повторный отказ выключателя, что приведет к ухудшению аварийной обстановки. Алгоритм добавит эти последствия в сценарий, и дальнейшее развитие событий будет отражать реальную причинно-следственную связь: ошибки оператора приводят к усложнению аварии. Напротив, при корректных и своевременных действиях развитие аварийной ситуации останавливается на минимально возможном уровне. Данный метод нейросетевой генерации сценариев позволяет моделировать редкие и сложнопрогнозируемые комбинации отказов оборудования, а также обеспечивает приближение тренировочного процесса к реальному ходу аварий.

Формируемые сценарии соответствуют требованиям нормативных документов и стандартных инструкций для персонала – это достигается за счет обу-

чения и настройки модели на основании текстов правил проведения противоаварийных тренировок и локальных нормативных актов. Генерируемые подсказки и рекомендации для оператора выдаются на естественном языке, понятном специалисту, что облегчает восприятие. В то же время благодаря алгоритму контроля действий каждое решение оператора фиксируется, и после тренировки автоматически составляется формализованный протокол. В протоколе отражаются все шаги, допущенные ошибки, время выполнения операций; дается объективная оценка по ряду критериев. Такая обратная связь позволяет персоналу проанализировать собственные ошибки, а руководителям – получить количественные показатели готовности каждого сотрудника. В дальнейшем эти данные могут использоваться для формирования индивидуальных программ обучения, акцентируя внимание на выявленных недостатках в знаниях и навыках.

Интерактивная визуальная среда в сочетании с математическим и нейросетевым модулями не только обучает персонал правильным действиям, но и контролирует уровень его компетенций, повышая качество работы с оперативным персоналом электрических подстанций. Разработанный программный комплекс действует как цельный тренажер, где все подсистемы работают синхронно. Процесс противоаварийной тренировки проходит по следующему алгоритму:

- Инициализация модели подстанции. Задается исходная схема электрических соединений на базе загруженного описания: формируются узлы, линии, трансформаторы и другие элементы согласно реальной топологии сети. Выполняется первоначальный расчет установившегося режима для нормального состояния схемы.

- Запуск сценария тренировки. Активируется нейросетевая подсистема, которая генерирует исходные условия: выбирается аварийное событие и формируется сценарий (последовательность ожидаемых событий и требуемых действий) в соответствии с текущей схемой подстанции. Сценарий загружается в систему, при необходимости выводится оператору вводная информация (например, сообщение от диспетчера об обнаруженной неисправности).

- Обновление расчетной модели. Получив команду, расчетное ядро пересчитывает электрический режим с учетом произведенной операции (изменения состояния выключателя, появления поврежденного элемента и т.п.). Одновременно оцениваются непосредственные последствия: срабатывание защит, появление перегрузок, изменение потокораспределения.

– Завершение и анализ. По окончании сценария (когда авария ликвидирована или допущена критическая ошибка) тренировка завершается. Система формирует протокол действий оператора и вычисляет показатели оценки результата. После этого тренировка может быть разобрана руководителем тренировки, а при необходимости сценарий повторяется или генерируется новый для отработки выявленных навыков.

Разработана архитектура тренажерного комплекса, объединяющая высокоточную математическую модель энергосистемы, динамическую генерацию аварийных сценариев и интерактивную визуализацию технологических процессов. Предложенная структура обеспечивает согласованную работу вычислительной, логической и визуальной подсистем в реальном времени, формируя функциональный цифровой двойник подстанции для исследования поведения оборудования и действий персонала в оперативных режимах.

Реализовано вычислительное ядро на основе открытой библиотеки Pandapower, выполняющее корректный анализ установившихся режимов и расчет токов короткого замыкания для любых конфигураций схемы подстанции. Использование параметризованных моделей оборудования (линий, трансформаторов, выключателей, шинных секций) обеспечивает точное воспроизведение электрических процессов при переключениях, аварийных событиях и изменениях топологии сети.

Предложен метод нейросетевой генерации сценариев, позволяющий формировать динамично развивающиеся аварийные ситуации в тренировке. Алгоритм поддерживает построение уникальных последовательностей событий, моделирование отказов оборудования и усложнение сценария при ошибочных операциях оператора, что максимально приближает тренировочный процесс к реальным условиям развития аварий. Выполнена интеграция нейросетевой подсистемы с вычислительным ядром и 3D-визуальной средой. Обеспечена автоматическая перестройка сценария в зависимости от фактических действий оператора, что позволяет моделировать причинно-следственные связи между ошибками персонала и изменениями режима работы оборудования. Совместная работа модулей исключает разрыв между расчетной моделью и отображением, повышая реалистичность тренажера.

Комплекс обеспечивает формализованную оценку действий оператора по объективным критериям – правильность, своевременность и влияние операций на развитие аварии. Система протоколирования и автоматического анализа снижает субъективность в оценке подготовки и позволяет количественно измерять компетенции персонала. Таким образом, тренировка становится не только средством обучения, но и инструментом контроля знаний.

Предложенные решения расширяют инструментарий цифровой подготовки оперативного персонала и могут быть применены при создании полнофункциональных отечественных тренажеров и систем поддержки принятия решений в электроэнергетике. Архитектура комплекса адаптирована для интеграции в современные цифровые платформы управления энергосистемами и соответствует актуальным тенденциям внедрения цифровых двойников и интеллектуальных алгоритмов анализа режимов. Разработанный комплекс демонстрирует эффективное сочетание строгих инженерных расчетов, реалистичной иммерсивной визуализации и методов искусственного интеллекта, что способствует повышению качества.

Разработанный комплекс демонстрирует эффективное сочетание строгих инженерных расчетов, реалистичной иммерсивной визуализации и методов искусственного интеллекта, что способствует повышению качества обучения и безопасности эксплуатации электрических подстанций.

НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ ПЕРСПЕКТИВНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Р. Ю. Закурдаев

*ПАО «Россети», Россия
(e-mail: rza-kur@ya.ru)*

Современная концепция релейной защиты и автоматики (РЗА) электроэнергетической системы была разработана с учетом существовавших в 30-е – 50-е года XX века технологий. В 1990-е годы устройства претерпели изменения с появлением полупроводниковых элементов в микроэлектронике (МЭ). В 2000-е годы и до сегодняшнего дня идет бурный рост микропроцессорных (МП) устройств РЗА (УРЗА) на основе современной схемотехники и вычислительных технологий. Данный этап развития характеризуется широкими возможностями фиксации дискретных и аналоговых сигналов, построения фактически неограниченной по объему логики и функциями межмашинного обмена информацией между устройствами. Таким образом, в релестроительной индустрии существует противоречие между огромными вычислительными возможностями устройств и реализуемой ими концепцией релейной защиты.

Противоречие, главным образом, заключается в необходимости остаться в существующей парадигме и одновременно в существовании технической возможности улучшения и усовершенствования каждого из устройств, вместе составляющих эту парадигму.

Если обобщить, то потенциал современной вычислительной техники при построении устройств РЗА расходуется на:

1) усложнение логики путем простого дублирования блоков, разработкой ранее не существовавших блоков или наличием гибкой логики. При этом происходит увеличение оперативных органов управления на порядок и появление новых аббревиатур. Разработка новых логических блоков, видимым проявлением которой является увеличение номенклатуры защит, происходит как по причине, указанной выше в примерах, так и из-за отдельного назначения таких блоков (орган контроля погасания дуги (ОКПД) для однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ), общий критерий повреждения (ОКП) и т.д.);

2) совершенствование интерфейса человек–машина. Происходит переход от дисплея на терминале РЗА к панели оператора, объединения в этой панели нескольких терминалов РЗА. Например, шкаф контроллера присоединений, состоящий из 8 терминалов;

3) совершенствование межмашинного обмена информацией между устройствами, реализуемая по протоколу МЭК 61850 (так называемая архитектура 2 и 3 типа) и других протоколов.

При этом сама концепция построения РЗА и противоаварийной автоматики (ПА) остается неизменной: есть основные защиты, защищающие от всех видов повреждения и действующие с минимальной выдержкой времени, и резервные, имеющие относительную селективность и несколько выдержек времени. Неизменным действительно должны остаться принципы релейной защиты, но достичь их с учетом далеко вперед шагнувших технологий с первой половины XX века можно несколькими способами.

Широкие возможности МП устройств породили концепцию трех архитектур релейной защиты, в которых, как известно, предлагается поэтапно (от I к III) перейти от передачи сигналов между УРЗА посредством медных кабелей к цифровой передаче всех данных. В пределе, наверное, уже не будет больше необходимости в отдельном устройстве РЗА на МП терминале, а будет объединение нескольких устройств в одно.

Концепция трех архитектур имеет отношение только к принципу быстрого действия, так как взамен срабатывания выходного реле в терминале (10...20 мс) имеем GOOSE-сообщение со скоростью в микросекунды. При этом важный вопрос, например, селективности УРЗА не решается только переходом на другой технологический уровень передачи информации между устройствами РЗА.

С одной стороны, может быть такое мнение, что какого-либо коренного изменения и не требуется – достаточно того, что уже есть. Оно проверено десятилетиями.

тилетиями, достаточно лишь добавить то, что предлагают современные информационно-коммуникационные технологии, т.е. удаленное управление, мониторинг, технологии цифрового двойника подстанции. С другой стороны, это будет остановка в развитии собственно релейной защиты. Стандарт МЭК 61850, автоматизированное рабочее место (АРМ) релейщика, SCADA-система не могут подменить собой развитие принципов РЗА и ПА.

Верным, как представляется, являются оба подхода, нужно только обозначить их границы применения. Первый подход – правильно реализовывать с применением проверенной электромеханики (ЭМ), к которой действительно можно добавить некоторые функции мониторинга, но не ухудшающие информационную безопасность. МП устройства РЗА для реализации такой архитектуры не обязательны. Второй подход заключается в применении только МП устройств, потому что ЭМ или МЭ не обладают вычислительной мощностью, требуемой для развития релейной защиты.

Дальнейшее развитие релейной защиты – это не комплекс каких-то новых защит, а совсем другой подход. В первую очередь, речь не про новые принципы контроля, а про логику. Все возможные варианты контроля аналоговой величины перебраны: фазные величины, симметричные величины, арифметическая разность, умножение на коэффициенты, дифференциальные величины – варианты ограничены тремя значениями, которые не так сильно можно преобразовать.

Другое дело – логика. Здесь можно бесконечно усложнять и создавать порой очень громоздкие и сложные конструкции, которые часто бывают оправданы и, вроде бы, и нужны. Например, логика ОАПВ с ее индикаторами поврежденной фазы (ИПФ) и пр. Но они очень сложны для понимания и анализа правильной работы. На примере логической схемы ОАПВ (логическая схема занимает 3 – 5 рисунков в зависимости от производителя) можно продемонстрировать стоящий перед разработчиками выбор дальнейшего развития МП устройств: или не отказываться от этой логики, развивать ее, добавляя новые конструкты, но укрупнять блоки, делать их функциональными на схеме вместо логических и стандартизировать эти блоки. Или реализовывать эту логику по-другому, не на логических элементах, а изначально на функциональных.

В этом плане можно руководствоваться чем-то вроде шкалы сложности устройств. Выше некой сложности нужно коренное изменение принципа. Суть такого изменения заключается в том, что центральное место теперь должны занимать задачи. Логика работы УРЗА должна быть задачей ориентированная, а не блокоориентированная.

Применимо к стандарту МЭК, вместо номенклатуры, пытающейся охватить все возможные устройства РЗА и их сигналы, лучше оперировать категориями действий. В той части РЗ и ПА, которая сводится к разделению (в том числе к изолированию участка) энергосистемы и где автоматика нужна для обеспечения работы сложных систем, такими категориями могли бы быть: работа защит при коротком замыкании (КЗ) на своем участке, работа защит при КЗ на смежном участке, подготовка оперированием выключателя, работа устройства пожаротушения, охлаждение автотрансформатора при 40%-ной нагрузке и т.д.

Каждый участок энергосистемы имеет ту или иную вероятность повреждения. Автоматическое ускорение защит в существующей концепции релейной защиты – это реализация такого подхода, т.е. заранее известно, что, если при включении участка энергосистемы в работу следом происходит повреждение, это с высокой вероятностью повреждение на этом вновь включенном участке.

Исходя из карты сети и моделирования всех возникающих процессов можно строить вероятностный прогноз развития событий. Таким способом можно адекватно реагировать не только на медленно развивающийся ненормальный режим, для ликвидации которого применяется ПА, но и быстроразвивающиеся ненормальные режимы, за ликвидацию которых отвечает релейная защита.

В случае, например, при КЗ оценивается перегрузочная способность элементов сети по некой времятоковой зависимости. Оценивается возможность возврата режима в допустимые пределы и происходит прогнозирование развития событий. Если будет решено, что возврат в допустимые пределы невозможен или он займет время, не сопоставимое с временем дополнительной перегрузки, то произойдут отключения.

Помимо требования чувствительности, есть требование селективности, т.е. в случае, когда участок энергосистемы, по которому протекают токи или который находится под напряжением выше своей перегрузочной способности по величине или длительности, не имеет сам повреждения и его можно было бы оставить в работе, а отключать нужно смежный участок. Тогда упомянутый выше расчет выполняется, теоретически помещая фиксируемое повреждение в конец наблюдаемого участка. Выполняется обратная расчетная задача знанием логики расчета, тем самым оценивается причина, по которой перегрузка энергосистемы присутствует, а отключения до сих пор нет.

Суммируя, так называемая задача ориентированности будет заключаться в формировании логики работы, которую можно описать простым человеческим вопросом или командой.

Как упоминалось выше, при появлении ненормального режима происходит прогноз развития этого режима. Существует некая точка невозврата, когда энергосистема не сможет вернуться в нормальный режим. В этот момент следует отключить поврежденный элемент. При этом горизонт прогнозирования по порядку величины сопоставим с временем работы устройств, т.е. для РЗ – доли и единицы секунд, для ПА – единицы и десятки секунд.

Каждый ненормальный или аварийный режим снижает эксплуатационный ресурс. Поэтому при наличии ненормального режима и непрохождении точки невозврата выбор «отключать или не отключать» должен происходить на основании дилеммы: «обеспечить бесперебойность электроснабжения или не позволить сильно сократить срок службы оборудования». SBWatch, т.е. подсчет коммутационного ресурса высоковольтных выключателей – это реализация такой модели в современной релейной защите.

На настоящем этапе развития релестроения это удобнее всего делать через группы уставок. Но в перспективе должно быть так, что уставка, предположим, по току в зависимости от ситуации в сети меняется. Если точнее – в зависимости от работы устройств ПА. От них должна отстраиваться вся релейная защита. Так же, как РЗ является командным уровнем по отношению к автоматике, так и ПА должна управлять работой РЗ в известных пределах. Следовательно, главная задача: сохранить устойчивость энергосистемы, для этого надо оказывать управляющие воздействия через автоматику. Если при этом происходят КЗ, то задача все равно остается той же: сохранить устойчивость энергосистемы. Как правило, для этого нужно изолировать поврежденный участок.

В определении поврежденного участка, т.е. в селективности, как упоминалось ранее, кроется важный вопрос. Когда в существующей релейной защите не сработали защиты с абсолютной селективностью, дальше работает ближнее и дальнее резервирование. Участки энергосистемы отключаются каскадно до тех пор, пока повреждение не будет ликвидировано, и поврежденный участок (уже сильно разросшийся) не будет изолирован. Тонкость заключается в том, что «поврежденным участком» является на короткое время огромный кусок энергосистемы, в котором величина перегрузки сильно неравномерна. У амортизационной модели два главных критерия – это возможность работать в перегрузке (износ оборудования, находящегося в поврежденном элементе энергосистемы) и важность сохранения элемента энергосистемы в работе.

Предложенные принципы перспективной релейной защиты позволят более эффективно использовать вычислительные возможности МП устройств РЗА и ПА.

РАСЧЕТ ПРИГОДНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКА С ЖИДКИМ АММИАКОМ В КАЧЕСТВЕ АНАЛОГА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ ТРАНСФОРМАТОРА 110/10 кВ

В. И. Зацепина, Д. С. Пшеничников, Д. К. Щербаков

*Липецкий государственный технический университет,
Липецк, Россия*

*(e-mail: vizatsepina@yandex.ru, dmitriy_from_rivia@mail.ru,
e-mail: Scherbakov2003@list.ru)*

Проблема регуляции температуры в трансформаторах является очень распространенной в связи с особенностями устройства установки. Большое количество тепла, выделяемое ими, несмотря на их высокий КПД, заставляет все более глубоко и продуманно модифицировать классические системы охлаждения. Предлагается заменить стандартную систему на теплообменник, работающий на жидком аммиаке. Расчет хладагенератора для самого аммиака будет произведен в другой работе.

1. Начальные данные [1, 2]

Тепловая нагрузка Q	1 890 000 Вт
Температура масла на входе t'_m	55 °С
Температура масла на выходе t''_m	45 °С
Температура аммиака на входе t'_a	–40 °С
Температура аммиака на выходе t''_a	–35 °С
Плотность масла ρ_m	880 кг/м ³
Теплоемкость масла c_m	1900 Дж/ (кг·°К)
Теплопроводность масла λ_m	0,126 Вт/ (м·°К)
Вязкость масла μ_m	0,0083 Па·с
Число Прандтля для масла Pr_m	125,2
Плотность аммиака ρ_a	682,4 кг/м ³
Теплоемкость аммиака c_a	4472 Дж/ (кг·°К)
Теплопроводность аммиака λ_a	0,540 Вт/ (м·°К)
Вязкость аммиака μ_a	0,000264 Па·с
Число Прандтля для аммиака Pr_a	2,186

Вычислим массовый и объемный расходы аммиака [3, 4, 7 – 9]:

$$m_a = \frac{Q}{c_a \Delta t_a} = \frac{1890\,000}{4472 \cdot 5} = 84,52 \frac{\text{кг}}{\text{с}}; V_a = \frac{m_a}{\rho_a} = \frac{84,52}{682,4} = 123,9 \frac{\text{л}}{\text{с}}.$$

Исходя из полученного значения, можно сделать вывод, что теплообменник должен обладать достаточно большим объемом.

Вычислим температурный напор [3, 4, 7 – 9]:

$$\Delta t_6 = 55 - (-35) = 90 \text{ } ^\circ\text{C}; \Delta t_m = 45 - (-40) = 85 \text{ } ^\circ\text{C}; \Delta t_{cp} = \frac{90 - 85}{\ln \frac{90}{85}} = 87,45 \text{ } ^\circ\text{K}.$$

Воспользовавшись имеющимися данными и нормативными документами, примем следующие конструктивные параметры [3, 4, 7 – 9]:

2. Параметры труб [5, 6]

Трубы	25×5 мм, $d_{\text{вн}} = 0,020$ м; $d_{\text{нар}} = 0,025$ м
Материал	сталь 09Г2С, $\lambda_{\text{ст}} = 48$ Вт/(м·°К)
Скорость аммиака v_a	0,85 м/с
Скорость масла v_m	0,35 м/с

Вычислим коэффициенты теплоотдачи для масла и аммиака [3, 4, 7 – 9]:

1. Аммиак:

$$\text{Re}_a = v_a d_{\text{вн}} \rho_a = 43,940;$$

$$\text{Nu}_a = 0,023 \text{Re}_a^{0,8} \text{Pr}_a^{0,4} = 134,7;$$

$$\alpha_a = \frac{\text{Nu}_a \lambda_a}{d_{\text{вн}}} = 3637 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{K}}.$$

2. Масло:

$$d_{\text{экв}} \approx 0,024 \text{ м};$$

$$\text{Re}_m = v_m d_{\text{экв}} \rho_m = 890;$$

$$\text{Nu}_m = 0,023 \text{Re}_m^{0,8} \text{Pr}_m^{0,4} = 76,3;$$

$$\alpha_m = \frac{\text{Nu}_m \lambda_m}{d_{\text{экв}}} = 401 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{K}}.$$

Узнаем необходимую площадь теплообменника, вычислив коэффициент теплопередачи и площадь теплообмена [3, 4, 7 – 9]:

$$R_{\text{ст}} = \frac{0,0025}{48} = 0,000052 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{К}}{\text{Вт}};$$

$$R_{\text{загряз}_a} = 0,0002, \quad R_{\text{загряз}_m} = 0,0004;$$

$$\sum R = \frac{1}{3637} + 0,000052 + 0,0002 + 0,0004 + \frac{1}{401} = 0,0034207 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{К}}{\text{Вт}};$$

$$K = \frac{1}{0,0034207} = 292,34 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{К}}.$$

Тогда необходимая площадь теплообмена [3, 4, 7 – 9]:

$$S = \frac{1\,890\,000}{292,34 \cdot 87,45} = 73,93 \text{ м}^2.$$

Возьмем запас в 15% [3, 4, 7 – 9]:

$$S = 73,93 \cdot 1,15 = 85,02 \text{ м}^2.$$

Проверка теплового баланса [3, 4, 7 – 9]:

$$m_m = \frac{1\,890\,000}{1900 \cdot 10} = 99,47 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$Q_m = 99,47 \cdot 1900 \cdot 10 = 1\,889\,930 \text{ Вт};$$

$$Q_a = 84,52 \cdot 4472 \cdot 5 = 1\,889\,947 \text{ Вт}.$$

Подведя итог, можно сделать следующие выводы:

1. Теплообменник будет требовать большое количество жидкого аммиака, а также емкость под него (приблизительно – 1,5 м³ (запас в 10%)).

2. Его способности к охлаждению будет достаточно для выполнения температурных условий, заданных вначале.

3. Она превосходит нынешний аналог в стабильности, а также имеет перспективы для дальнейшего улучшения.

Также необходимо ответить, что такая система будет требовательна к холодильной установке, расчет которой будет представлен в другой работе.

Библиографический список

1. NIST Chemistry WebBook [Электронный ресурс]. – URL : <https://webbook.nist.gov/chemistry/>
2. ГОСТ 982–80. Масла трансформаторные.
3. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : Энергия, 1975. – 438 с.

4. Теплопередача : учебное пособие : в 2 ч. / В. С. Чередниченко, В. А. Сеницын, А. И. Алиферов, Ю. И. Шаров. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М». – 2020. – 348 с.
5. ГОСТ 5632–2014. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные.
6. ГОСТ 14249–89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
7. Кафаров, В. В. Основы массопередачи : учебное пособие для вузов / В. В. Кафаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа. – 1972. – 249 с.
8. Кошкин, Н. Н. Холодильные машины / Н. Н. Кошкин, И. А. Сакун, Е. М. Бамбушек. – Л. : Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1985. – 510 с.
9. Варгафтик, Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Наука, 1972. – 721 с.

ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ В СЕЛЬСКИЕ МИКРОГРИДЫ

С. Н. Зеленов, В. И. Зацепина

*Липецкий государственный технический институт, Липецк, Россия
(e-mail: zelen5323serti67@gmail.com, vizatsepina@yandex.com)*

Энергетическая доступность и надежность электроснабжения остаются ключевыми проблемами для сельских и отдаленных регионов многих стран. В таких территориях централизованное подключение к национальной энергосети либо отсутствует, либо нестабильно, что ограничивает развитие инфраструктуры, образование, здравоохранение и экономическую активность населения. Проблема усугубляется ростом потребления энергии даже в сельской местности, появлением новых технологий и увеличением требований к качеству жизни. Микрогриды, как локальные автономные или полуавтономные энергосистемы, способны решать эти задачи, обеспечивая стабильное снабжение электроэнергией. Особое значение приобретает использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в таких системах. Солнечная, ветровая и биогазовая энергия позволяют создавать экологически чистые, экономически эффективные и устойчивые микрогриды, адаптированные под условия конкретного региона. Интеграция ВИЭ снижает зависимость от ископаемого топлива, минимизирует выбросы парниковых газов и создает возможности для социально-экономического развития сельских районов.

Сельский микрогрид представляет собой локальную энергосистему, включающую генерацию, накопление и распределение энергии, способную работать как автономно, так и синхронно с национальной сетью. Основу микрогрида составляют источники энергии, системы накопления и управления, а также конечные потребители. Генерация может включать солнечные панели, ветровые турбины, биогазовые установки и другие локальные источники, что позволяет адаптировать систему под природно-климатические условия и сезонные колебания потребления. Системы накопления, такие как аккумуляторные батареи, гидроаккумуляторы или гибридные технологии, обеспечивают резервное питание и балансировку нагрузки в периоды пикового потребления или при недостаточной генерации. Центральным элементом микрогрида является система управления энергией, которая координирует работу всех компонентов, отслеживает производство и потребление, оптимизирует использование возобновляемых источников и гарантирует стабильность системы. Потребители микрогрида включают домохозяйства, фермерские хозяйства, школы, медицинские учреждения и другие объекты социальной инфраструктуры, что делает систему не только техническим, но и социально значимым проектом.

Солнечная энергия является одним из наиболее востребованных и универсальных источников для сельских микрогридов. Солнечные панели легко масштабируются, требуют относительно низких эксплуатационных затрат и обеспечивают экологически чистую генерацию. Однако производительность солнечных систем зависит от климатических условий, поэтому для стабильной работы требуется интеграция с аккумуляторами или другими источниками. Ветровая энергия эффективно используется в регионах с постоянными ветровыми потоками и позволяет генерировать электричество в периоды низкой солнечной активности. Ветровые турбины требуют предварительных исследований ветрового потенциала и правильно спроектированных конструкций для оптимальной работы. Биогазовые установки и другие биоэнергетические решения особенно актуальны в сельской местности, где доступны сельскохозяйственные отходы. Такие системы обеспечивают стабильную генерацию, независимую от погодных условий, и одновременно решают проблему утилизации отходов. Гибридные системы, объединяющие несколько источников энергии, позволяют достигать максимальной надежности и эффективности. Сочетание солнечной, ветровой и биогазовой генерации с накопителями энергии обеспечивает круглосуточное электроснабжение, снижает зависимость от отдельных источников и позволяет более гибко реагировать на сезонные и суточные колебания потребления.

Интеграция возобновляемых источников в микрогриды имеет множество экономических, экологических и социальных преимуществ. Экологичность таких систем выражается в значительном снижении выбросов углекислого газа и уменьшении загрязнения окружающей среды. Энергетическая независимость позволяет минимизировать зависимость от централизованных сетей и ископаемого топлива, а также снижает риск перебоев в снабжении, что особенно важно для удаленных населенных пунктов. Экономическая эффективность проявляется в сокращении долгосрочных расходов на электроэнергию и техническое обслуживание системы, особенно в сочетании с государственными субсидиями и программами поддержки возобновляемой энергетики. Социальное влияние таких систем трудно переоценить: доступ к стабильной энергии повышает качество жизни, улучшает образовательные и медицинские услуги, стимулирует развитие местной экономики, создает рабочие места в сфере обслуживания и эксплуатации микрогридов.

Несмотря на явные преимущества, интеграция ВИЭ в сельские микрогриды сталкивается с рядом сложностей. Первой проблемой являются высокие первоначальные инвестиции в строительство системы и закупку оборудования. Неравномерность генерации солнечных и ветровых систем требует применения накопителей энергии и гибкой системы управления, что повышает сложность проектирования и эксплуатации. Техническая инфраструктура должна включать надежные аккумуляторные и инверторные системы, а также средства мониторинга и удаленного управления для своевременного выявления неисправностей. Кроме того, успешная эксплуатация микрогридов требует обучения и подготовки квалифицированного персонала, что является дополнительным организационным и финансовым вызовом. Без продуманного технического и социального сопровождения эффективность и устойчивость микрогридов может быть существенно снижена.

Развитие технологий хранения энергии, цифровых систем управления и снижение стоимости солнечных панелей и ветровых турбин открывают новые возможности для масштабного внедрения микрогридов в сельских регионах. Гибридные системы становятся более доступными и надежными, что позволяет создавать устойчивую энергетическую инфраструктуру даже в самых удаленных районах. Государственные программы поддержки, международные гранты и частные инвестиции стимулируют рост проектов, создавая условия для устойчивого развития сельской энергетики. В долгосрочной перспективе интеграция возобновляемых источников в микрогриды может стать основой для формирования независимых локальных энергетических экосистем, способных обеспечить устойчивое развитие сельских территорий и повысить качество жизни населения.

Интеграция возобновляемых источников энергии в сельские микрогриды представляет собой эффективное решение для обеспечения надежного, экологически чистого и экономически обоснованного энергоснабжения отдаленных населенных пунктов. Комбинация солнечных, ветровых и биогазовых технологий с системами накопления и управления позволяет создать гибкую, устойчивую и адаптивную энергетическую инфраструктуру. Несмотря на финансовые, технические и организационные вызовы, перспективы внедрения таких систем являются крайне многообещающими и открывают новые возможности для социально-экономического развития сельских регионов, повышения качества жизни и формирования устойчивых локальных энергетических экосистем. Интеграция ВИЭ в микрогриды является не только технологическим, но и стратегическим инструментом для достижения энергетической независимости и экологической устойчивости в сельской местности.

Библиографический список

1. Буланенков, В. А. «Умная сеть» электроснабжения / В. А. Буланенков // Научный Лидер. – 2023. – № 29(127). – С. 7 – 9.
2. Россихин, Д. А. Системы накопления электроэнергии: перспективы и потенциал развития / Д. А. Россихин, Т. В. Выприцкая, А. В. Сидорова // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2021. – № 9.
3. Шишкин, Н. Д. Комплексная оценка эффективности энергоустановок с использованием возобновляемых источников энергии / Н. Д. Шишкин // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2014. – № 2(58). – С. 59 – 66.
4. Усков, А. Е. Определение оптимальной группы потребителей для электроснабжения с использованием ветро-солнечных электростанций / А. Е. Усков // Вестник Донского государственного технического университета. – 2018. – № 1. – С. 118 – 123.
5. Стычинский, З. А. Возобновляемые источники энергии: теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика / З. А. Стычинский. – Магдебург : Docupoint GmbH, 2010. – 209 с.

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Д. Н. Земской, М. А. Каменская, Ж. А. Зарандия, С. В. Артемова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: zemskoydeyvid@gmail.com)

В современной электроэнергетике диагностика линий электропередач (ЛЭП) играет ключевую роль в обеспечении надежности и безопасности энергосистем. Разрабатываемая информационно-аналитическая система обнаружения дефектов (ИАС ОД) представляет собой комплексное решение, сочетающее сбор данных, их анализ и прогнозирование, что позволяет перейти от традиционных методов диагностики к интеллектуальному мониторингу в реальном времени. Данная система включает в себя высокотехнологичное оборудование для видеонаблюдения и контроля (Мовирег ВК502-АНД-1080), размещающаяся на крыше спецтехники ПАО «Россети Центр», машинные методы классификации для выявления дефектов на ранних стадиях, тем самым минимизируя риски аварий и простоев.

Диагностика с использованием ИАС ОД особенно актуальна для воздушных линий электропередач (ВЛ), где традиционные подходы, основанные на визуальном осмотре или периодических тестах, неэффективны в динамичных условиях эксплуатации.

Линии электропередач подвержены износу, перегрузкам и внешним воздействиям, что приводит к авариям: по статистике, до 70% сбоев в энергосистемах связано с неисправностями ЛЭП. Традиционные методы, такие как параметрическая диагностика (контроль нормируемых параметров) или визуальный осмотр, не позволяют оперативно реагировать на изменения, особенно в удаленных или сложных климатических условиях. В России, с ее обширными сетями ВЛ, актуальна проблема мониторинга в реальном времени, где ИАС ОД обеспечивает сбор и анализ данных для предотвращения отказов ВЛ, несущих за собой значительные экономические потери.

Глобальные тенденции цифровизации, включая *Industry 4.0*, подчеркивают необходимость перехода к предиктивной диагностике, где ИАС ОД интегрирует *IoT* и методами машинного обучения для повышения эффективности и снижения затрат на ремонт ВЛ.

Методы диагностики ВЛ классифицируются на параметрические, функциональные и структурные. Параметрическая диагностика фокусируется

на контроле ключевых показателей, таких как провисание проводов, температура и нагрузки, для выявления отклонений. Функциональная оценивает работоспособность линии в целом, а структурная – состояние отдельных компонентов.

Современные подходы включают использование методов машинного обучения для анализа данных, таких как вибрация, дефекты. Автоматизированные системы мониторинга позволяют интегрировать данные из множества источников для комплексной оценки воздушных линий. В контексте ИАС ОД акцент на статистической диагностике, где информационно-аналитические системы собирают данные для прогнозирования состояния линий электропередач.

ИАС ОД для диагностики ВЛ – это распределенная платформа, включающая сбор, обработку и анализ данных о состоянии линий. Она отслеживает параметры в реальном времени, используя датчики и алгоритмы машинного обучения для выявления аномалий элементов воздушных линий. Система позволяет прогнозировать техническое состояние, учитывая режимы эксплуатации, и генерировать рекомендации по ремонту, в частности выдавать информацию по геолокационным меткам дефектного оборудования.

Структурно ИАС ОД состоит из сенсорного уровня, аналитического модуля и интерфейса для операторов. Она интегрируется с существующими SCADA-системами для автоматизированного управления диагностикой ВЛ.

К основным компонентам ИАС ОД относятся:

- **Оборудование для видеонаблюдения и IoT:** мовирег ВК502-АНД-1080, обеспечивающий бесконтактный мониторинг без прерывания работы ВЛ.
- **Аналитический модуль:** использует методы машинного обучения и data mining для обработки данных. Например, алгоритмы выявляют дефекты с точностью до 95%.
- **Коммуникации:** беспроводные сети (LoRa, 5G) для передачи данных в облако или локальные серверы.
- **Интерфейс и базы данных:** визуализация данных, отчеты и интеграция с ERP-системами для планирования ремонта ВЛ.

На рисунке 1 представлена схема функционирования ИАС ОД.

Технологии включают статистическую диагностику и базы знаний для экспертной оценки состояния воздушных линий.

Разрабатываемая ИАС ОД повышает надежность ЛЭП на 30%, снижая простои и затраты на ремонт оборудования за счет предиктивной диагностики. Преимущества: анализ в реальном времени, автоматизация и интеграция с «умными сетями».

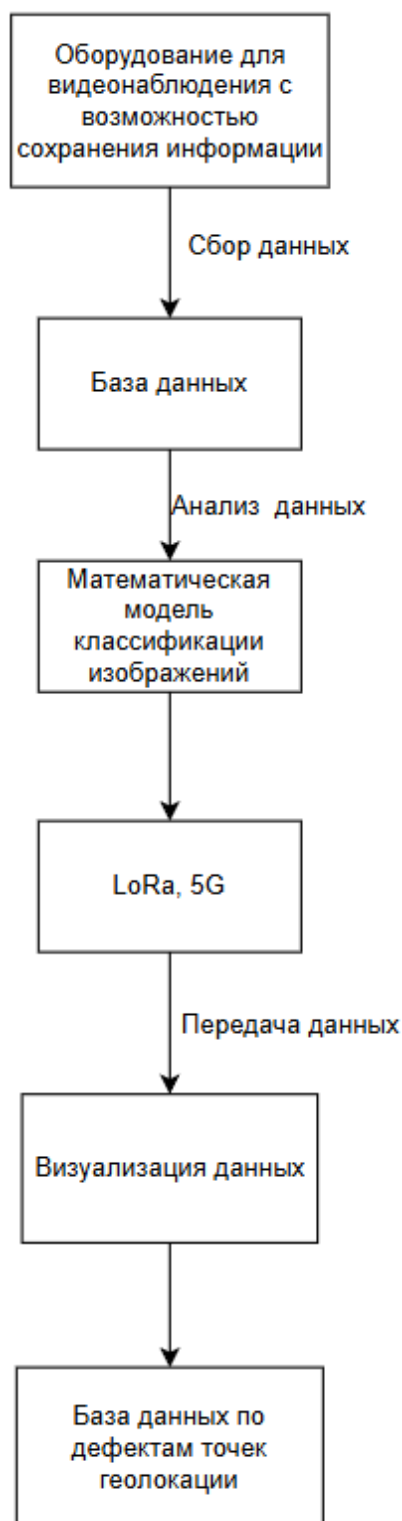


Рис. 1. Блок-схема функционирования ИАС ОД

Перспективы развития ИАС ОД включают многофакторный анализ оборудования ВЛ, использование блокчейна для безопасной передачи данных и развитие квантовых вычислений для сложных моделей диагностики. Ожидается расширение на мобильные приложения и AR для визуализации диагностики ВЛ, в долгосрочной перспективе – полная автоматизация с самообучающимися системами для предиктивного обслуживания линий.

ИАС ОД для диагностики линий электропередач – инновационный инструмент, обеспечивающий переход к цифровой трансформации процесса принятия решения по неисправностям оборудования. Внедрение ИАС ОД позволит повысить надежность, эффективность и устойчивость воздушных линий на 30%, способствуя глобальным целям цифровой трансформации в энергетике.

Библиографический список

1. Kuzmin, A. V. Analytical Diagnostic and Control System of Energy and Mechanical Parameters of Power Equipment / A. V. Kuzmin, S. M. Petrov // Energies. – 2023. – V. 16, No. 9. – P. 2266.
2. Ivanov, D. A. The Diagnostics System for Power Transmission Lines of 6/10 kV / D. A. Ivanov, V. P. Sokolov // International Journal of Electrical Engineering. – 2015. – P. 45 – 52.

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ

А. В. Зубков, Е. В. Попрядухин, Н. С. Сорокин, А. И. Псарев

*Орловский государственный аграрный университет
имени Н. В. Парахина, Орел, Россия
(e-mail: ZubckoFFandrej@gmail.com)*

Введение. Железнодорожный переезд – одноуровневое пересечение железнодорожных путей и автомобильной дороги – остается одним из критических участков транспортной сети по риску ДТП с тяжелыми последствиями. В России переезды сосредоточены как в густонаселенных районах, так и на магистральных и неэлектрифицированных линиях; в последние годы наблюдаются сезонные и годовые колебания числа инцидентов, что требует целенаправленных мер как инженерного, так и организационного характера [1].

Основная часть. По открытым источникам, в сети российских железных дорог насчитывается порядка 10...15 тыс. железнодорожных переездов. Протяженность электрифицированных линий сети РЖД оценивается примерно в 44,0...44,5 тыс. км, а эксплуатационная длина линий общего пользования – порядка 86...87 тыс. км (т.е. электрифицировано порядка $\approx 50...51\%$ основной сети).

Если принять за базу оценку общего числа переездов 10...15 тыс., и предположить, что распределение переездов примерно пропорционально протяженности электрифицированных/неэлектрифицированных линий, то число

переездов на неэлектрифицированных участках можно оценить как примерно 45...51% от общего, т.е. примерно 5...8 тыс. переездов на неэлектрифицированных участках.

В российской и международной практике обычно выделяются основные виды переездов по уровню защиты [1]:

- переезды с полной автоматической защитой (шлагбаумы + светофоры + звуковая сигнализация) – наиболее «защищенные»;
- переезды с частичной/активной защитой (светозвуковая сигнализация, без шлагбаума или с полушлагбаумом);
- пассивные (нерегулируемые) переезды – только дорожные знаки (кресты, предупреждения);
- переезды с дежурным работником (ручное управление) – встречаются на отдельных участках.

На основе расследований и ведомственных сводок можно выделить ключевые факторы аварийности на железнодорожных переездах: нарушение правил ПДД (проезд на запрещающий сигнал, объезд опущенного шлагбаума, игнорирование знаков) является самой распространенной причиной большинства столкновений; технические причины (остановка/поломка автотранспорта на путях, неисправности охранных устройств); недостаточная видимость (плохое освещение и погодные условия); организационные ошибки или человеческий фактор (неправильные действия персонала, отключение защиты, задержки в ремонте); пешеходный фактор и намеренные действия.

Для снижения аварийности на железнодорожных переездах применяют инженерные, организационные и административные мероприятия [1].

К инженерным мероприятиям можно отнести автоматизацию активной защиты (установка шлагбаумов, синхронизированных свето- и звуковых сигналов), применение систем контроля загруженности переезда (датчики препятствий, радары, видеодетекция), внедрение и модернизация в соответствии с ГОСТ/РД (LED, резервирование, автономные решения на неэлектрифицированных участках).

К организационным и административным мероприятиям относят: маркировку, дорожную разметку, знаки и интеграцию в навигационные сервисы (уведомление в GPS/навигаторах о приближении к переезду), ужесточение контроля и штрафов за проезд на запрещающий сигнал с использованием видеофиксации.

Нормы освещения объектов железнодорожного транспорта и переездов регламентированы профильными нормативными документами (например, ГОСТ Р 54984–2012, ГОСТ 34935–2023, РД 3215–91 и др.), где указаны мини-

мальные уровни освещенности по категориям переездов и требования к типам светильников, защитным классам и управлению освещением. В частности, мощности и типы светильников, требования по защите от вибраций, IP-классы и рекомендации по использованию светодиодных источников подробно прописаны в этих документах.

Освещение железнодорожных переездов может быть: стационарным, автономным, локальным, прожекторным.

Стационарное сетевое освещение питается от электрической сети 220/380 В. В нем применяются высокомоощные светодиодные прожекторы и консольные светильники. Оно рекомендуется для переездов в населенных пунктах и местах с централизованным электроснабжением.

Автономные (солнечные) системы освещения – LED-светильник, аккумулятор, солнечная панель. Данная система хороша для удаленных не электрифицированных переездов, где прокладка линии нецелесообразна.

Локальное подсветное освещение используют на опорах шлагбаума в виде встроенных индикаторов и световых панелей. Его целесообразно применять как дополнение к основному освещению для повышения видимости барьеров и направляющих элементов.

Прожекторное освещение для оперативного осмотра подвижного состава используется в необходимых случаях по нормативам.

Опишем достоинства и недостатки каждого из видов освещения железнодорожных переездов.

Сетевое (магистральное) освещение: плюсы – высокая яркость и равномерность, длительный ресурс светодиодов, возможность интеграции с системой управления (таймеры, датчики движения), не зависит от погодных перепадов при устойчивом электроснабжении; минусы – расходы на прокладку/подключение к сети, уязвимость к отключениям электроэнергии, высокие капитальные затраты при монтаже опор и прокладке линий [2, 3].

Автономные солнечные системы: плюсы – самостоятельность от сети (подходят для удаленных/неэлектрифицированных участков), низкие эксплуатационные расходы (после окупаемости), быстрый монтаж; минусы: зависимость от климатических условий (снижение выработки в зимний период/в пасмурную погоду), необходимость замены аккумуляторов через 5 – 10 лет, возможная уязвимость к вандализму/кражам [2, 3].

Локальные световые индикаторы и подсветка шлагбаумов: плюсы – улучшение заметности барьера и края проезжей части, относительно недорогие решения; минусы – не решают проблему общей видимости подходов к переезду, требуют дополнительного электропитания/защиты [1].

Комбинированные решения (LED + прожекторы + отражатели + дорожная разметка): плюсы – синергетический эффект (улучшенная видимость и безопасности в ночное время и плохую погоду), допускает резервирование (при отказе одного источника – другие остаются); минусы – более высокая начальная стоимость и потребность в грамотной интеграции и обслуживании [1 – 3].

Заключение. Для существенного снижения аварийности на переездах в РФ необходима сбалансированная стратегия: сочетание инженерных вложений (приоритет – удаление/защита наиболее рискованных переездов), модернизация освещения согласно ГОСТ (LED и резервирование), внедрение датчиков и цифровых средств обнаружения препятствий, жесткий контроль соблюдения ПДД и постоянная просветительская работа. Автономные солнечные решения дают практическую возможность повысить безопасность на неэлектрифицированных и удаленных переездах, но требуют продуманного проекта по обслуживанию аккумуляторных блоков и вандализационной защите.

Библиографический список

1. Реконструкция и усиление железнодорожной инфраструктуры : учебное пособие / Н. И. Карпущенко, Д. В. Величко, А. С. Пикалов, Т. В. Лукьянович. – Новосибирск : СГУПС, 2019. – 200 с. – URL : <https://e.lanbook.com/book/164601> (дата обращения: 18.12.2025).
2. Беспалов, Д. В. Анализ источников света осветительных устройств для уличного освещения автомобильных дорог и улиц / Д. В. Беспалов, Н. С. Сорокин, А. И. Псарев // Профессия инженер : сб. ст. XII Всерос. молодеж. науч.-практ. конф., Орел, 16 апреля 2024 года. – Орел : ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 282 – 286.
3. Анализ видов дополнительных и резервных источников питания для сельскохозяйственных предприятий / А. В. Зубков, Н. С. Сорокин, А. И. Псарев и др. // Профессия инженер : сб. ст. XIII Всерос. молодеж. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию Победы в Великой отечественной войне, Орел, 17 апреля 2025 года. – Орел : Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2025. – С. 262 – 266.

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ УЛИЧНОГО ДОРОЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ, НА ПРИМЕРЕ АО «ДОРОЖНАЯ СЛУЖБА» ПО ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

И. Е. Иванин, В. Д. Кулешова, Н. С. Сорокин, А. И. Псарев

Орловский государственный аграрный университет

имени Н. В. Парахина, Орел, Россия

(e-mail: IVANIVANIN772@GMAIL.COM)

Введение. В условиях требований к энергоэффективности актуальной становится задача оптимизации систем уличного освещения, так как они формируют значительные расходы на электроэнергию в региональных бюджетах. Освещение дорог обеспечивает безопасность движения и комфорт населения, но требует постоянного контроля энергопотребления и мер по его снижению. В связи с этим проведен анализ источников света на примере АО «Дорожная служба» по Орловской области, где эксплуатируется около 150 линий освещения, включающих 4486 светильников с лампами ДНаТ мощностью 70...250 Вт и 693 светильника со светодиодами мощностью 80...160 Вт.

Основная часть. Доля натриевых ламп высокого давления (ДНаТ) составляет около 87%, тогда как LED-светильники занимают лишь 13%. Краткая характеристика данных типов приборов выглядит следующим образом: натриевые лампы отличаются достаточно высокой световой отдачей (80...100 лм/Вт), но требуют времени для выхода на номинальный режим работы; при этом они обеспечивают продолжительный срок службы и стабильность светового потока. Светодиодные же светильники обладают существенно более высокой световой отдачей (130...150 лм/Вт), демонстрируют устойчивость к колебаниям напряжения, долговечность, а также независимость эффективности от температуры окружающей сред. Но главный фактор, ограничивающий широкое применение LED-светильников, является высокая стоимость оборудования [1, 2].

Для оценки потребления электрической энергии уличного и дорожного освещения использовались астрономические данные закатов и рассветов по Орловской области за 2024 год. Расчеты проведены на основе данных о времени рассвета и заката за 2024 год, при этом освещение оставалось включенным в темное время суток. Важным фактором является то, что освещение управляется простыми средствами автоматики, такими как фотореле и астротамеры.

В таблице 1 представлены суммарные часы работы освещения по месяцам. Из данных видно, что наибольшая продолжительность работы освещения наблюдается в декабре – 557 часов, а наименьшая в июне – 195 часов, при этом общее время работы систем освещения за год составило 4445 часов.

1. Время сумерек по месяцам за 2024 год

Месяц	Количество дней	Время, ч
Январь	31	538
Февраль	29	431
Март	31	387
Апрель	30	305
Май	31	247
Июнь	30	195
Июль	31	227
Август	31	287
Сентябрь	30	345
Октябрь	31	441
Ноябрь	30	485
Декабрь	31	557

По данным рис. 1 видно, что в системах уличного и дорожного освещения Орловской области преимущественно применяются светильники с лампами ДНаТ мощностью 150 Вт, следовательно, сможем рассчитать по формуле (1) установленную мощность всех линий дорожного освещения:

$$P_{\text{уст.осв}} = P_{\text{лампы}} L = 5179 \cdot 0,15 = 782,7 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (1)$$

где $P_{\text{лампы}}$ – мощность одной лампы, кВт; L – количество ламп, шт.

Исходя из данных табл. 1 выполним расчет потребляемой электрической энергии за январь 2024 по формуле (2)

$$W_{\text{осв.}} P_{\text{уст.осв}} \cdot T_c = 782,7 \cdot 538 = 421\,093 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (2)$$

где T_c – время сумерек, ч;

Выполняя аналогичный расчет для всех остальных месяцев, сведем данные в диаграмму, изображенную на рис. 1.

Общее энергопотребление систем уличного освещения в Орловской области в 2024 г. составило 3 479 102 кВт·ч. Диаграмма наглядно демонстрирует рост нагрузки в осенне-зимний период и снижение в летние месяцы.

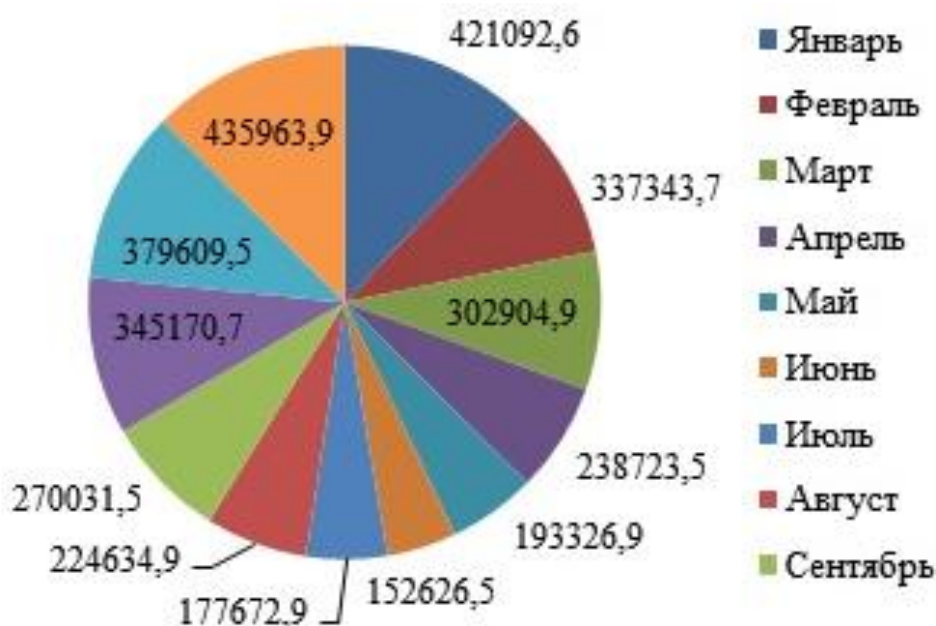


Рис. 1. Потребление электрической энергии дорожным освещением Орловской области

Для оценки затрат на приобретение электроэнергии для дорог Орловской области за 2024 г. был использован тариф 7,5 руб. за 1 кВт·ч. Стоимость рассчитывалась по формуле (3)

$$C_{\text{э}} = W_{\text{осв}} \cdot C_{\text{т}} = 421\,043 \cdot 7,5 = 3158,2 \text{ тыс.руб/год}, \quad (2)$$

где $W_{\text{осв}}$ – количество потребленной электроэнергии за 1 месяц, кВт·ч; $C_{\text{т}}$ – стоимость 1 кВт·ч, руб.

На рисунке 2 показан график годовой стоимости на приобретение электроэнергии в Орловской области по месяцам, что позволяет визуально оценить пики расходов и периоды снижения.

Из графика видно, что на приобретение электрической энергии для уличного дорожного освещения районных и областных дорог в 2024 г. было израсходовано 52 185,5 тыс. руб., отсюда можно сделать вывод о том, что для повышения энергоэффективности и снижения затрат можно использовать следующие технические решения:

- замена светильников на светодиодные;
- применение устройств автоматического дистанционного управления, что позволит более точно управлять включением и отключением освещения;
- применение устройств диммирования, позволяющих снизить потребление электрической энергии в определенные периоды времени;
- разработка новых способов диммирования и дистанционного управления, снижающих затраты за счет регулирования освещенности, не нарушая нормы освещенности.



Рис. 2. Оценка затрат на приобретение электрической энергии для уличного дорожного освещения Орловской области

Закключение. Проведенное исследование показало, что в Орловской области преобладает использование ламп ДНаТ, что приводит к значительным затратам на электроэнергию. Годовое энергопотребление составило 3,48 млн кВт·ч, а расходы – более 52,2 млн рублей. Наибольший потенциал снижения энергозатрат обеспечивают современные светодиодные технологии и внедрение интеллектуальных систем управления. Их применение позволит существенно сократить расходы регионального бюджета при сохранении нормативного уровня освещенности дорог, что делает модернизацию уличного освещения важной задачей региональной энергетической политики.

Библиографический список

1. К вопросу эксплуатации линий уличного освещения / Д. М. Сотников, Д. В. Беспалов, Н. С. Сорокин, А. И. Псарев // Интеллектуальные системы в аграрном и строительном комплексе : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Орел, 03–04 декабря 2024 года. – Орел : Орловский государственный аграрный университет им. Н. В. Парахина, 2024. – С. 429 – 435.
2. Беспалов, Д. В. Анализ источников света осветительных устройств для уличного освещения автомобильных дорог и улиц / Д. В. Беспалов, Н. С. Сорокин, А. И. Псарев // Профессия инженер : сб. ст. XII Всерос. молодеж. науч.-практ. конф., Орел, 16 апреля 2024 года. – Орел : ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 282 – 286.

ЦИФРОВОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СИГНАЛОВ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А. А. Иванов, Н. А. Лежнева, С. Н. Данилов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: andreyivanov6898@yandex.ru,

nataliya.lezhneva@wunder.haus, plabz@mail.ru)

Введение. Для перевозки пассажиров и грузов в последнее время широкое распространение получили высокоавтоматизированные транспортные средства (ТС) – воздушные, наземные: автомобили (в том числе и беспилотные). Перемещение ТС (в первую очередь беспилотных) обеспечивает система автоматического управления. Основу навигационной системы составляет аппаратура приема (АП) сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС). Однако эта аппаратура имеет существенный недостаток: возникновение в случайные моменты времени аномального измерения псевдодальности навигационного космического аппарата (КА), входящего в текущее рабочее созвездие [1]. Причина этого – малое отношение сигнал–шум на входе АП. Для выявления аномальных измерений используются различные методы и подходы [2 – 4]. В данной работе рассмотрены подходы, основанные на методах математической статистики.

Постановка задачи. В работе [4] методами марковской теории оптимального оценивания были синтезированы оптимальные алгоритмы обработки информации в вертикальном и горизонтальном каналах навигационной системы, включающей в свой состав аппаратуру приема сигналов СРНС, инерциальную навигационную систему (ИНС), барометрический высотомер (БВ). Одним из параметров алгоритма является формируемая в канале обработки выходного сигнала АП СРНС, обновляющаяся последовательность (невязка измерений), т.е. разность между выходным значением измеренной АП СРНС высоты ТС и значением ее прогноза

$$\varepsilon_{B2}(t_{k+1}) = \xi_2(t_{k+1}) - \mathbf{H}_2(t_{k+1})\mathbf{\Psi}_B(t_{k+1}, t_k)\mathbf{W}_B(t_k) - \\ - V_2 - \mathbf{H}_2(t_{k+1})\mathbf{\Phi}_{xxB}(t_{k+1}, t_k)\mathbf{X}_B^*(t_k). \quad (1)$$

Здесь $\xi_2(t_{k+1}) = H^{\text{СРНС}}(t_{k+1})$ – измеренное значение высоты на выходе АП СРНС; $\mathbf{W}_B(t_k) = [a_Z^{\text{ИНС}}(t_k), g]^T$ – известный вектор управления, $a_Z^{\text{ИНС}}(t_k)$ – измеренное ИНС значения составляющей вектора ускорения ТС

в вертикальной плоскости, g – ускорение свободного падения; $\mathbf{X}_B^\bullet(t_k) = [H_{\text{ОТН}}^\bullet(t_k), V_Z^\bullet(t_k), \Delta H^\bullet(t_k), \Delta_{aZ}^\bullet(t_k)]^T$ – оценка вектора состояния, в состав которого входят оценка высоты $H_{\text{ОТН}}^\bullet(t_k)$, оценка вертикальной скорости $V_Z^\bullet(t_k)$, оценка постоянной составляющей ошибки барометрического высотомера $\Delta H^\bullet(t_k)$ и оценка постоянной составляющей ошибки измерения вертикального ускорения ИНС $\Delta_{aZ}^\bullet(t_k)$; $V_2 = R_0$ – известная величина, R_0 – радиус-вектор геоцентрической (сферической) системы координат; $\mathbf{H}_2(t_{k+1})$, $\Psi_B(t_{k+1}, t_k)$, $\Phi_{\text{xxB}}(t_{k+1}, t_k)$ – известные векторы наблюдения, переходная матрица управления и фундаментальная матрица; $t_{k+1} - t_k = T$ – интервал дискретизации.

Естественно предполагать [5], что если закон распределения обновляющей последовательности не является гауссовским, то измерения на выходе АП СРНС являются аномальными. Для проверки закона распределения на интервале $\Delta T = N \times (t_{k+1} - t_k)$ возьмем N выборок обновляющей последовательности $\{\varepsilon_{B2}(t_k), \varepsilon_{B2}(t_{k+1}), \dots, \varepsilon_{B2}(t_{k+N})\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$ и вычислим [5, 6] отношение средних отклонений (2) и выборочный коэффициент эксцесса (3).

$$d_N = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=m}^{m+(N-1)} |\varepsilon_{B2}(t_i) - m_\varepsilon|}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=m}^{m+(N-1)} (\varepsilon_{B2}(t_i) - m_\varepsilon)^2}}, \quad (2)$$

$$\beta_2(N) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=m}^{m+(N-1)} (\varepsilon_{B2}(t_i) - m_\varepsilon)^4}{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=m}^{m+(N-1)} (\varepsilon_{B2}(t_i) - m_\varepsilon)^2 \right]^2}, \quad (3)$$

где m_ε – математическое ожидание обновляющей последовательности $\{\varepsilon_{B2}(t_k), \varepsilon_{B2}(t_{k+1}), \dots, \varepsilon_{B2}(t_{k+N})\}$.

Совокупность случайных величин $\{\varepsilon_{B2}(t_k), \varepsilon_{B2}(t_{k+1}), \dots, \varepsilon_{B2}(t_{k+N})\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$ распределена по гауссовскому закону, если выполняются совместно два неравенства $d_{NQ} < d_N < d_{N(1-Q)}$ и $\gamma_{2Q_2}(N) < \beta_2(N) < \gamma_{2(1-Q_2)}(N)$.

Если оба неравенства не выполняются, то закон распределения не является гауссовским и, соответственно, измерения на выходе АП СРНС являются аномальными. Для вычисления d_{NQ} и $d_{N(1-Q)}$ зададим Q одним из значений 0,01 или 0,05. Принимая во внимание объем выборки N , находим величины 100 Q %-ной точки d_{NQ} и 100(1- Q)%-ной точки $d_{N(1-Q)}$ по табл. 4.7, а из [7]. Для вычисления $\gamma_{2Q_2}(N)$ и $\gamma_{2(1-Q_2)}(N)$ зададим Q_2 одним из значений 0,01 или 0,05 и, принимая во внимание объем выборки N , по табл. 4.7, в из [7] находим величины 100 Q_2 %-ной точки $\gamma_{2Q_2}(N)$ и 100(1- Q_2)%-ной точки $\gamma_{2(1-Q_2)}(N)$.

Для формирования N выборок обновляющей последовательности используем метод скользящего окна. Под окном будем понимать временной интервал длительностью $\Delta T = N \times (t_{k+1} - t_k)$.

Моделирование сигнала с выхода АП СРНС проводилось при значениях: $R_0 = 6\,371\,110$ м; $H_{\text{ОТН}}(t_k) = 1000$ м, $k = 0, 1, 2, \dots$; $\sigma_z = 7$ м; сигнала БВ при значениях: $\Delta H(t_{k+1}) = 7$ м, $k = 0, 1, 2, \dots$; $T = 0,02$ с; $\gamma_{\text{БВ}} = 10$ с⁻¹ и $\sigma_{\text{БВ}} = 1$ м; сигнала ИНС при значениях: $\alpha_a = 50$ с⁻¹; $\sigma_a = 0,03$ мс⁻²; $\Delta_{aZ}(t_{k+1}) = 0,2$ мс⁻², $k = 0, 1, 2, \dots$. Предполагалось, что объект движется на высоте 1000 м.

Были проведены вычисления отношений средних отклонений d_N и выборочных коэффициентов эксцесса $\beta_2(N)$ по выборке обновляемой последовательности размером $N = 200$. В соответствии с таблицами [7] значения допусков брались равными: $d_{NQ} = 0,7629$, $d_{N(1-Q)} = 0,8322$, $\gamma_{2Q_2}(N) = 2,37$, $\gamma_{2(1-Q_2)}(N) = 3,98$.

При моделировании предполагалось, что с 20 по 30 секунду возникли аномальные измерения высоты. На этом интервале сигнал на выходе АП СРНС представлял собой аддитивную смесь истинного значения высоты и шума, описываемого равномерным законом распределения на интервале от нуля до 25 метров.

На рисунке 1 представлена реализация значений отношений средних отклонений d_N , а на рис. 2 для этого же интервала времени реализация выборочных коэффициентов эксцесса $\beta_2(N)$.

Из приведенных рисунков видно, что через 2,5 с после появления аномальных измерений на выходе АП СРНС и значения отношений средних отклонений d_N , и значения выборочного коэффициентов эксцесса $\beta_2(N)$ выходят за пределы допустимых отклонений.

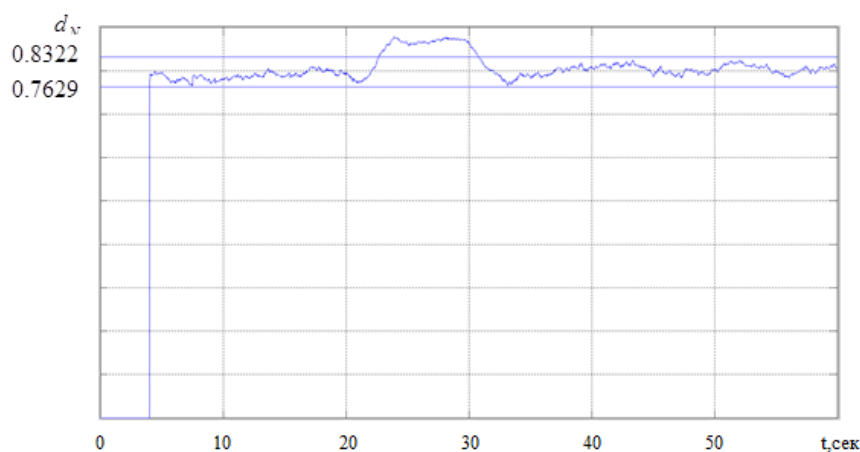


Рис. 1. Вычисленные значения отношений средних отклонений d_N

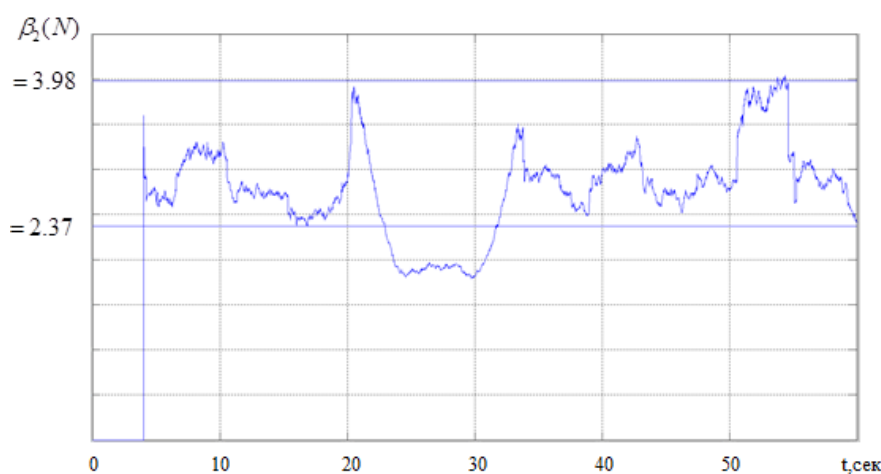


Рис. 2. Вычисленные значения выборочных коэффициентов эксцесса $\beta_2(N)$

Выводы. В работе предложен новый метод для определения аномальных измерений на выходе АП СРНС. Метод базируется на применении отношения средних отклонений и выборочного коэффициентов эксцесса. Проведено компьютерное моделирование, которое показало работоспособность предложенного метода.

Библиографический список

1. Выявление аномальных измерений при определении координат местоположения объекта по сигналам ГЛОНАСС/GPS / С. П. Москвитин, А. В. Мордовин, Н. А. Лежнева, А. А. Иванов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2023. – Т. 29, № 4. – С. 586 – 593.
2. Определение аномальных измерений радиосигналов спутниковой радионавигационной системой методом статистической обработки невязок измерений / А. В. Иванов, С. П. Москвитин, Н. А. Лежнева, А. А. Иванов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 27 – 40.

3. Ivanov, A. V. Quasi-Optimal Algorithms for Detection, Identification, and Adaptive Estimation for Information Processing in Navigation Systems of Mobile Ground Objects Based on Satellite Radio Navigation Systems / A. V. Ivanov, V. O. Surkov, D. V. Komrakov // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2020. – No. 6(65). – P. 609 – 618.

4. Adaptive Algorithms for Information Processing in Navigation Complexes of Mobile Ground Objects / A. V. Ivanov, V. Yu. Shishkin, D. V. Boikov, et al. // Journal of Communications Technology and Electronics – 2021. – No. 8(66). – P. 926 – 937.

5. Радиотехнические системы / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др. – М. : Высшая школа, 1990. – 495 с.

6. Айвазян, С. А. Прикладная статистика: основы моделирования и первичная обработка данных / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статистика, 1983. – 471 с.

7. Большев, Л. Н. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. – М. : Наука, 1983. – 416 с.

СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ХИЩЕНИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

М. А. Илясов, Е. А. Майстренко, С. Э. Эктов, А. А. Терехова

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: ilyasov1910@inbox.ru)*

Электроэнергия сейчас один из ключевых источников комфорта и быта населения всего мира, но многие граждане, зная уязвимости энергосистемы, недобросовестно используют электроэнергию, а именно, самовольный наброс ответвления от прибора учета напрямую, перепрограммирование счетчика, чтобы не платить и пользоваться благом наравне с законопослушными гражданами. На данный момент времени существуют методы и способы для предотвращения и выявления хищения электричества: установка антимагнитных пломб; сводка показаний счетчика и контрольного прибора; монтаж электронных счетчиков и т.д. Для предотвращения кражи электричества хорошим решением будет внедрение системы, которая на базе искусственного интеллекта будет выявлять незаконное пользование электроэнергией, обходя приборы учета.

Искусственный интеллект появился относительно недавно, таким, каким мы его привыкли видеть сейчас, он хорошо показывает себя в различных сфе-

рах автоматизации процессов производства, стабильного контроля за оборудованием, медицине, транспорта и т.д. С развитием Интернета искусственный интеллект начал приобретать больше оборотов, так как для стабильной его работы требуются открытые источники либо же специально заданная база, из которой он, исходя из логических решений, делает те или иные процессы. Его применение в системах обнаружения хищения покажет себя с лучшей стороны, имея при этом изначальную базу данных потребителя, которая выступит источником сбора и обработки информации:

- исторические данные потребителя;
- текущие показатели нагрузки;
- данные состояния сети.

 Регионы	 Факты хищения	 Взысканная сумма (миллионов)
Ростовская область	958	21.8
Краснодарский край	793	85.1
Республика Карелия	451	9.1
Пензенская область	226	3.5
Воронежская область	200	45.8
Липецкая область	164	3.1
Тамбовская Область	158	2.5
Ярославская область	123	2.9
Тульская область	106	42
Республика Марий Эл	43	1.3
Новгородская область	24	0.6

Рис. 1. Статистика по факту выявления нелегального использования электроэнергии

Использование средств обнаружения хищения обосновано статистикой выявления хищения электроэнергии в России за 2024 г. Большое количество средств уходит на поддержание стабильной работы энергосистем, но ее используют в корыстных целях. Так, предприниматели думают обойти тарифы, которые устанавливают для предприятий, присоединяясь по тарифу для населения.

По примерному расчету можно понять, сколько энергии будет уходить на потребление:

$$E_{\text{быт}} = (P_{\text{хол}} + P_{\text{комп}} + P_{\text{осв}} + P_{\text{быт}})t \cdot 30,$$

где $E_{\text{быт}}$ – месячное потребление (кВт·ч); $P_{\text{хол}}$ – мощность холодильника (обычно 0,15...0,3 кВт); $P_{\text{комп}}$ – мощность компьютера (0,3...0,5 кВт); $P_{\text{осв}}$ – мощность освещения (0,05...0,1 кВт); $P_{\text{быт}}$ – мощность остальной техники (варьируется); t – среднее время работы в сутки (ч).

Взяв майнинговую ферму с потреблением устройства 162,5 кВт/ч, появляется значительное потребление нагрузки у потребителя, что свидетельствует о значительном потреблении, не предназначенном для жилого дома

Искусственный интеллект, основанный на базе обнаружения хищения электроэнергии, будет решать проблемы с незаконным потреблением и различного рода подключением в целях обхода тарифа и экономии на электричестве, имея в своем функционале источники первичной информации, нормализацию, машинное обучение, критерии анализа и верификацию нарушения.

Библиографический список

1. Титов, В. А. Разработка алгоритма выявления хищений электроэнергии при помощи интеллектуальных приборов учета электроэнергии / В. А. Титов // Электроэнергетика : материалы Девятнадцатой Всерос. (Одиннадцатой Междунар.) науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых : в 6 т., Иваново, 14 – 16 мая 2024 года. – Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2024. – С. 36.
2. Мацора, В. С. Технические способы хищения электроэнергии. Способ «Ноль» / В. С. Мацора, Е. М. Зубрилина // Научные исследования: от теории к практике. – 2016. – № 3(9). – С. 201–202.
3. Яковина, А. П. Способы борьбы с несанкционированным потреблением электроэнергии / А. П. Яковина // Агротехника и энергообеспечение. – 2024. – № 2(43). – С. 28 – 31.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ SMART GRID

Д. А. Ишимов, В. И. Зацепина

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

(e-mail: daniil.ishimpv@gmail.com, vizatsepina@yandex.com)

Современная электроэнергетика стоит на пороге масштабной трансформации, обусловленной растущими требованиями к эффективности, надежности и экологической устойчивости. Традиционные энергосистемы, основанные на централизованной генерации и однонаправленной передаче электроэнергии, все чаще демонстрируют свою недостаточную гибкость перед лицом новых вызовов: интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ), появлении массовых новых типов нагрузок и растущих требований потребителей к качеству и надежности электроснабжения [1].

Концепция Smart Grid, или интеллектуальных энергетических сетей, предлагает принципиально новый подход к построению и управлению энергосистемой. Это модернизированная электроэнергетическая сеть, в которой используются цифровые и коммуникационные технологии для сбора и анализа данных об энергопроизводстве и энергопотреблении, что позволяет автоматически повышать эффективность, надежность и экономическую выгоду системы. В отличие от традиционной модели, Smart Grid обеспечивает двусторонний обмен как информацией, так и энергией между поставщиками и потребителями.

Целью данной работы является анализ концепции Smart Grid, ее технологических основ, преимуществ и проблем ее внедрения в России. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

- Раскрыть сущность и ключевые технологические компоненты Smart Grid.
- Проанализировать глобальные тенденции и особенности внедрения технологии в России.
- Выявить ключевые проблемы и барьеры на пути реализации концепции.
- Сформулировать выводы и рекомендации по дальнейшему развитию Smart Grid в РФ.

Решаемая проблемой: Smart Grid призвана решить фундаментальную проблему современной электроэнергетики – несоответствие между устаревшей, централизованной и недостаточно гибкой инфраструктурой и новыми требованиями к энергосистеме, включая необходимость интеграции ВИЭ.

Smart Grid представляет собой комплексную концепцию, преобразующую традиционную энергосистему в интеллектуальную, адаптивную и устойчивую сеть. Ее архитектура охватывает несколько уровней: генерации и передачи, распределения и потребления. Основу этой трансформации составляют несколько *ключевых технологий*:

Цифровизация подстанций. Они характеризуются применением микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики с использованием электронных измерительных приборов (например, оптических трансформаторов тока) и минимальным количеством аналоговых соединений. Цифровизация позволяет реализовать удаленное управление и мониторинг, что значительно повышает оперативность и надежность управления сетями.

Интеллектуальные счетчики (Smart Meters) – это устройства, которые предоставляют данные в режиме реального времени о потреблении электроэнергии, позволяя дистанционно управлять нагрузкой и взаимодействовать с потребителем, а также выявлять случаи хищения электроэнергии. Они формируют основу для систем автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии.

Интегрированная коммуникационная инфраструктура связывает все компоненты системы в единое целое. Для передачи данных используются разнообразные технологии – от проводных (оптоволокно, ВЧ-связь по ЛЭП) до беспроводных (Wi-Fi, LTE, 5G). Эта инфраструктура обеспечивает двустороннюю связь между всеми участниками энергетического рынка, что является необходимым условием для функционирования «умной» сети.

Продвинутые системы автоматизации и анализа данных. Сюда относятся системы на основе искусственного интеллекта (AI) и больших данных, которые анализируют потоки информации в режиме реального времени, прогнозируют спрос, оптимизируют режимы работы сети и помогают операторам принимать решения. Эти системы обеспечивают самовосстановление сети – способность автоматически обнаруживать аварии и мгновенно реагировать на них, переключая питание по резервным линиям, что резко сокращает время перерывов в электроснабжении.

Мировая энергетика движется в сторону децентрализации, цифровизации и экологичности. Smart Grid является стержнем этой трансформации, обеспечивая основу для интеграции возобновляемых источников энергии, развития распределенной генерации и появления активного «умного» потребителя. В России внедрение концепции Smart Grid имеет свою специфику и реализуется через ряд национальных проектов и программ.

Одним из ключевых драйверов является государственная программа цифровой трансформации. Группа «Россети» реализует программу «Цифровая трансформация – 2030», в рамках которой к 2030 году планируется ввести в эксплуатацию 1268 цифровых подстанций по всей стране. Эти объекты становятся узлами будущей интеллектуальной сети. Примером успешной реализации является первая безлюдная цифровая подстанция 110 кВ «Мирная» в Башкортостане, которая функционирует без постоянного персонала и управляется дистанционно, что позволило снизить операционные затраты более чем на 40%.

Другим важным направлением является оснащение потребителей интеллектуальными системами учета. Переход на «умные» счетчики является одним из самых массовых элементов Smart Grid в России. Это не только меняет взаимоотношения между потребителем и поставщиком, но и создает основу для сбора больших данных о потреблении, необходимых для оптимизации работы всей энергосистемы.

Несмотря на декларируемые планы и отдельные успешные пилотные проекты, массовое внедрение технологий Smart Grid в России сталкивается с рядом системных проблем [2]:

- Высокая стоимость и масштаб необходимых инвестиций. Цифровизация энергоинфраструктуры требует колоссальных финансовых вложений.
- Кадровый дефицит. Энергетике требуются специалисты, обладающие не только традиционными инженерными знаниями, но и компетенциями в области цифровых технологий, программирования и работы с большими данными. Подготовка таких кадров является долгосрочным процессом.
- Кибербезопасность. Рост уровня цифровизации и подключенности энергообъектов к сетям передачи данных многократно повышает риски кибератак, что требует создания и постоянного обновления комплексных систем защиты.
- Географический масштаб и неоднородность территории России. Площадь страны создает трудности для построения единой коммуникационной инфраструктуры и обеспечения равномерного уровня технологического развития сетей в центральных и удаленных регионах.

Концепция Smart Grid является закономерным и необходимым ответом на современные вызовы, стоящие перед электроэнергетикой. Для России внедрение «умных сетей» представляет собой стратегический путь повышения эффективности, надежности и устойчивости национальной энергосистемы.

Основные выводы работы:

1. Smart Grid – это не просто набор технологий, а комплексная концепция, трансформирующая энергетику в интеллектуальную, двунаправленную и самовосстанавливающуюся систему.

2. Ключевыми технологическими компонентами Smart Grid являются цифровые подстанции, интеллектуальные системы учета, интегрированные коммуникационные сети и системы анализа данных на основе AI.

3. В России развернута активная работа по внедрению элементов Smart Grid, особенно в области цифровизации подстанций и внедрения «умных» счетчиков, однако этот процесс носит фрагментарный характер и сталкивается с серьезными барьерами.

4. Главными проблемами являются высокая стоимость, износ существующего оборудования, кадровый дефицит и риски кибербезопасности.

К 2030 году при условии последовательной реализации государственных и отраслевых программ Россия имеет все шансы сформировать гибкую цифровую энергосистему, способную интегрировать значительный объем возобновляемых источников энергии и обеспечивать устойчивое развитие экономики.

Библиографический список

1. Уралов, Б. К. Система управления на базе Smart Grid для повышения эффективности работы гибридной дизель-солнечной электростанции / Б. К. Уралов, Г. Д. Турымбетова, Г. Е. Сахметова // Труды Университета. – 2023. – № 1(90). – С. 340 – 347.

2. Цветкова, Ю. А. Перспективы и особенности внедрения концепции Smart Grid в Российский электроэнергетический комплекс / Ю. А. Цветкова // Журнал «COLLOQUIUM-JOURNAL». – 2019. – № 25-2(49). – С. 103 – 106.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

А. А. Капустин, Р. П. Беликов, И. Н. Фомин

*Орловский государственный аграрный университет
имени Н. В. Парахина, Орел, Россия*

Введение. Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности» (№ 261-ФЗ от 23 ноября 2009 года) определяет три важнейших понятия: энергосбережение, энергоэффективность и класс энергетической эффективности.

Энергоэффективность определяется как отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам на их производство. Класс энергоэффективности представляет собой показатель, характеризующий энергоэффективность конкретного изделия.

Ввиду того, что энергоэффективность трансформатора определяется величиной его потерь, применение современных энергоэффективных трансформаторов является одним из приоритетных направлений при передаче электроэнергии в распределительной электрической сети. Потери в трансформаторе делятся на потери короткого замыкания P_k – это потери, зависящие от загрузки трансформатора, и потери холостого хода P_0 – это потери, которые присутствуют в трансформаторе, подключенном к сети, независимо от его загрузки [1].

Обсуждение. Серия распределительных трансформаторов мощностью 25...630 кВА и напряжением 6...10/0,4 кВ является наиболее распространенной как в России, так и за рубежом [2, 3]. В настоящее время в России эксплуатируется более 3 миллионов таких трансформаторов общей мощностью свыше 350 миллионов кВА а годовой объем потребления электроэнергии в стране достигает 1 триллиона киловатт-часов. При этом потери электроэнергии в распределительных трансформаторах оцениваются в 75 миллиардов киловатт-часов. В целом, потери в магнитопроводах составляют 4% от общего объема вырабатываемой в стране электроэнергии, и значительная часть этих потерь приходится на распределительные трансформаторы [4 – 6].

Согласно годовым отчетам одной из сибирских энергетических компаний, потери в силовых распределительных трансформаторах напряжением 6...10/0,4 кВ составляют приблизительно 20% от общих потерь в электрических сетях [7].

Энергетическая эффективность является неотъемлемым компонентом классификации любого энергетического оборудования [8]. Однако в Российской Федерации по классам энергетической эффективности фактически классифицируется лишь бытовая техника. В то же время распределительные трансформаторы, приобретаемые в странах Европейского Союза, подлежат трем уровням стандартизации:

- международным стандартам (ISO, IEC);
- европейским стандартам и нормам (EN, HD);
- национальным стандартам (BSI, NF, DIN, NEN, UNE OTEL).

По европейскому стандарту EN 50464-1 выделяют классы энергопотребления трансформаторов, представленные в табл. 1.

Согласно табл. 1, наилучшие показатели по энергоэффективности имеют трансформаторы класса А, самые неэффективные – класс D.

Анализ характеристик трансформаторов различной мощности, размещенных на официальных сайтах заводов-лидеров трансформаторостроения в РФ и СНГ, сведен в табл. 2.

1. Классы энергопотребления трансформаторов

S _{нп} , кВА	Потери, Вт										U _к , %
	класс E		класс D		класс C		класс B		класс A		
	P _о	P _к	P _к	P _к	P _о	P _к	P _о	P _к	P _о	P _к	
100	320	2516	260	2150	210	1750	180	1475	145	1250	4
160	460	3627	375	3100	300	2350	260	2000	210	1700	4
250	650	4914	530	4200	425	3250	360	2750	300	2350	4
400	930	7020	750	6000	610	4600	520	3850	430	3250	4
630	1200	10179	940	8700	800	6750	680	5600	560	4800	6
1000	1700	15210	1400	13000	1100	10500	940	9000	770	7600	6

2. Сравнительные технические характеристики трансформаторов ТМГ

Мощность	Завод	Тип	P_o , Вт	P_k , Вт	Габариты			Масса, кг
					L , мм	B , мм	H , мм	
100 кВА	УП «МЭТЗ им. В. И. Козлова», РБ, г. Минск	ТМГ	270	1970	1020	750	1180	540
		ТМГМШ	220	2270	1000	720	925	540
	ОАО «ЭТК «БирЗСТ», г. Биробиджан	ТМГ	280	2000	942	595	1175	580
160 кВА	УП «МЭТЗ им. В. И. Козлова», РБ, г. Минск	ТМГ	410	2600	1100	780	1180	700
		ТМГМШ	320	2900	1120	750	1220	710
	ОАО «ЭТК «БирЗСТ», г. Биробиджан	ТМГ	400	2600	986	672	1240	750
250 кВА	УП «МЭТЗ им. В. И. Козлова», РБ, г. Минск	ТМГ	580	3700	1220	840	1220	950
		ТМГМШ	450	4200	1220	840	1320	1020
	ОАО «ЭТК «БирЗСТ», г. Биробиджан	ТМГ	550	3500	1196	735	1345	1050
400 кВА	УП «МЭТЗ им. В. И. Козлова», РБ, г. Минск	ТМГ	830	5400	1300	860	1300	1360
		ТМГМШ	600	5400	1300	860	1480	1480
	ОАО «ЭТК «БирЗСТ», г. Биробиджан	ТМГ	760	5500	1252	766	1407	1308
630 кВА	УП «МЭТЗ им. В. И. Козлова», РБ, г. Минск	ТМГ	1240	7600	1540	1060	1470	2000
		ТМГМШ	940	7600	1540	1060	1600	2100
	ОАО «ЭТК «БирЗСТ», г. Биробиджан	ТМГ	1000	7600	1578	862	1579	1780

При классификации отечественных распределительных трансформаторов по европейской системе становится очевидным, что большинство из них относятся к неэффективному классу D. В то же время ведущие международные производители уже освоили производство энергоэффективных трансформаторов класса A.

Минимизация потерь в трансформаторах достигается за счет применения современных технологий. Для снижения потерь в магнитопроводе используются два основных подхода: совершенствование качества материала сердечника и оптимизация его конфигурации. В последнее время производители проявляют интерес к применению аморфных (нанокристаллических) сплавов, которые обладают высокой прочностью, улучшенными электромагнитными свойствами и коррозионной стойкостью.

Использование таких материалов позволяет в пять раз снизить потери холостого хода [9]. Однако высокая стоимость аморфной стали ставит под сомнение экономическую целесообразность ее применения.

В настоящее время в Белгородской области проходит испытание первого инновационного трансформатора класса A, изготовленного по шведской технологии.

Экспериментальный трансформатор мощностью 100 кВА сконструирован таким образом, что обеспечивает пониженный уровень энергопотребления благодаря использованию уникального ленточного сердечника «hingle core» из традиционных материалов.

Для повышения эффективности работы электросетевого комплекса необходимо перейти на применение современных силовых распределительных трансформаторов. Необходимо также ужесточить требования ГОСТа по потерям нагрузки и холостого хода, а также обязать производителей присваивать трансформаторам класс энергоэффективности. Только таким образом можно стимулировать отечественных производителей к развитию производства и повышению энергоэффективности российского оборудования.

Рассматриваемый тип трансформаторов характеризуется рядом преимуществ, способствующих повышению энергетической эффективности:

- высокий коэффициент полезного действия (КПД) минимизирует потери энергии и тепловыделение;
- низкие потери холостого хода снижают энергопотребление в режиме ожидания;
- минимальные потери короткого замыкания, связанные с потерями в обмотках при аварийных токах, позволяют уменьшить мощность трансформатора, что сказывается на его стоимости и эффективности использования;

- применение материалов с высокой магнитной проницаемостью способствует уменьшению габаритов и веса трансформаторов, а также снижению потерь на гистерезис;

- технологии охлаждения, основанные на естественной конвекции или адиабатическом охлаждении, минимизируют потери на охлаждение и повышают КПД;

- экологически чистые изоляционные материалы с высокой диэлектрической прочностью и долговечностью снижают риск пробоя и увеличивают срок службы трансформаторов.

Несмотря на очевидные преимущества, энергоэффективные трансформаторы могут иметь и некоторые недостатки. Их стоимость может быть выше стандартных моделей из-за повышенных требований к эффективности и качеству материалов. Установка и обслуживание также могут потребовать дополнительных затрат.

Однако с учетом долгосрочной экономии энергии и сохранения природных ресурсов, использование энергоэффективных трансформаторов является рациональным экономическим решением.

Выводы. Энергоэффективные трансформаторы обладают рядом преимуществ, в том числе высоким КПД, минимизированными потерями мощности на холостом ходу и при коротком замыкании, использованием материалов с высокой магнитной проницаемостью и применением экологически безопасных изоляционных материалов.

Несмотря на наличие некоторых недостатков, внедрение таких трансформаторов является экономически целесообразным и содействует устойчивому развитию электроэнергетики.

Библиографический список

1. Абросимов, А. С. Энергоэффективность и экологическая безопасность в электроэнергетике / А. С. Абросимов, А. В. Воронин. – М. : Изд-во МЭИ, 2019. – 396 с.

2. Волчков, Ю. Д. Оценка современного состояния распределительных сетей 0,4 КВ для обоснования мероприятий по их реконструкции / Ю. Д. Волчков, Н. В. Махиянова, И. Н. Фомин // Профессия инженер : сб. ст. XII Всерос. молодеж. науч.-практ. конф., Орел, 16 апреля 2024 года. – Орел : ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 287 – 289.

СРАВНЕНИЕ ПОТЕРЬ И КПД РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С СЕРДЕЧНИКАМИ ИЗ АМОРФНЫХ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СТАЛЕЙ

К. А. Кеменов, В. И. Зацепина

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: k.kemenov@yandex.ru)*

Распределительные трансформаторы считаются одними из самых надежных и экономичных деталей электрических сетей. При работе с полной нагрузкой их коэффициент нужного действия (КПД) может достигать 99%. Однако на практике в таких приспособлениях все же возникают заметные электрические потери. Их можно разделить на три ключевые группы [1].

Первые – это потери в обмотках, вызванные нагревом проводников при прохождении тока. Они откровенно зависят от сопротивления материала и величины тока. Второй тип – издержки на вихревые токи. Переменный ток в обмотках создает переменное магнитное поле, которое индуцирует электрические токи в ближайших металлических элементах. Эти вихревые токи рассеивают энергию в виде тепла. Третий тип издержек связан с перемагничиванием магнитопровода и включает гистерезисные потери, образующиеся при циклическом изменении направления магнитного потока.

Как показано в литературе [2], всеобщая эффективность трансформатора определяется не только конструкцией, но и свойствами материала сердечника. Наибольшую авторитетность оказывают: тип стали, геометрия магнитопровода, а также частота, с которой происходит его перемагничивание. Чтобы снизить потери, следует применять магнитопроводы с минимальными значениями магнитных потерь и оптимизировать форму сердечника.

Одним из особо перспективных решений стало применение аморфных сталей (АС). Эти материалы владеют уникальной структурой, благодаря которой потери холостого хода (ХХ) снижаются около в четыре раза по сравнению с лучшими марками холоднокатаной стали (ХКС). Особенно экономично использовать аморфные сплавы в трансформаторах мощностью от 25 до 100 кВА, работающих на частоте 60 Гц, что специфично для многих зарубежных энергосистем.

Несмотря на очевидные преимущества, аморфные сердечники имеют и определенные ограничения. Их рабочая магнитная индукция ниже – менее 1,45 Тл против 1,7 Тл у ХКС, что настоятельно просит увеличения сечения

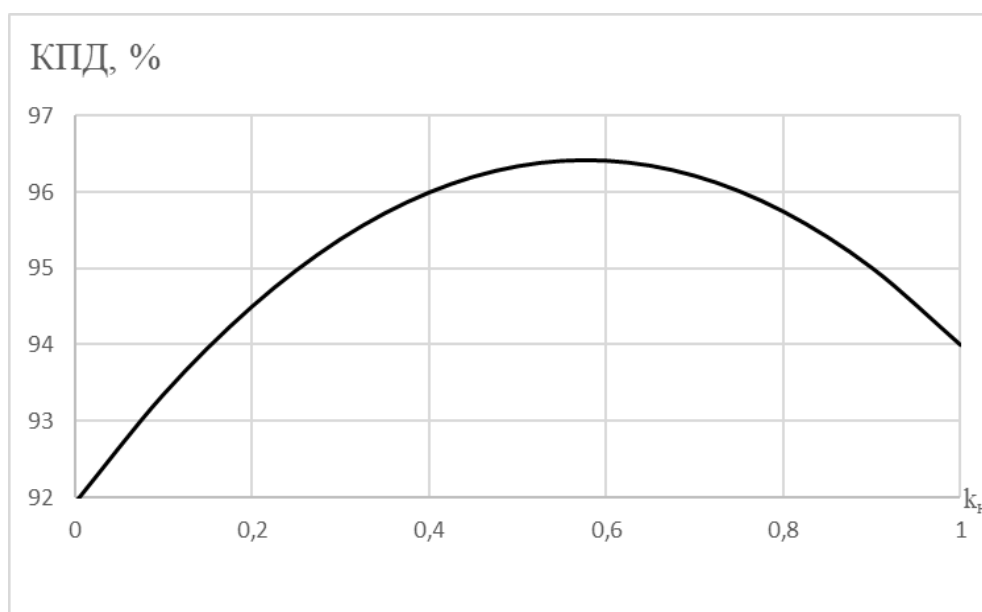
магнитопровода. Кроме того, у аморфных лент пониже коэффициент заполнения ($0,8 \dots 0,85$), больше толщина ($25 \dots 30$ мкм) и значительно выше твердость, из-за чего сборка сердечника становится более трудоемкой.

У трансформаторов с ЭТС издержки в сердечнике и в обмотках примерно одинаковы. Поэтому достигнутый КПД ($90,09\%$) недалек к теоретическому максимуму. В то же время у трансформаторов с аморфными сердечниками магнитные издержки настолько малы, что основная доля потерь приходится на обмотки. В итоге КПД $94,13\%$ не является предельным – максимальная эффективность достигается при частичной нагрузке.

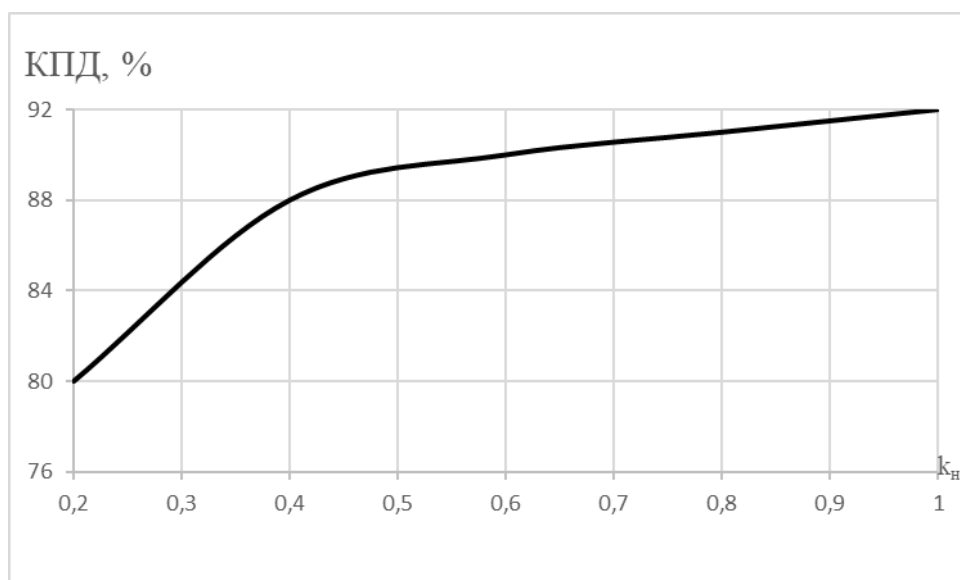
Анализ графиков зависимости КПД от показателя загрузки (рис. *а* – АС, *б* – ЭТС [4]) подтверждает это. Трансформатор с аморфным сердечником показывает более высокий КПД при номинальной нагрузке, но его максимум смещен в местность низких нагрузок (около $0,3 \dots 0,4$ от номинала). Это означает, что такие трансформаторы наиболее эффективны там, где нагрузка неравномерна и часто остается ниже расчетной – хоть, в сельских сетях, в ночное время или в системах с переменным использованием.

Зависимости: *а*) для трансформатора из АС; *б*) для трансформатора с сердечником из электротехнической стали [4].

Таким образом, не взирая на технологические сложности при производстве, использование аморфных сталей дает важный шаг к повышению энергоэффективности распределительных сетей. Особенно часто их применение в условиях, где трансформатор большую часть времени трудится в режиме пониженной нагрузки.



а) для трансформатора из АС



б) для трансформатора с сердечником из электротехнической стали

Библиографический список

1. Костинский, С. С. Обзор состояния отрасли трансформаторного производства и тенденций развития конструкции силовых трансформаторов / С. С. Костинский // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – № 20(1-2). – С. 14 – 32.
2. Влияние нагрузочной способности силовых трансформаторов на их эксплуатационные характеристики / Е. И. Грачева и др. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – № 19(7-8). – С. 71 – 77.
3. Михеев, Г. М., Способы повышения энергоэффективности силовых трансформаторов / Г. М. Михеев, Л. Г. Ефремов, Д. Е. Иванов // Вестник Чувашиского университета. – 2017. – № 3. – С. 212 – 218.
4. К вопросу об эффективности применения аморфной стали в магнитопроводах инновационных силовых трансформаторов / А. В. Проничев и др. // Экспозиция Нефть Газ. – 2020. – № 6(79).
5. Инновации в энергетической подсистеме предприятия / А. С. Яковлев и др. // Форум молодых ученых. – 2016. – № 4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ НА ДАЛЬНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ АКТИВНЫХ ПОМЕХ

А. А. Константинов, Ю. Н. Панасюк

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: andrey.konst540@mail.ru, pyunikol@mail.ru)

Дальность обнаружения целей цифровой радиолокационной станции (ЦРЛС) в условиях активных помех значительно снижается, поскольку помехи маскируют или подавляют отраженный сигнал от цели [1, 2].

Факторы, влияющие на дальность обнаружения ЦРЛС, включают параметры станции помех (СП): мощность передатчика $P_{\text{п}}$, ширина спектра помехи $\Delta F_{\text{п}}$, коэффициент усиления антенны $G_{\text{п}}$, а также параметры ЦРЛС: мощность передатчика $P_{\text{с}}$, коэффициент усиления антенны $G_{\text{с}}$, расстояние между ЦРЛС и целью $D_{\text{с}}$. На дальность обнаружения ЦРЛС влияют общие параметры ЦРЛС и СП: коэффициента несовпадения поляризаций антенн $\gamma_{\text{п}}$, длины волны λ , расстояния $D_{\text{п}}$ между СП и ЦРЛС, значение нормированной диаграммы направленности (ДН) антенны СП в направлении на ЦРЛС $F_{\text{п}}^2(\theta_{\text{с}}; \alpha_{\text{с}})$, значение нормированной ДН антенны РЛС в направлении на СП $F_{\text{с}}^2(\theta_{\text{п}}; \alpha_{\text{п}})$.

Эффективная площадь отражения (ЭПО) цели $\sigma_{\text{ц}}$ является мерой свойства целей отражать электромагнитную волну (ЭПО цели не является характеристикой ЦРЛС, она определяет энергию отраженного сигнала на входе приемника ЦРЛС).

Взаимное расположение ЦРЛС, станции помех и цели представлено на рис. 1.

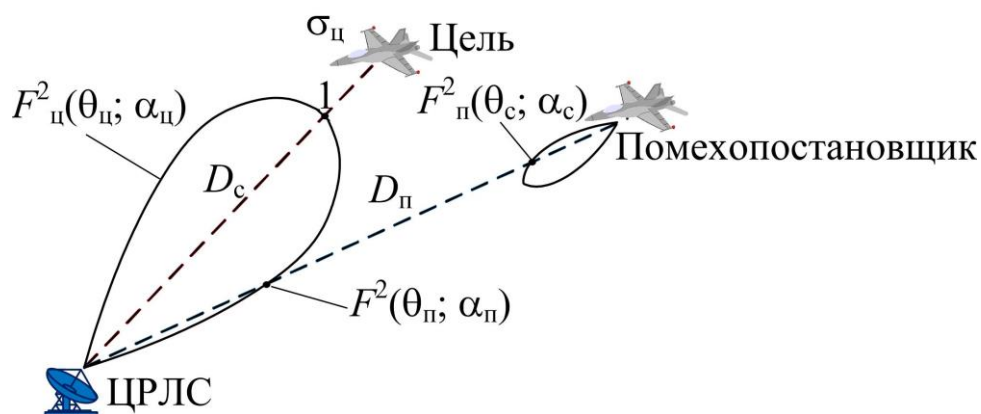


Рис. 1. Взаимное расположение ЦРЛС, станции помех и цели

Энергетическое условие эффективности при создании активных помех для ЦРЛС [3, 4]:

$$k \geq k_{\pi} = \left(\frac{P_{\pi}}{P_c} \right)_{\text{вх}} \geq \left(\frac{P_{\pi}}{P_c} \right)_{\text{вх.мин}}, \quad (1)$$

где k – отношение мощности помехи P_{π} к мощности отраженного сигнала P_c на входе приемника РЛС; k_{π} – минимальное отношение мощности помехи P_{π} к мощности отраженного сигнала P_c на входе приемника РЛС, при котором достигается требуемая степень подавляемой РЛС (коэффициент подавления).

Требуемая степень подавления РЛС достигается, если вероятность правильного обнаружения РЛС до заданного уровня ($P_{\text{обн.зад}} = 0,2 \dots 0,5$) при фиксированном уровне вероятности ложной тревоги РЛС ($P_{\text{л.т.зад}} = 10^{-3} \dots 10^{-5}$).

Математическая модель помехи на входе приемника ЦРЛС [2]

$$P_{\pi. \text{вх}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{P_{\pi} G_{\pi} F_{\pi}^2(\alpha_c; \theta_c) G_c F_c^2(\alpha_{\pi}; \theta_{\pi}) \gamma_{\pi} \Delta f_{\text{пр}}}{4\pi D_{\pi}^2 \Delta F_{\pi}}. \quad (2)$$

Математическая модель отраженного сигнала от цели на входе приемника ЦРЛС [2]

$$P_{c. \text{вх}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{P_c G_c^2 \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi D_c^2)^2}. \quad (3)$$

С учетом выражений (1) – (3) определим коэффициент подавления

$$k_{\pi} = \frac{P_{\pi} G_{\pi} \Delta f_{\text{пр}}}{P_c G_c \Delta F_{\pi}} \frac{D_c^4}{D_{\pi}^2} \frac{4\pi \gamma_{\pi} F_{\pi}^2(\alpha_c; \theta_c) F_c^2(\alpha_{\pi}; \theta_{\pi})}{\sigma_{\text{ц}}}. \quad (4)$$

Из выражения (4) находим минимальную дальность обнаружения ЦРЛС целей $D_{\text{о.мин}}$

$$D_{\text{о.мин}} = \sqrt[4]{\frac{P_c G_c \Delta F_{\pi}}{P_{\pi} G_{\pi} \Delta f_{\text{пр}}}} D_{\pi}^2 \frac{k_{\pi} \sigma_{\text{ц}}}{4\pi \gamma_{\pi} F_{\pi}^2(\alpha_c; \theta_c) F_c^2(\alpha_{\pi}; \theta_{\pi})}. \quad (5)$$

На рисунке 2 демонстрируется влияние расстояния D_{π} между СП и ЦРЛС на минимальную дальность обнаружения $D_{\text{о.мин}}$ ЦРЛС при различных значениях коэффициента подавления k_{π} .

Из рисунка 2 видно, что увеличение расстояния D_{π} между СП и ЦРЛС увеличивает минимальную дальность обнаружения $D_{\text{о.мин}}$ пропорционально $\sqrt{D_{\pi}}$. Если увеличивать коэффициент подавления, то минимальная дальность обнаружения увеличивается. Это связано с тем, что увеличение коэффициента подавления ЦРЛС связано с более эффективным методом по ослаблению помехи по сравнению с отраженным сигналом от цели.

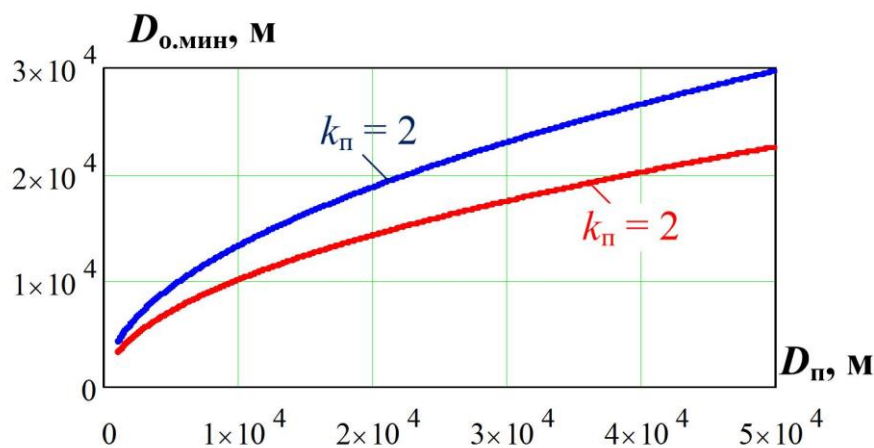


Рис. 2. Зависимость минимальной дальности обнаружения от изменения D_n при различных коэффициентах подавления k_n

На рисунке 3 показано влияние расстояния D_n на $D_{o.min}$ при различных коэффициентах усиления антенны G_c ЦРЛС.

Из рисунка 3 видно, что при увеличении коэффициентов усиления антенны ЦРЛС, дальность обнаружения ЦРЛС увеличивается. Это следует из теории антенн, чем уже диаграмма направленности (главный лепесток излучения), тем выше коэффициент усиления антенны в заданном направлении (увеличивается плотность потока энергии в направлении цели, и в этом случае отраженный сигнал по мощности от цели увеличивается).

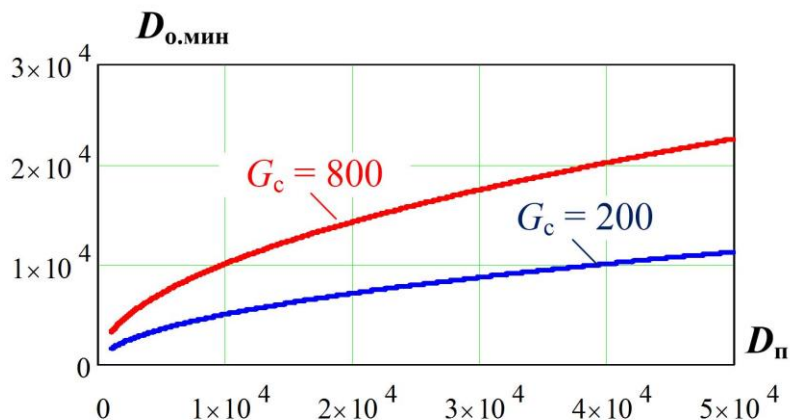


Рис. 3. Зависимость минимальной дальности обнаружения от изменения D_n при различных коэффициентах усиления антенны G_c ЦРЛС

На рисунке 4 показано влияние расстояния D_n на $D_{o.min}$ при различных полосах пропускания приемника $\Delta f_{пр}$ ЦРЛС.

Из рисунка 4 видно, что при уменьшении полосы пропускания приемника ЦРЛС, дальность обнаружения ЦРЛС увеличивается. Это обусловлено уменьшением уровня шума и помех, что повышает отношение сигнал/помеха. Увели-

чение отношения сигнал/помеха на входе приемника увеличивает дальность обнаружения ЦРЛС.

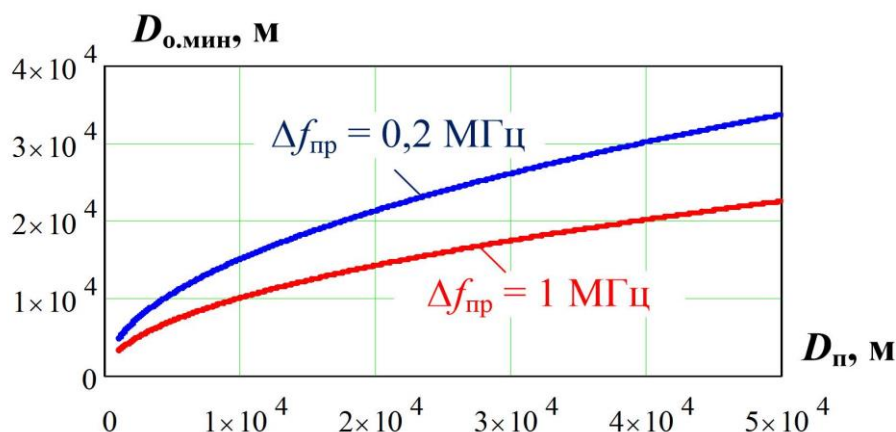


Рис. 4. Зависимость минимальной дальности обнаружения от изменения D_n при различных полосах пропускания приемника $\Delta f_{\text{пр}}$ ЦРЛС

Таким образом, результаты исследования показали, что для увеличения дальности обнаружения ЦРЛС в условиях помех, необходимо улучшать параметры энергетического потенциала. Для повышения энергетического потенциала ЦРЛС можно использовать следующие методы: увеличение длины волны зондирующего сигнала, использование сложных сигналов с повышенной энергией и применение специальных антенных систем для увеличения коэффициента усиления, алгоритмы обработки принимаемых сигналов для повышения коэффициента подавления.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. Пудовкин, А. П. Электромагнитная совместимость и помехозащищенность РЭС [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, Т. И. Чернышова. – Тамбов : ТГТУ, 2013. – 92 с.
3. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.
4. Панасюк, Ю. Н. Современные средства радиосвязи : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 348 с.

ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННЫХ, ТЕМПЕРАТУРНЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

К. А. Корабельников, В. А. Знаменский

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: kirill.06korabelnikov@gmail.com)*

Современная промышленность предъявляет повышенные требования к надежности и бесперебойности работы электроприводов. Двигатели постоянного тока, несмотря на некоторые ограничения в применении, продолжают использоваться в специализированных механизмах, требующих плавного регулирования скорости и высокого пускового момента. Раннее выявление дефектов в таких двигателях является критически важной задачей для предотвращения аварийных ситуаций и снижения эксплуатационных издержек.

Современные методы диагностики, основанные на единичных параметрах, часто не обеспечивают достаточной достоверности при идентификации начальных стадий неисправностей. Комплексный подход, объединяющий несколько диагностических методов, позволяет значительно повысить точность определения технического состояния оборудования.

Целью исследования является разработка методики комплексной диагностики неисправностей двигателя постоянного тока на основе синтеза вибрационных, температурных и акустических параметров с применением нейросетевых технологий для автоматизации процесса идентификации дефектов.

Для реализации комплексной диагностики двигателя постоянного тока применяется система, включающая следующие компоненты. Вибрационный мониторинг осуществляется с помощью пьезоэлектрических акселерометров типа PCB Piezotronics 352C33 с диапазоном измерений 0...10 кГц и чувствительностью 100 мВ/г. Температурный контроль обеспечивается платиновыми термосопротивлениями PT100 с классом точности А ($\pm 0,15$ °С) и диапазоном измерений $-50...+250$ °С. Для регистрации акустической эмиссии используются широкополосные датчики PAC WSA с рабочим диапазоном 20...400 кГц.

Оптимальные места установки датчиков определены конструктивными особенностями двигателя постоянного тока. Вибрационные датчики монтируются на подшипниковые щиты со стороны привода и со стороны коллектора, а также на корпус двигателя в точке, наиболее близкой к центру масс. Температурные датчики устанавливаются непосредственно на обмотки якоря и статора,

на коллектор и на внешние поверхности подшипниковых узлов. Датчики акустической эмиссии размещаются в непосредственной близости от коллекторного узла и в зонах подшипниковых опор.

Нейронная сеть анализирует комплексные паттерны данных по следующим параметрам: среднеквадратичное значение виброскорости в диапазонах низких (10...100 Гц) и высоких (1...5 кГц) частот, температурные градиенты в критических точках, спектральные характеристики акустической эмиссии и их корреляционные зависимости. На выходе система формирует вероятностную оценку технического состояния двигателя и идентифицирует конкретный тип неисправности при превышении порогового значения вероятности 0,85.

В результате разработки методики комплексной диагностики двигателя постоянного тока получены диагностические нормативы, отражающие характерные отклонения параметров при различных типах неисправностей. В таблице 1 представлены сравнительные показатели исправного двигателя и двигателя с различными дефектами.

1. Сравнительные диагностические показатели двигателя постоянного тока при различных неисправностях

Параметр/Состояние	Износ щеток	Межвитковое замыкание	Дисбаланс ротора	Повреждение подшипников
Виброскорость на подшипниковом щите (мм/с)	1,5...2,5	1,4...2,2	3,5...6,8	2,8...5,4
Температура коллектора (°C)	85...110	60...75	60...70	65...80
Температура обмотки якоря (°C)	75...85	95...120	75...85	75...90
Амплитуда акустической эмиссии на коллекторе (мВ)	65...120	30...45	25...40	40...60
Частота преобладающих колебаний (Гц)	200...500	50...150	1 × обороты	250...600
Коэффициент пульсации тока якоря (%)	15...30	20...40	5...8	8...15

Из данных таблицы видно, что каждый тип неисправности имеет характерный набор отклонений диагностических параметров. Нейронная сеть, обученная на подобных данных, позволяет автоматизировать процесс диагностики,

снижая субъективность оценок и повышая скорость принятия решений о необходимом объеме ремонтных работ.

Разработанная методика комплексной диагностики демонстрирует высокую эффективность в выявлении различных типов неисправностей двигателей постоянного тока. Комбинация вибрационного, температурного и акустического методов позволяет компенсировать недостатки каждого отдельного метода и получить более полную картину технического состояния оборудования.

Практическая ценность разработанного подхода заключается в возможности перехода от планово-предупредительного ремонта к предиктивной стратегии технического обслуживания, что позволяет снизить эксплуатационные расходы на 15...20% за счет оптимизации графиков ремонтов и предотвращения аварийных остановов оборудования.

В ходе исследования разработана эффективная методика комплексной диагностики неисправностей двигателей постоянного тока, основанная на синтезе вибрационных, температурных и акустических параметров. Определены оптимальные места установки датчиков и сформированы диагностические нормативы для различных типов отказов. Разработанный алгоритм обработки данных с использованием нейронной сети позволяет автоматизировать процесс идентификации неисправностей с высокой достоверностью. Полученные результаты подтверждают возможность применения комплексного подхода для повышения надежности и эксплуатационного ресурса электродвигателей постоянного тока. В перспективе планируется расширение функционала системы за счет интеграции дополнительных диагностических параметров, включая анализ качества электроэнергии и параметров магнитного поля, а также разработки мобильного приложения для оперативного доступа к диагностической информации.

Библиографический список

1. Копылов, И. П. Электрические машины / И. П. Копылов. – М. : Энергия, 2017. – 544 с.
2. Гуляев, А. В. Вибрационная диагностика электрических машин / А. В. Гуляев. – СПб. : Элмор, 2021. – 320 с.

ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

А. Е. Кусенов, М. А. Сапаргалиев

*Западно-Казахстанский аграрно-технический университет
имени Жангир хана, Уральск, Казахстан
(e-mail: marlen.armanuly@mail.ru)*

Современная электроэнергетика переживает масштабные изменения, связанные с внедрением цифровых решений и автоматизацией всех этапов производственного цикла.

Переход на интеллектуальные системы управления, контроля и анализа данных открывает новые возможности для повышения эффективности, надежности и экологичности энергетических предприятий.

Цифровые методы позволяют не только совершенствовать технологические процессы, но и создавать адаптивные энергетические системы, способные реагировать на внешние факторы в реальном времени.

Применение цифровых технологий в мониторинге производственных процессов. Одним из важнейших направлений цифровизации электроэнергетики является внедрение интеллектуальных систем мониторинга.

Такие решения обеспечивают непрерывный контроль за состоянием оборудования, параметрами работы агрегатов и качеством вырабатываемой энергии.

Использование цифровых сенсоров и автоматизированных систем сбора данных позволяет выявлять скрытые дефекты, прогнозировать износ узлов и предотвращать аварийные ситуации.

Благодаря аналитическим платформам энергетические предприятия могут оперативно реагировать на изменения технологических параметров, а визуализация данных в виде графиков и диаграмм упрощает оценку динамики производственных показателей.

Это обеспечивает переход от реактивного обслуживания к предиктивной модели, когда решение принимается заранее на основе анализа больших массивов данных.

Интернет вещей (IoT) в оптимизации энергетических производств

Технология Интернета вещей занимает ключевое место в цифровой трансформации энергетики.

Подключенные устройства и интеллектуальные датчики формируют единую сеть, которая собирает, обрабатывает и анализирует информацию в режиме

реального времени. Это позволяет оптимизировать расход топлива, снижать потери энергии, предотвращать перегрузки и поддерживать стабильность работы оборудования.

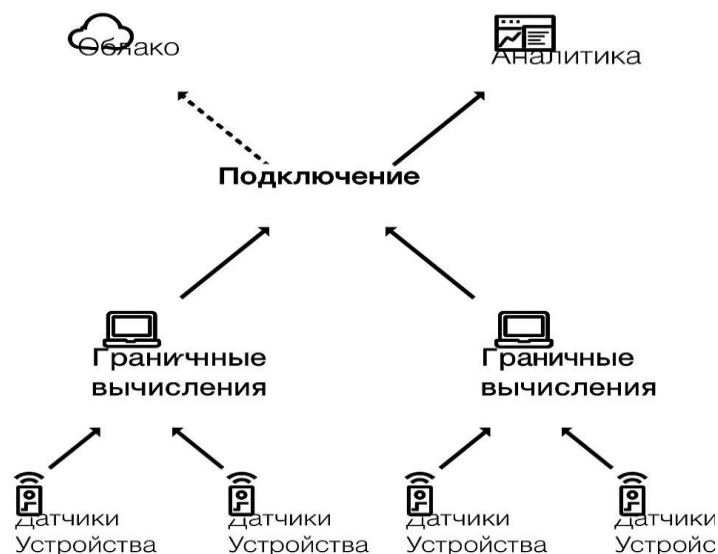


Рис. 1. Принцип работы системы IoT (Интернет вещей)

Графические данные демонстрируют:

- снижение энергопотребления после внедрения IoT-решений;
- рост производительности и стабильности систем электроснабжения.

Таким образом, IoT не только улучшает экономические показатели предприятий, но и способствует повышению энергетической устойчивости и экологической безопасности.

Роль цифровизации в управлении сетями электроснабжения

Цифровые методы управления электрическими сетями позволяют перейти от статических систем к адаптивным, саморегулирующимся структурам.

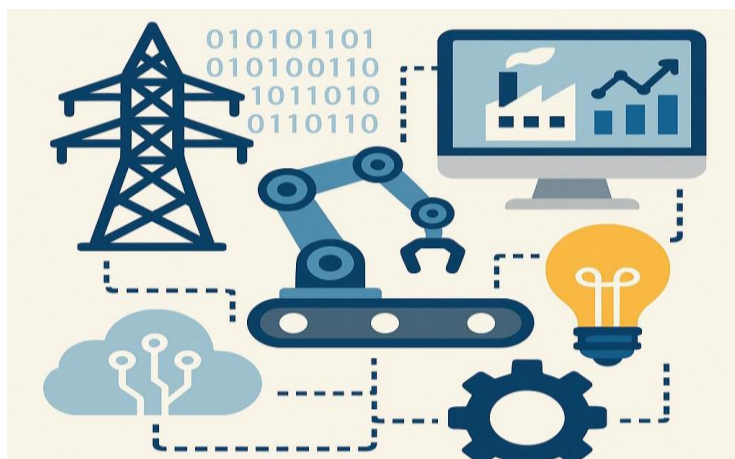


Рис. 2. Внедрение цифровых методов и технологий в производственных процессах электроэнергетики

С их помощью возможно в реальном времени контролировать состояние линий, балансировать нагрузку и автоматически перераспределять энергию между регионами.

Использование цифровых систем управления повышает прозрачность и надежность сетей, а также снижает риск технологических сбоев.

Современные платформы прогнозирования позволяют заранее выявлять угрозы, например, перегрузку трансформаторов или скачки напряжения, и устранять их до возникновения инцидентов. Внедрение искусственного интеллекта в эти процессы дает возможность предсказывать сценарии аварий и снижать их вероятность на десятки процентов.

Развитие цифровых технологий сделало возможным обработку больших массивов данных, поступающих с энергетических объектов.

С помощью алгоритмов машинного обучения формируются точные прогнозы энергопотребления, что позволяет планировать производство, закупки топлива и ремонтные работы с максимальной эффективностью.

Примером может служить применение аналитических платформ, которые анализируют показатели энергосистемы и прогнозируют пики нагрузки. Это дает возможность оптимально распределять ресурсы и предотвращать избыточные затраты. Благодаря таким решениям предприятия переходят от традиционных методов анализа к предиктивной аналитике, которая повышает управляемость всей энергетической инфраструктуры.

Безопасность и защита данных

Одним из важнейших факторов успешной цифровизации является кибербезопасность. С ростом объемов передаваемой информации возрастает риск несанкционированного доступа и кибератак.

Для защиты данных применяются криптографические методы, системы многофакторной аутентификации, а также интеллектуальные средства мониторинга сетевой активности. Надежная цифровая инфраструктура включает резервное копирование, изоляцию критически важных узлов и регулярные аудиты безопасности. Кроме того, большое внимание уделяется обучению персонала – сотрудники должны владеть основами цифровой гигиены и понимать риски, связанные с обработкой информации.

Комплексный подход к безопасности позволяет минимизировать угрозы и обеспечить стабильную работу энергетических систем.

Цифровизация производственных процессов в электроэнергетике – это стратегический путь к созданию интеллектуальных, устойчивых и безопасных энергосистем. Интеграция IoT, искусственного интеллекта, аналитики данных и

автоматизированных систем мониторинга обеспечивает повышение производительности, снижение затрат и улучшение экологических показателей.

Будущее энергетики – за предприятиями, которые уже сегодня делают ставку на цифровые технологии, превращая данные в источник конкурентного преимущества и инновационного развития.

Библиографический список

1. Максимцев, И. А. Современные направления цифровой трансформации в мировой энергетике / И. А. Максимцев, К. Б. Костин, О. А. Онуфриева // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – Т. 13, № 2. – С. 1087 – 1104.
2. Горбачева, А. А. Цифровизация энергетической отрасли: ключевые тенденции и влияние на экономику России / А. А. Горбачева, А. Е. Кормишин // Экономические и управленческие науки. – 2023. – № 4. – С. 55 – 63.
3. Цедрик, А. В. Цифровая трансформация энергетического комплекса: особенности и перспективы развития / А. В. Цедрик // Энергетическая политика и инновации. – 2022. – № 3. – С. 42 – 50.

ОБЪЕМНЫЙ ЗАРЯД В ДИЭЛЕКТРИКЕ МДП-СТРУКТУРЫ ЦИФРОВЫХ ПРИБОРОВ

М. В. Макаrchук, И. В. Шашков, А. П. Королев

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: energ-lab@yandex.ru)*

В работе рассматриваются возможности образования зарядов в диэлектрике структуры металл–диэлектрик–полупроводник. Описаны различия влияния зарядов на выходные характеристики приборов в зависимости от размеров слоев МДП-структур. Исследовано расположение поля и потенциала в МДП-структуре в зависимости положения заряда. Приведена зависимость концентрации заряда на ловушках в диэлектрике. Описаны механизмы прохождения зарядов через нитрид и оксид кремния.

При использовании полевых структур металл–диэлектрик–полупроводник в электронных и микроэлектронных устройствах может быть неважным учет заряда в диэлектрике. Если это дискретные полупроводниковые приборы большого размера с немалыми значениями электрических номиналов тока и

напряжения, заряд в диэлектрике имеет очень малую долю заряда в подложке под диэлектриком. Этот потенциал в оксиде кремния или в нитриде не влияет на выходные характеристики структуры. В микро- и наноразмерных слоях ситуация с учетом заряда в диэлектрике полевой структуры сильно может поменяться. В приборах малых размеров токи и потенциалы малы и заряд в диэлектрике, не участвующий в работе элемента, может влиять на выходные характеристики, имея достаточно большую долю в распределении заряда по структуре металл–диэлектрик–полупроводник.

Отрицательная роль объемного заряда состоит в уходе пороговых напряжений

$$V_g = -Q_{ox}/C_{ox} + \dots$$

В этом же его и положительная роль: инжектированный и захваченный на ловушках заряд – это информационный заряд запоминающего устройства (ЗУ). Пусть Q – полный заряд в диэлектрике, Q_S – наведенный заряд в полупроводнике, Q_{Me} – наведенный заряд в металле. Очевидно, что полный заряд в диэлектрике по модулю равен сумме зарядов в полупроводнике и в металле $Q = Q_S + Q_{Me}$ в силу электронейтральности всей системы. Расположение зарядов проиллюстрировано на рис. 1. Если соединить затвор с подложкой накоротко, то их потенциалы сравниваются $V_S = V_{Me}$.

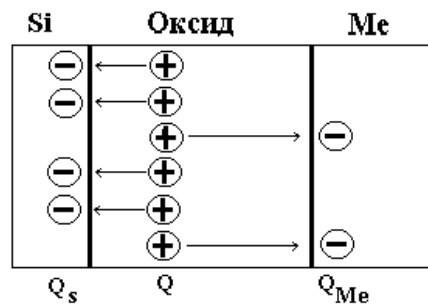


Рис. 1. Схема расположения зарядов

Зависимость потенциала, образованного зарядами в диэлектрике от расстояния от поверхности, приведена на рис. 2.

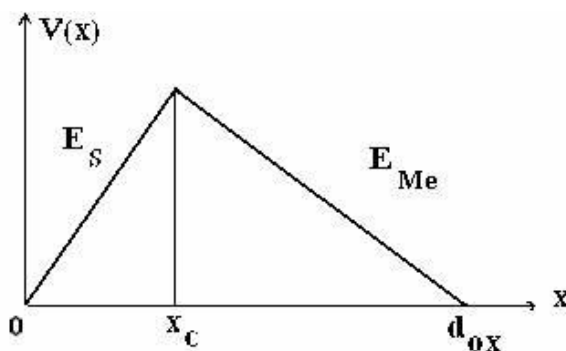


Рис. 2. Расположение поля и потенциала в МДП-структуре в зависимости положения заряда

Потенциалы в металле и в полупроводнике описываются зависимостями:

$$V_{Me} = E_{Me}(d_{ox} - x_c)V_S = E_S x_c.$$

Здесь x_c – центр тяжести заряда. $V_S = V_{Me}$

$$E_S = E_{Me} \left(\frac{d_{ox} - x_c}{x_c} \right), \quad E = \frac{Q}{\epsilon \epsilon_0}.$$

Напряжение плоских зон:

$$V_{FB} = \frac{Q}{C_{ox}} \left(1 - \frac{x_c}{d_{ox}} \right), \quad Q_{Me} = Q \left(\frac{x_c}{d_{ox}} \right).$$

Значение концентрации заряда на ловушках N_t можно определить из уравнения Пуассона:

$$\frac{d^2 V_{FB}}{dx^2} = -\frac{qN_t}{\epsilon \epsilon_0} \quad \text{или} \quad N_t = -\frac{\epsilon \epsilon_0}{q} \frac{d^2 V_{FB}}{dx^2},$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость; q – элементарный заряд; $\frac{d^2 V_{FB}}{dx^2}$ – вторая производная V_{FB} по толщине диэлектрика.

Проводимость и захват заряда в структурах металл–нитрид кремния–оксид кремния–полупроводник (МНОП).

При воздействии на МНОП-структуру достаточно сильного поля за счет разных значений диэлектрических постоянных Si_3N_4 и SiO_2 и различных зависимостей проводимости пленок от поля, в МНОП-структуре протекает избыточный неравновесный ток, пропорциональный разности токов, проходящих через оксид и нитрид. В процессе захвата заряда в нитриде эта разность токов уменьшается. Встроенный заряд изменяет напряженности поля в диэлектриках так, что система стремится к стационарному состоянию, когда ток через нее становится постоянным.

Проводимость тонких слоев SiO_2 при больших полях определяют эффекты туннелирования электронов (дырок) из зоны проводимости (валентной) кремниевой подложки в зону проводимости (валентную) оксида кремния, в соответствующие зоны Si_3N_4 и на локализованные состояния в нитриде вблизи межфазной границы SiO_2 – Si_3N_4 . В зависимости от величины и полярности приложенного к затвору напряжения и толщин диэлектриков могут реализовываться различные из перечисленных механизмов. Ток туннельной инжекции имеет сильную зависимость от поля.

При повышенных температурах [1, 2] и невысоком барьере может наблюдаться термоэлектронная эмиссия, когда носители заряда проходят над барьером. Соответствующие токи инжекции получили название токов Шоттки. Возможны также варианты, когда работают оба перечисленных механизма: электрон получает некоторую тепловую энергию, меньшую высоты барьера ϕ_0 , и затем туннелирует сквозь барьер.

При комнатных температурах в МДП-структурах с оксидом кремния преобладает туннельный механизм инжекции [3, 4], поскольку барьер Si–SiO₂ достаточно велик (3,25 эВ). Обычно в структурах на кремнии наблюдается только инжекция электронов, так как высота барьера для дырок существенно выше.

Библиографический список

1. Воеводкин, С. А. Моделирование процесса свободной конвекции для определения коэффициента теплоотдачи горизонтальной трубы / С. А. Воеводкин, А. А. Дурнов, А. А. Балашов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 16–17 ноября 2021 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – С. 97–98.
2. Дурнов, А. А. Моделирование процесса теплопроводности для определения теплофизических свойств твердых тел / А. А. Дурнов, С. А. Воеводкин, А. А. Балашов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 16–17 ноября 2021 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – С. 99–100.
3. Polyaniline and its composites with carbon nanomaterials: preparation, properties, application / I. V. Gutnik, T. P. Dyachkova, E. A. Burakova, et al. // Journal of Advanced Materials and Technologies. – 2024. – V. 9, No. 2. – P. 132 – 151.
4. One-step synthesis of composite materials based on polytetrafluoroethylene microgranules and Co@Fe₂O₃-FeF₂ nanoparticles / G. Y. Yurkov, A. V. Kozinkin, O. V., Shvachko, et al. // Journal of Applied Polymer Science. – 2022. – No. 139(37).

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЗАВИСИМОСТИ ПОРОГОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ МДП-СТРУКТУРЫ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

М. В. Макаrchук, И. В. Шашков, А. П. Королев

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: energ-lab@yandex.ru)*

Полупроводниковые приборы широко применяются для измерения температуры и инфракрасного излучения. Например, диоды используются при обратном включении. В этом случае обратный ток через р-п-переход резко возрастает с ростом температуры, сопротивление уменьшается. Зависимость сопротивления перехода от температуры диода Д7Г приведена на рис. 1.

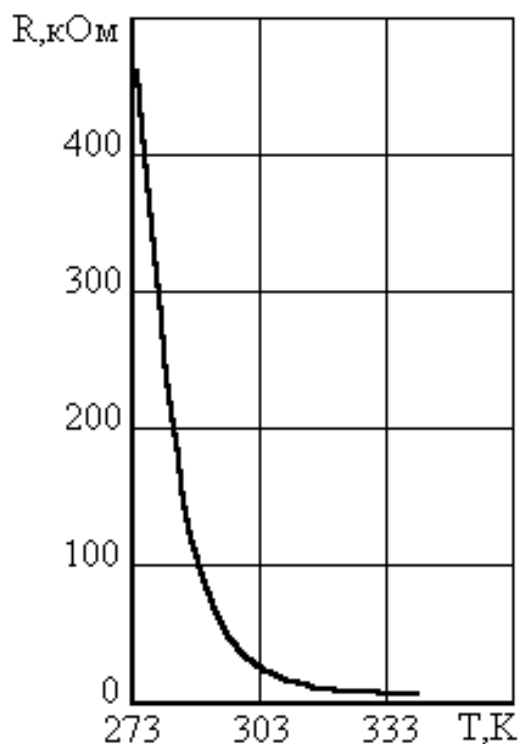


Рис. 1. Температурная характеристика диода Д7Г

Из рисунка видно, что сопротивление резко падает с ростом температуры [1, 2], наблюдается высокая чувствительность. Но диапазон температур, в котором сопротивление резко уменьшается, очень мал. Он составляет около тридцати градусов. На рисунке 2 приведены зависимости обратного тока от температуры.

Здесь виден аналогичный рост тока от температуры, но линейный участок также мал. Таким образом, можно сделать вывод, что диоды имеют большую чувствительность к температуре, но работают в узком диапазоне нагревания.

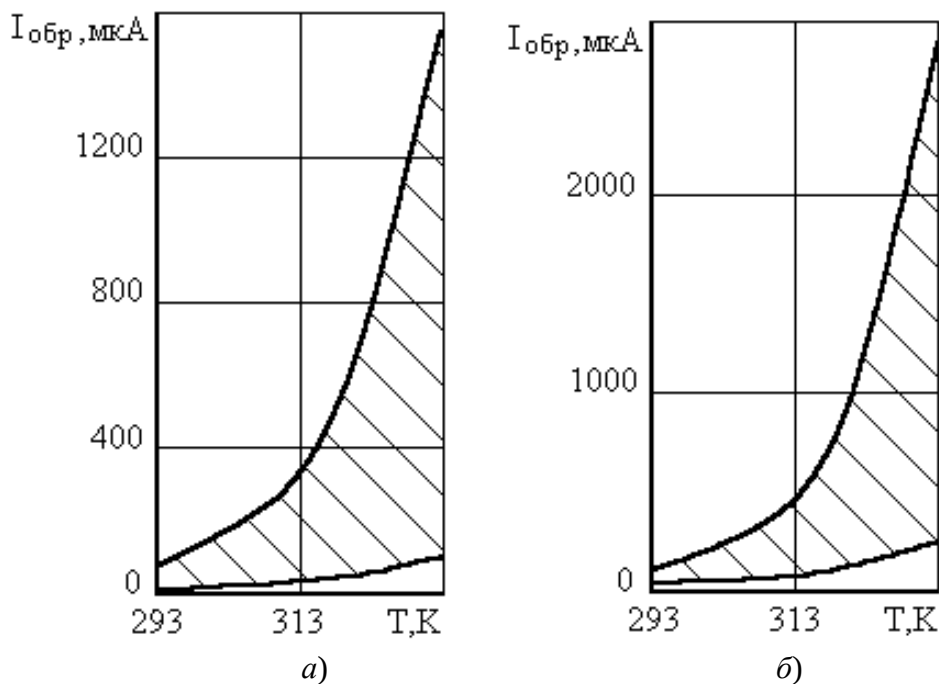


Рис. 2. Температурные характеристики:
а – диодов серии Д7; *б* – диодов типа Д302

В отличие от диодов, другие полупроводниковые приборы, например, транзисторы, не подходят для измерения теплофизических характеристик среды и материалов.

Транзистор должен быть стабилен по своим выходным параметрам при изменении температуры, что позволяет его использовать в электронных схемах. Рассмотрим полевой транзистор, так как именно такой транзистор кажется наиболее подходящим для измерения температуры. С ростом температуры происходит термогенерация носителей заряда в подложке. Казалось бы, этот процесс должен увеличивать значение электрического тока в канале. Но транзистор работает в режиме инверсии зарядов под затвором. Плотность зарядов максимальна при достижении порогового напряжения на металле. Транзистор открыт только в этом режиме, и ток имеет одно значение при пороговом напряжении.

От температуры зависит и пороговое напряжение, которое описывается выражением

$$V_T = 2\psi_B + \frac{\sqrt{2\varepsilon_0\varepsilon_{Si}qN_A(2\psi_B)}}{C_i},$$

где ψ_B – расстояние между уровнем Ферми и собственным уровнем в полупроводнике; N_A – концентрация акцепторной примеси в полупроводнике; q – элементарный заряд; C_i – емкость диэлектрика.

Это выражение записывается в следующем виде:

$$V_T = \frac{2kT}{q} \ln \frac{N_A}{n_i} + \sqrt{\frac{4\epsilon_0\epsilon_{Si}qN_A \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A}{n_i}}{\frac{\epsilon_0\epsilon_{SiO_2}}{d}}},$$

где d – толщина диэлектрика.

Зависимость порогового напряжения от температуры для полевого транзистора приведена на рис. 3.

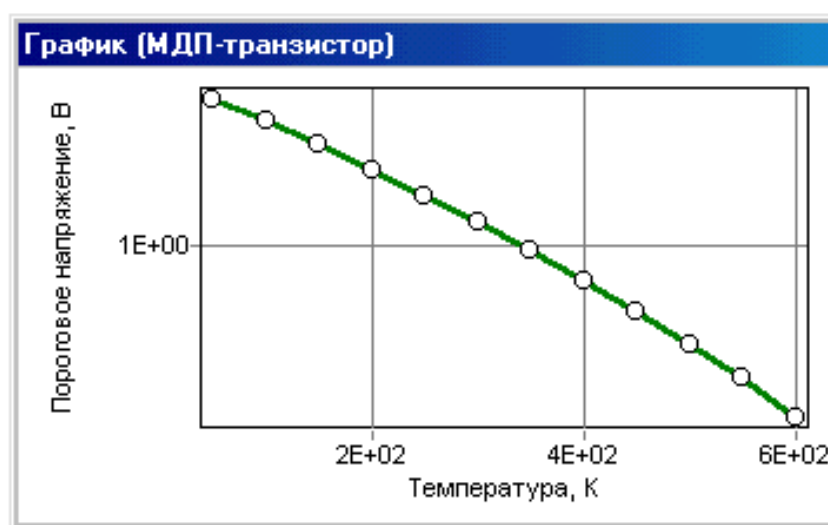


Рис. 3. Температурная зависимость порогового напряжения МДП-транзистора

Библиографический список

5. Воеводкин, С. А. Моделирование процесса свободной конвекции для определения коэффициента теплоотдачи горизонтальной трубы / С. А. Воеводкин, А. А. Дурнов, А. А. Балашов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 16–17 ноября 2021 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – С. 97–98.

1. Дурнов, А. А. Моделирование процесса теплопроводности для определения теплофизических свойств твердых тел / А. А. Дурнов, С. А. Воеводкин, А. А. Балашов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 16–17 ноября 2021 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – С. 99–100.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ЖЕЛЕЗО–КАРБИД КРЕМНИЯ ДЛЯ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ЦИФРОВОГО ПРИБОРА

М. В. Макаrchук, И. В. Шашков, А. П. Королев

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: energ-lab@yandex.ru)*

Как известно, одним из полупроводниковых материалов является химическое соединение карбид кремния. Наряду с достойными электрофизическими свойствами полупроводника, карбид кремния имеет ценные механические свойства такие, как прочность, износоустойчивость при трении, надежность. Такие характеристики позволяют использовать полупроводниковые элементы из карбида кремния при осложненных условиях, например, при изнашивающих нагрузках [1, 2]. Как и все полупроводники, исследуемый материал имеет отрицательный температурный коэффициент сопротивления. Этот факт позволяет применять его для производства термочувствительного элемента. Карбид кремния в основном производится в виде порошка, следовательно, изготавливать изделия из него приходится по порошковой технологии. Но после прессования порошка карбида прессовка рассыпается. Для скрепления частиц был применен порошок железа. Железо имеет высокую пластичность и служит связывающим веществом при смешивании порошка карбида кремния с порошком железа. При смешивании двух порошков важна их пропорция. Количество железа в смеси должно быть таким, чтобы оно после прессования не образовывало непрерывные дорожки через всю прессовку, по которым будет протекать ток как по проводнику. В этом случае температурный коэффициент сопротивления не будет отрицательным, и материал не окажется пригодным для производства термочувствительного элемента. Железо должно представлять собой островки, скрепляющие частицы карбида кремния.

Изготовление композитного материала железо–карбид кремния состоит из трех этапов: подготовка порошка, прессование, спекание. На первом этапе порошки железа и карбида кремния просеиваются через одно и то же сито с размером ячейки 315 мкм. Это позволяет добиться схожих фракций [3, 4]. Затем взвешиваем нужное количество каждого порошка, определенное ранее экспериментально. Начинается второй этап. Взвешенные порошки перемешиваем и засыпаем в пресс-форму, стараясь добиться ровного распределения порошка. Далее прессуем с нагрузкой 16 тонн. Этого достаточно, чтобы полу-

чить готовый к спеканию образец. На третьем этапе спекаем образец в печи при температуре 1100 °С, ориентируясь при выборе температуры на материал с наименьшей температурой плавления, т.е. на железо. После спекания образцы остывали на воздухе до комнатной температуры.

Далее у полученных образцов измерили вольтамперные характеристики, пять раз для каждого. Для этого собрали стенд, состоящий из печи, термометра и омметра, к которому подведены контакты от образца. Измеряли сопротивление с ростом температуры. Все полученные результаты имели схожую форму. Усредненный график зависимости удельного сопротивления от температуры представлен на рис. 1.

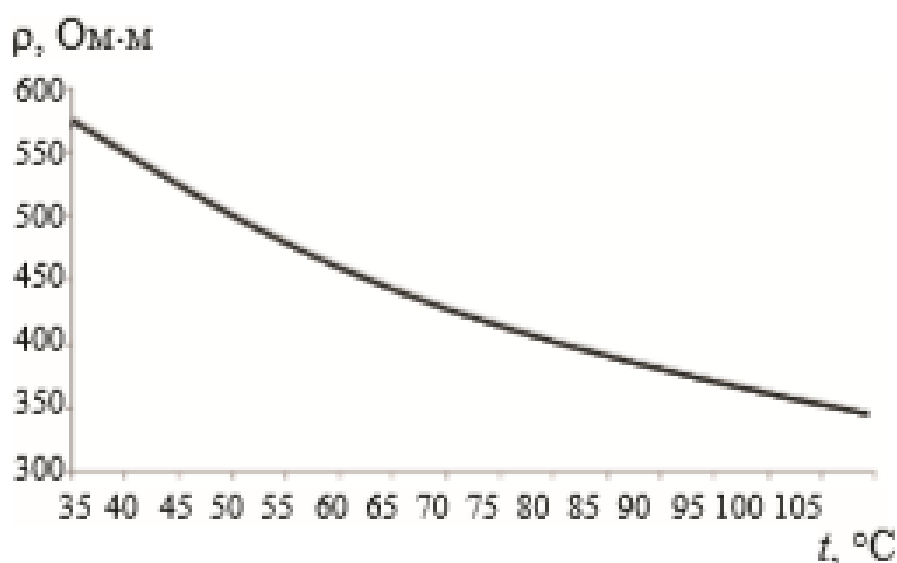


Рис. 1. Температурная зависимость удельного сопротивления

В результате проведенной работы была отлажена технология получения порошкового композиционного материала с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления. Зависимость удельного сопротивления композита от температуры несильно нелинейна, что дает преимущество для использования материала при изготовлении первичных измерительных преобразователей температуры.

Библиографический список

1. Информационно-измерительная система контроля надежности тепловых сетей / А. А. Балашов, Д. В. Корпусов, М. С. Мещерякова, Ю. С. Корябкин // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. тр. IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Тамбов, 07 мая 2024 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2024. – С. 149–150.

2. Информационно-измерительная система контроля протечек в колодцах водопровода / А. А. Балашов, Т. А. Листопадская, Н. Н. Кожухов, А. А. Махоренко // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. тр. Восьмой Всерос. молодеж. науч. конф., Тамбов, 10 мая 2023 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – С. 152–153.

3. Polyaniline and its composites with carbon nanomaterials: preparation, properties, application / I. V. Gutnik, T. P. Dyachkova, E. A. Burakova, et al. // Journal of Advanced Materials and Technologies. – 2024. – V. 9, No. 2. – P. 132 – 151.

4. One-step synthesis of composite materials based on polytetrafluoroethylene microgranules and Co@Fe₂O₃-FeF₂ nanoparticles / G. Yu. Yurkov, A. V. Kozinkin, O. V. Shvachko, et al. // Journal of Applied Polymer Science. – 2022. – No. 139(37).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

А. С. Мартынов, Е. П. Зацепин

*Липецкий государственный технический институт, Липецк, Россия
(e-mail: chelovek.sansanych@gmail.com), (e-mail: ezats@mail.ru)*

Настоящее исследование посвящено определению состояния кабельных линий на основе статистических данных, структурной основой которых является совокупность взаимосвязанных математических элементов: переменных, числовых параметров и функциональных зависимостей. Данное определение обеспечивает корректное описание ключевых свойств и режимов функционирования исследуемого объекта. Его создание базируется на интеграции знаний из смежных научных дисциплин, что позволяет учесть комплекс факторов, воздействующих на состояние изоляции кабельных линий.

Для оценки состояния изоляции кабельных линий в данном исследовании применяется метод нечеткого моделирования. В качестве входных параметров модели рассматриваются следующие факторы:

- температурный режим изоляции в рабочих условиях;
- нагрев изоляции в аварийных режимах, вызванных токами короткого замыкания;
- риск ускоренного старения изоляции, связанный с нерациональным расположением кабеля в инфраструктуре;

- вероятность механических повреждений трассы при проведении строительно-земляных работ в охранной зоне;
- данные замеров сопротивления изоляции;
- интенсивность частичных разрядов (при доступности измерительных данных);
- подверженность прямолинейных участков трассы деформациям грунта;
- устойчивость изогнутых сегментов кабеля к смещению грунта;
- пропорция между длинами криволинейных и прямолинейных сегментов;
- квалификация персонала, занятого на этапе прокладки кабеля;
- уровень подготовки специалистов, обеспечивающих техническое обслуживание;
- профессиональные компетенции сотрудников, выполняющих ремонтные работы.

Для анализа многофакторного взаимодействия в системе предлагается использовать иерархическую структуру логических выводов. Данная структура, реализованная в виде графа, классифицирует вершины на две категории: исходные факторы и результирующие индикаторы. Наиболее адекватным инструментом для моделирования многомерных зависимостей «вход–выход» в таких условиях демонстрируют себя иерархические нечеткие системы. Их архитектурное преимущество заключается в каскадной организации, где выходные параметры одних модулей знаний поступают на вход последующих.

Такой подход эффективно решает проблему высокой размерности задачи, позволяя с максимальной точностью аппроксимировать сложные взаимосвязи, используя при этом компактную базу правил. В рамках исследования все учитываемые параметры были сгруппированы в три тематических кластера: эксплуатационные, проектные и субъективные (обусловленные человеческим фактором). Таблица 1 детализирует распределение этих показателей по группам и их соответствующие обозначения.

В контексте математического моделирования под фактором понимается качественно оцениваемая характеристика системы. Типичными примерами подобных факторов могут служить: «техническое состояние электрооборудования», «эксплуатационный срок энергооборудования» или «присутствие частотно-регулируемых приводов». Каждому такому фактору ставится в соответствие лингвистическая переменная, принимающая значения из заданного набора термов – таких как «низкий», «средний», «высокий».

1. Распределение показателей по группам и их обозначения

Группа	Обозначение	Наименование показателя
Эксплуатационные факторы, Y_1	X_1	температура нагрева изоляции токами в нормальном режиме работы
	X_2	температура нагрева токами КЗ
	X_3	вероятность повышенного износа изоляции рассматриваемой кабельной линии из-за неблагоприятного положения в сети
	X_4	вероятность повреждений при работах в зоне прокладки кабельной линии
	X_5	величина сопротивления изоляции, определенная при предыдущих испытаниях
	X_6	уровень частичных разрядов
Проектные факторы, Y_2	X_7	вероятность опасных движений грунта на прямолинейных участках трассы прокладки рассматриваемой кабельной линии
	X_8	вероятность опасных движений грунта на поворотах трассы прокладки рассматриваемой кабельной линии
	X_9	соотношение длин поворотов и прямолинейных участков трассы прокладки рассматриваемой кабельной линии
	X_{10}	количество кабельных муфт, используемых для соединения участков кабелей
Субъективные факторы, Y_3	X_{11}	квалификация персонала, производившего монтаж рассматриваемой кабельной линии
	X_{12}	квалификация персонала, осуществляющего обслуживание рассматриваемой кабельной линии
	X_{13}	квалификация персонала, выполняющего ремонтные работы на рассматриваемой кабельной линии.

Эти термы формируют нечеткую шкалу для оценки возможных состояний рассматриваемого фактора.

Структура древовидной модели, предназначенной для оценки состояния кабельной изоляции Q , организована следующим образом:

- Корневой узел дерева отображает интегральный показатель состояния изоляции Q .
- Периферийные узлы (листья) соответствуют отдельным влияющим факторам ($X_1, \dots, X_N$).
- Промежуточные узлы (визуально выделенные двойными кругами) осуществляют агрегацию частных факторов.
- Исходящие из промежуточных узлов связи формируют обобщенные факторы влияния ($Y_1, \dots, Y_M$).

Таким образом, предложенная модель формализует процесс оценки состояния изоляции кабельной линии Q как функциональное преобразование, отображающее вектор частных влияющих факторов $X = (X_1, \dots, X_N)$ в интегральный показатель Q , количественно выраженный в процентах (в диапазоне от 0 до 100).

На рисунке 1 представлено предлагаемое дерево нечеткого вывода. Свертки F_Y на этом дереве отражают группы факторов, влияющих на состояние изоляции и вызывающих ее постепенное ухудшение. Каждая из этих сверток может, в свою очередь, содержать вложенную подсистему нечеткого вывода.

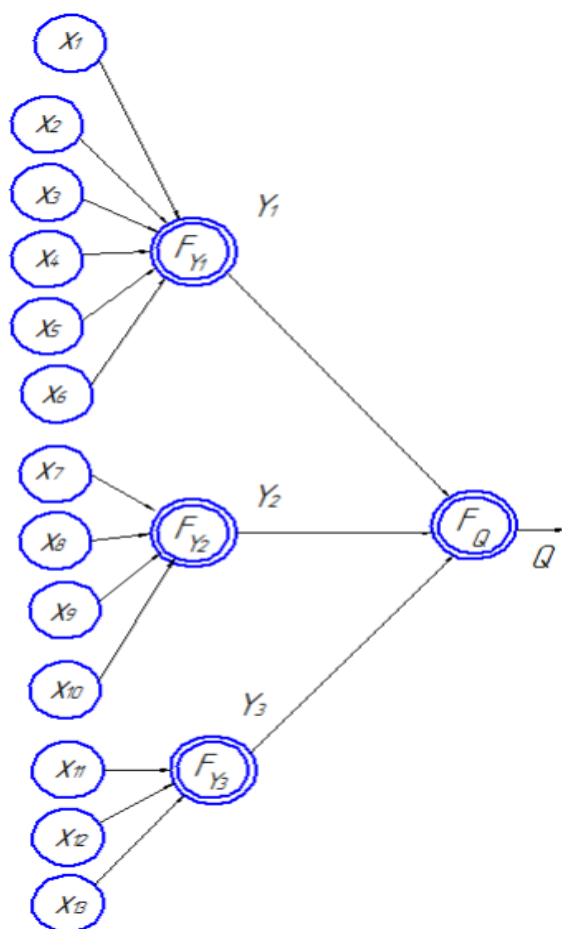


Рис. 1. Дерево нечеткого вывода

Для реализации разработанного алгоритма формируется база знаний, предназначенная для анализа эксплуатационных факторов. Данная база служит фундаментом для вычисления обобщенного показателя Y_1 . Входная информация в системе кодируется с помощью лингвистических переменных, принимающих значения «низкий», «средний» и «высокий». Результирующий показатель Y_1 , характеризующий совокупное влияние факторов на изоляцию, является функцией всех входных параметров подсистемы.

Проиллюстрируем принцип формирования правил на конкретном примере: критическое состояние изоляции может диагностироваться при одновременном наличии следующих условий – повышенной рабочей температуры и перегрева при коротком замыкании, существенного риска износа из-за неоптимального расположения трассы, высокой вероятности механических повреждений при сторонних работах, сниженных показателей сопротивления по историческим данным и значительной интенсивности частичных разрядов. Составленная база знаний представлена в табл. 2, а база знаний для формирования выходного значения – в табл. 3.

2. Оценка изоляции: влияние эксплуатационных факторов

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y_1
high	high	high	high	low	high	low
high	high	high	middle	middle	high	low
high	high	middle	middle	middle	middle	middle
middle	middle	middle	middle	middle	low	middle
middle	middle	middle	middle	middle	middle	middle
low	low	high	high	low	low	middle
low	low	middle	middle	low	low	high
low	low	low	low	low	low	high

3. База знаний, основанная на нечеткой логике, для определения степени деградации изоляции кабеля

Y_1	Y_2	Y_3	Q
high	high	high	high
high	high	middle	middle
middle	middle	high	middle
middle	middle	middle	middle
low	low	middle	low
low	low	low	low

Библиографический список

1. Прокладка, эксплуатация и диагностика силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 1 – 10 кВ. Европейский опыт // Рынок Электротехники. – 2006. – № 2. – С. 24 – 28.

2. Канискин, В. А. Неразрушающие методы испытаний и диагностики кабельных линий с бумажно-пропитанной изоляцией / В. А. Канискин, С. А. Коцур, А. И. Таджибаев // Перенапряжения и надежность эксплуатации электрооборудования. – СПб. : ПЭИПК, 2005. – Вып. 4. – С. 201 – 215.

3. Таджибаев, А. И. Оценка технического состояния кабелей и кабельных сетей / А. И. Таджибаев, В. А. Канискин, А. А. Пугачев. – СПб. : ПЭИПК, 2007. – 173 с.

4. Канискин, В. А. Кабели 10 кВ с бумажнопропитанной изоляцией. Неразрушающий метод диагностики / В. А. Канискин, С. А. Коцур, И. Н. Привалов // Новости электротехники. – 2005. – № 5(35). – С. 25 – 34.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО АСИНХРОННОГО ПРИВОДА С МНОГОУРОВНЕВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ ДЛЯ РЕВЕРСИВНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА

Н. А. Мастеров, В. Н. Мещеряков

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: na.masterov@gmail.com, e-mail: mesherek@yandex.ru)*

Введение. Разработка высокودинамичных и энергоэффективных электроприводов для главных механизмов реверсивных прокатных станов требует решения сложных задач обеспечения электромагнитной совместимости. Переход от традиционных приводов постоянного тока к современным асинхронным с частотным регулированием при всей своей технологической перспективности порождает ряд новых испытаний, связанных с воздействием преобразовательной техники как на питающую сеть, так и на сам электродвигатель.

Проблема заключается в необходимости одновременного обеспечения высокого качества электроэнергии на входе и выходе преобразователя частоты. С одной стороны асинхронный двигатель для стабильной работы требует питания напряжением, максимально приближенным к синусоидальному. С другой стороны, мощный преобразовательный комплекс не должен создавать значительных гармонических искажений в сети питания [1].

Таким образом, актуальной научно-технической задачей становится поиск и экспериментальная верификация такой преобразовательной топологии, которая способна удовлетворить обоим требованиям в условиях, характерных для прокатного стана динамических нагрузок.

Научная новизна исследования заключается в разработке методики оценки электромагнитной совместимости высоковольтного асинхронного привода с многоуровневым преобразователем частоты, специально адаптированной для условий работы реверсивных прокатных станов.

Целью настоящего исследования является комплексный анализ электромагнитной совместимости высоковольтного асинхронного электропривода, построенного на основе многоуровневого преобразователя частоты, при его работе в составе главного привода реверсивного прокатного стана.

Материалы и методы исследования. Для решения поставленных задач в качестве базовой силовой топологии был выбран высоковольтный преобразователь частоты, построенный по каскадной схеме Н-мостов. Выбор данной архитектуры обусловлен ее принципиальной способностью формировать высококачественное многоуровневое выходное напряжение при минимальном уровне высших гармоник как на входе, так и на выходе [2].

Основным инструментом исследования выступило математическое моделирование в среде Matlab Simulink. Была разработана комплексная модель, включающая многоуровневый преобразователь частоты, модель сети 10 кВ, асинхронный двигатель и систему векторного управления (рис. 1). Моделирование позволило провести детальный анализ электромагнитных процессов в системе и оценить качество электроэнергии во всех ключевых точках системы.

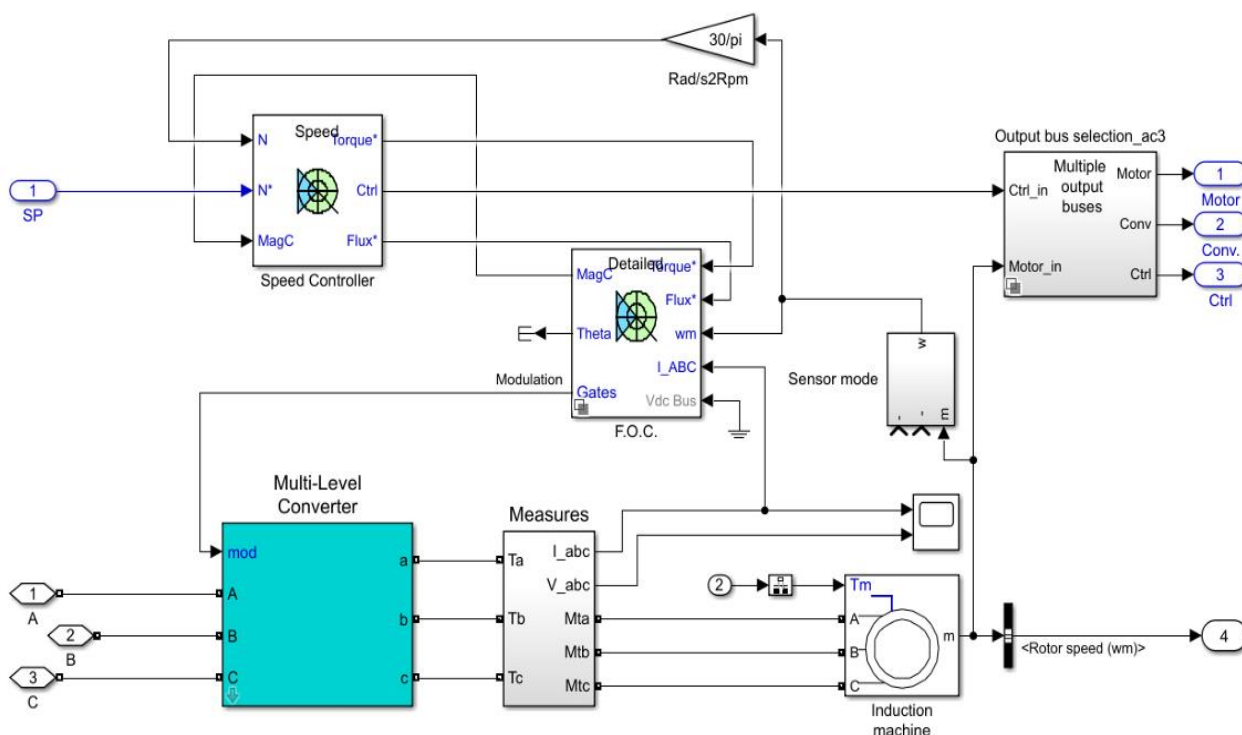


Рис. 1. Модель системы управления электроприводом в Matlab Simulink

Результаты. Проведенное моделирование подтвердило высокие показатели электромагнитной совместимости исследованной системы, качество выходного напряжения для двигателя. Осциллограммы и спектральный анализ выходного напряжения и тока преобразователя частоты (рис. 2, 3) наглядно демонстрируют, что каскадная схема формирует квазисинусоидальный сигнал с коэффициентом нелинейных искажений (THD) не более 4%. Это создает благоприятные условия для работы асинхронного двигателя, минимизируя дополнительные потери и пульсации момента.

Анализ потребляемого тока и его гармонического состава показал, что уровень высших гармоник остается в пределах, допустимых для сетей 10 кВ, что подтверждает соответствие требованиям действующих нормативных документов.

Динамические характеристики. Исследование переходных процессов (рис. 4) выявило, что высокое качество выходного напряжения в сочетании с возможностями векторного управления обеспечивает требуемую динамику: быстрый безударный пуск, точное поддержание скорости и плавное торможение.

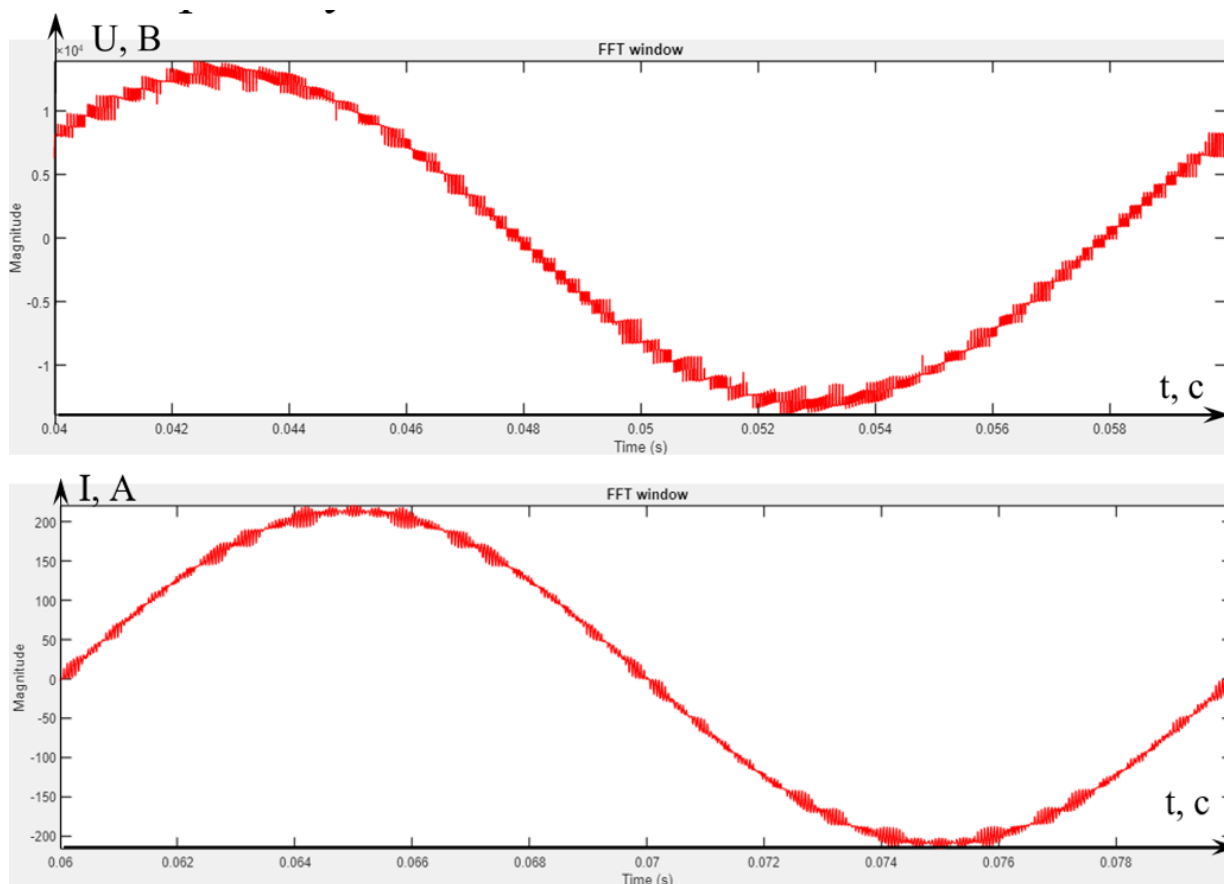


Рис. 2. Осциллограммы выходного напряжения и тока фазы А преобразователя частоты

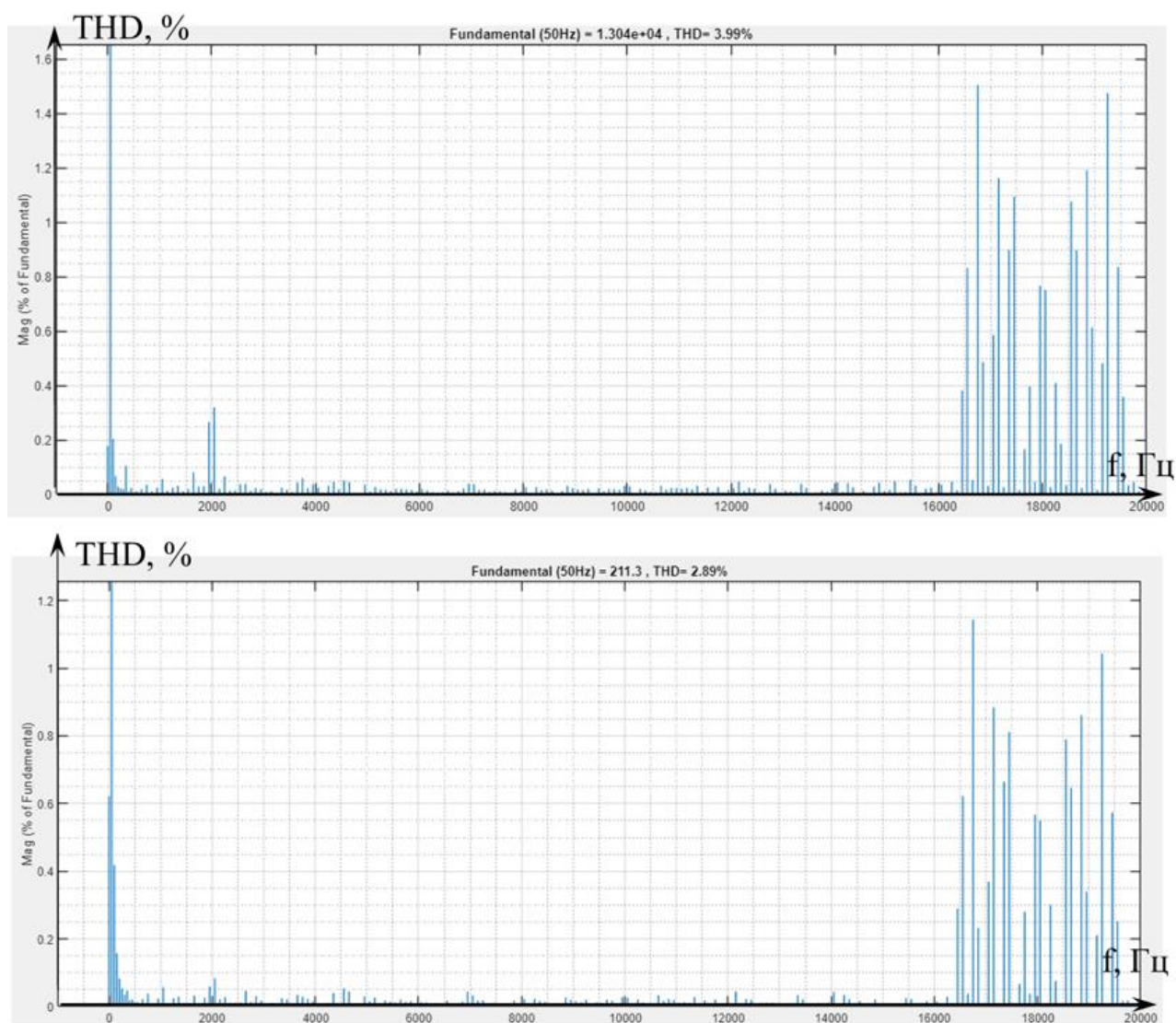


Рис. 3. Спектральный состав выходного напряжения и тока преобразователя частоты

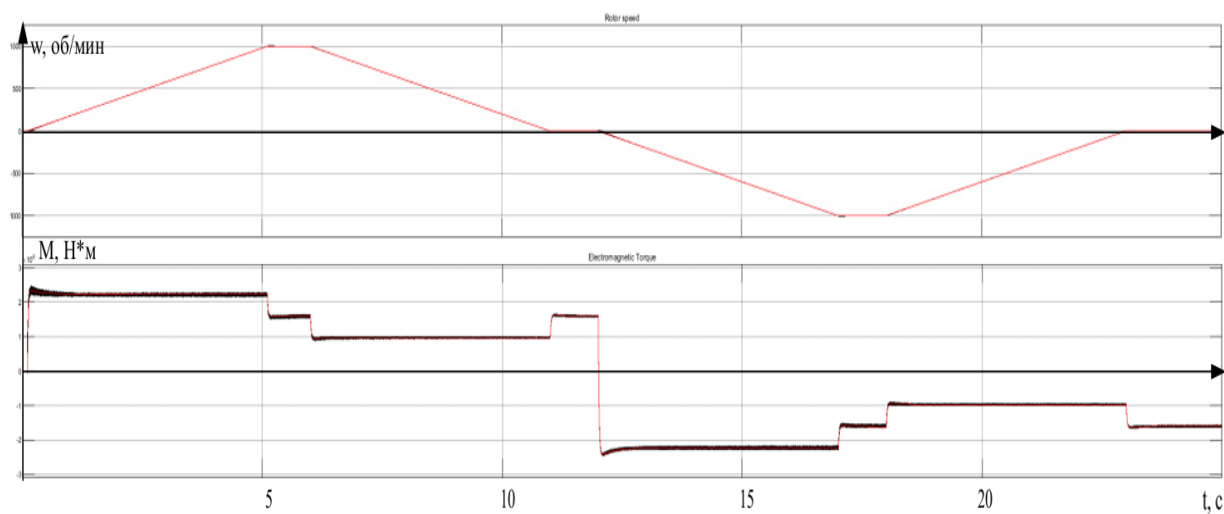


Рис. 4. Переходные процессы скорости и электромагнитного момента двигателя при пуске и останове и реверсе

Заключение. Проведенное исследование демонстрирует, что высоковольтный асинхронный электропривод на основе многоуровневого каскадного преобразователя частоты обладает высокой степенью электромагнитной совместимости и может рассматриваться как перспективное решение для главного привода реверсивного прокатного стана.

Комплексное применение многоуровневого ПЧ и системы векторного управления позволяет достичь динамических характеристик, необходимых для технологии реверсивной прокатки.

Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением устойчивости системы к несимметриям сети и оптимизацией алгоритмов управления для снижения коммутационных потерь.

Библиографический список

1. Ключев, В. И. Теория электропривода : учебник для вузов / В. И. Ключев. – М. : Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
2. Руднев, А. С. Многоуровневые преобразователи частоты в электроприводах переменного тока / А. С. Руднев, В. В. Яковлев // Электротехника. – 2018. – № 5. – С. 45 – 51.

СПОСОБ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К РЕЗЕРВНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

М. Р. Михайлов, Р. П. Беликов, И. Н. Фомин

*Орловский государственный аграрный университет
имени Н. В. Парахина, Орел, Россия*

Введение. Повышение надежности электроснабжения путем резервирования особенно возрастает в настоящее время в связи с серьезными количественными и качественными изменениями сельскохозяйственных потребителей электроэнергии [1, 2].

Известным способом резервирования ответственных потребителей является использование дизельных электростанций (или других автономных электростанций), производство которых хорошо освоено отечественными производителями [3].

Сегодня в основном используются традиционные способы резервного электроснабжения:

– автономная резервная электростанция устанавливается у каждого ответственного потребителя [4];

– одна автономная резервная электростанция устанавливается для питания всех потребителей электроэнергии на объекте [5].

Вместе с тем, наиболее эффективным, на наш взгляд, являются способы [6, 7], заключающиеся в том, что в хозяйстве устанавливается одна автономная резервная электростанция, и она резервирует ответственных потребителей. Особенность способа [7] заключается в том, что для его реализации необходимо иметь возможность отключения неответственных потребителей [8].

Основная часть. Согласно способу [7] в качестве информативного сигнала на подключение ответственных потребителей при запуске автономной резервной электростанции используется поочередность пофазной подачи напряжения в сеть. Сначала подается напряжение одной определенной фазы, а затем с выдержкой времени, напряжение двух других фаз. Данная последовательность подачи напряжения служит признаком для выделения ответственных потребителей из общего числа потребителей при подключении их к резервной электростанции (ответственные потребители подключаются к питанию от резервной электростанции, не ответственные – не подключаются).

На рисунке 1 представлена структурная схема, содержащая элементы для реализации способа.

В нормальном режиме головной выключатель линии 2 включен [9] и питание от основного источника по линии 1 через ТП 10/0,4 Кв, и элемент 10 подается всем без исключения потребителям.

При исчезновении питания от основного источника датчик контроля напряжения 3 подает сигнал об исчезновении номинального напряжения на один из входов элемента И 5. Автоматически отключается головной выключатель 2 [10]. Датчик положения головного выключателя 4 срабатывает, и на его выходе появляется сигнал, поступающий на второй вход И 5. Присутствие сигналов на всех входах элемента И 5 приведет к появлению сигнала на его выходе. От этого сигнала происходит запуск резервной электростанции 7. После запуска автономной резервной электростанции подается сигнал на формирователь управляющего сигнала 8. Потребителям через выключатель 9 подается напряжение одной определенной фазы, например, фазы А, а затем с заданной выдержкой времени Δt – напряжение двух других фаз [11]. Через ближайшую ТП 10/0,4 кВ по линии электропередачи 10 кВ напряжение поступает на шины 0,4 кВ всех ТП и далее к устройствам выделения ответственных потребителей 10. При появлении определенной последовательности напряжения на входах элементов 10 они срабатывают и подключают только ответственных потребителей 11 к резервной электростанции [12]. Неответственные потребители 12 к резервной электростанции не подключаются.

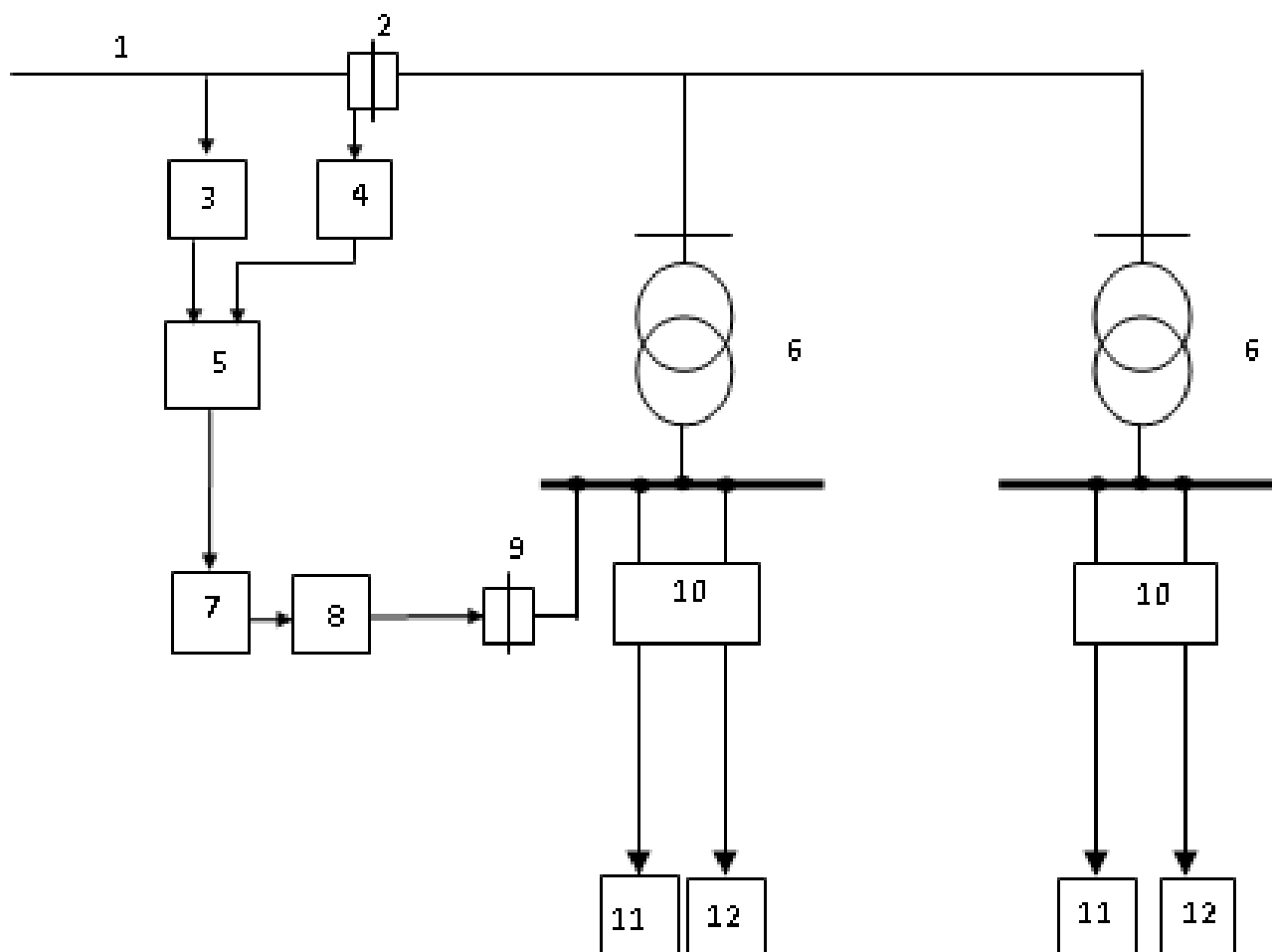


Рис. 1. Структурная схема реализации способа:

1 – питающая линия; 2 – головной выключатель линии;

3 – датчик номинального напряжения линии; 4 – датчик контроля положения
головного выключателя линии; 5 – элемент И; 6 – трансформаторная подстанция 10/0;4 кВ;

7 – резервная электростанция; 8 – формирователь управляющего сигнала;

9 – выключатель резервного питания; 10 – устройство выделения ответственных
потребителей; 11 – ответственный потребитель; 12 – неответственный потребитель

При восстановлении питания в линии 1 от основного источника исчезает сигнал датчика номинального напряжения линии [13]. Резервная электростанция 7 отключается. Формирователь управляющего сигнала 8 отключает выключатель. Включается головной выключатель. На шинах всех трансформаторных подстанций 6 после бестоковой паузы при восстановлении централизованного питания появляется одновременно напряжение всех фаз. Устройство выделения ответственных потребителей 10 не срабатывает, и питание получают ответственные 11 и неответственные потребители 12 [14].

Выводы. Таким образом, способ резервирования позволяет разгружать автономную резервную электростанцию путем выделения ответственных потребителей, что значительно повышает эффективность ее использования.

Библиографический список

1. Fomin, I. Remote monitoring of circuit breakers in partitioned power line / I. Fomin, N. Makhianova, R. Belikov // Proceedings – 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2018, Moscow, 15 – 18 мая 2018 года. – М., 2018. – P. 8728873.
2. Identification power line sections with increased-electricity losses using sensors with Wi-Fi technology for data transmission / I. N. Fomin, R. P. Belikov, T. A. Kudinova, A. N. Tsvetkov // E3s Web of Conferences, Prague, Czech Republic, 14–15 мая 2020 года. Vol. 178. – Prague, Czech Republic: EDP Sciences, 2020. – P. 01083.
3. Improvement of power supply reliability by means of remote control of the automatic repeated switching-on of sectionalizing circuit-breakers / I. Fomin, R. Belikov, V. Zelyukin, E. V. Mikhailova // E3S Web of Conferences : 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18 – 20 сентября 2019 года. – Kazan : EDP Sciences, 2019. – P. 01042.
4. Фомин, И. Н. Подключение ответственных сельскохозяйственных потребителей к резервной электростанции / И. Н. Фомин, Р. П. Беликов, Ю. Л. Михайлова // Вестник аграрной науки. – 2018. – № 1(70). – С. 59 – 64.
5. Березко, В. А. Современные дизельные электростанции – основной источник местного резервного питания с/х потребителей / В. А. Березко, И. Н. Фомин // Физика и современные технологии в АПК : материалы XII Всерос. (с международным участием) молодеж. конф. молодых ученых, студентов и школьников, Орел, 16 декабря 2020 года / Орловский государственный аграрный университет им. Н. В. Парахина. – Орел : Изд-во Картуш, 2021. – С. 266 – 270.
6. Пат. № 2282926 С1 Российская Федерация, МПК H02J 9/06. Способ подключения потребителей к резервной электростанции / Васильев В. Г., Суров Л. Д., Фомин И. Н. ; № 2005116436/09 ; заявл. 30.05.2005 ; опубл. 27.08.2006 ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО ОрелГАУ).
7. Пат. № 2253934 С1 Российская Федерация, МПК H02J 9/06. Способ подключения ответственных потребителей к резервной электростанции / Васильев В. Г., Суров Л. Д., Фомин И. Н. и др. ; № 2004106206/09 ; заявл. 02.03.2004 ; опубл. 10.06.2005 ; заявитель Орловский государственный аграрный университет (ОГАУ).
8. Первышин, Н. А. Совершенствование систем резервирования АПК с помощью дизельных электростанций / Н. А. Первышин // Профессия инженер :

сб. ст. X Всерос. молодеж. науч.-практ. конф. «Профессия инженер», посвященной 40-летию факультета агротехники и энергообеспечения, Орел, 07 апреля 2022 года. – Орел : Орловский государственный аграрный университет им. Н. В. Парахина, 2022. – С. 513 – 517.

9. Пат. № 2394331 С1 Российская Федерация, МПК H02J 13/00. Способ контроля отключения головного выключателя линии при отказе отключения секционирующего выключателя при его повторном включении на устойчивое короткое замыкание в кольцевой сети / Суров Л. Д., Фомин И. Н., Фомин Д. Н. ; № 2009118084/09 ; заявл. 12.05.2009 ; опубл. 10.07.2010 ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО ОрелГАУ).

10. Пат. № 2305356 С1 Российская Федерация, МПК H02J 13/00. Способ контроля успешного и неуспешного автоматического повторного включения выключателей в секционированной линии кольцевой сети / Суров Л. Д., Фомин И. Н. ; № 2006118486/09 ; заявл. 29.05.2006 ; опубл. 27.08.2007 ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО ОрелГАУ).

11. Фомин, И. Н. Структурная схема способа подключения ответственных потребителей к резервной электростанции / И. Н. Фомин, Р. П. Беликов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 3(48). – С. 20 – 25. – DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-20-25.

12. Мальцева, А. П. Способ обеспечения надежного электроснабжения сельскохозяйственных ответственных потребителей / А. П. Мальцева, И. Н. Фомин // Физика и современные технологии в АПК : материалы Междунар. молодеж. науч.-практ. конф., Орел, 21–22 декабря 2016 года. – Орел : Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина, 2016. – С. 274 – 278.

13. Фомин, И. Н. Оптимизация использования дизельных электростанций в качестве резервных источников питания сельскохозяйственных потребителей / И. Н. Фомин // сб. докл. молодых ученых факультета агротехники и энергообеспечения : 2003–2004 гг. – Орел : Орловский государственный аграрный университет, 2005. – С. 18 – 20.

14. Фомин, И. Н. Структурная схема способа подключения потребителей к резервной электростанции / И. Н. Фомин // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». – 2008. – № 3(28). – С. 42 – 45.

УЛУЧШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БПЛА В УСЛОВИЯХ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

А. В. Мордовин, Д. Д. Москвитина, С. П. Москвитин

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: mordovin-sasha68@mail.ru, mdd2002@bk.ru, sergey.msk@mail.ru)*

Ключевой задачей современной электроэнергетики является обеспечение бесперебойного и надежного функционирования ее объектов, большую часть которых составляют протяженные и труднодоступные линии электропередачи (ЛЭП) и распределительные подстанции. В условиях, когда традиционные методы мониторинга показывают свою недостаточную эффективность, на помощь приходят технологии с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Однако их успешное применение напрямую упирается в проблему точного и надежного позиционирования в специфических условиях энергетических объектов. Сильные электромагнитные поля, создающие помехи для электронного оборудования и металлоконструкции, искажающие сигналы глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС), – все это требует улучшения точности позиционирования БПЛА [1, 2].

Основная сложность позиционирования вблизи ЛЭП и подстанций заключается в том, что традиционная спутниковая навигация перестает быть достаточно надежной. Металлические конструкции опор и зданий могут экранировать и приводить к многолучевому распространению спутниковых сигналов, что ведет к появлению аномальных измерений, т.е. ошибкам определения координат, достигающим нескольких метров, что недопустимо. Дополнительным фактором являются электромагнитные помехи, которые генерируются высоковольтным оборудованием и могут воздействовать на чувствительную бортовую электронику БПЛА.

На рисунке 1 показано воздействие низкого соотношения сигнал–шум на входе приемника, обусловленное электромагнитными помехами, на значение координаты северной широты.

Подобные аномалии измерения координат абсолютно недопустимы, например, для построения детальных трехмерных моделей ЛЭП и подстанций, которые используются для измерения геометрических параметров, таких как стрелы провеса проводов или расстояния до растительности.

Одним из наиболее эффективных способов компенсации недостатков глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) является использование технологий кинематики в реальном времени (Real-Time Kinematic, RTK) и прецизионных систем (Precise Point Positioning, PPP).

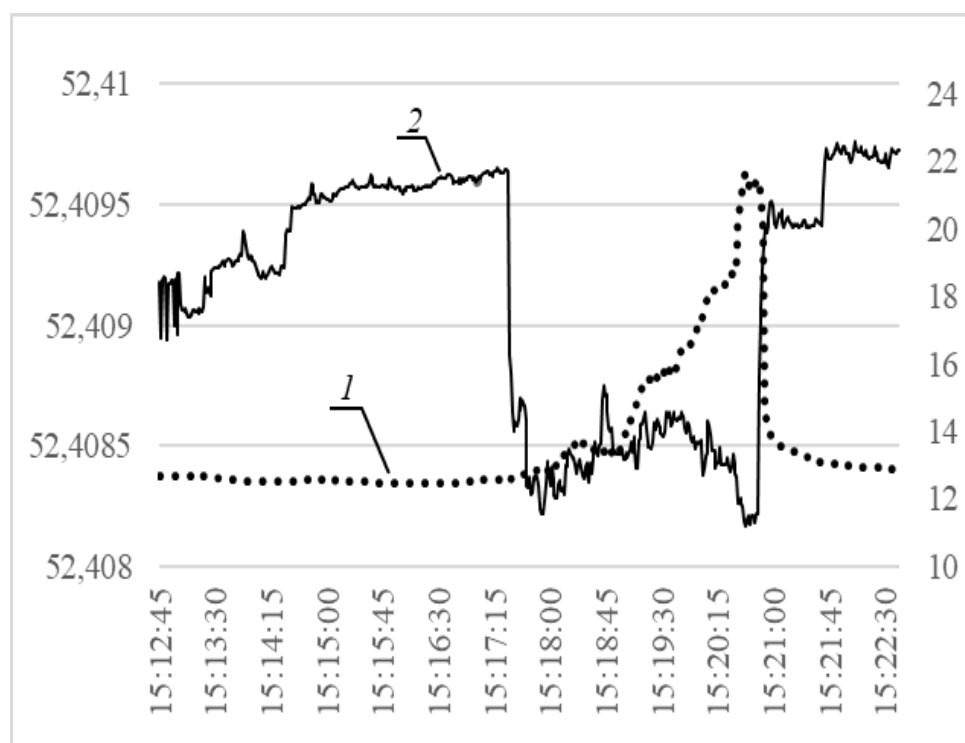


Рис. 1. Влияние помехи на измеренное значение координаты:

1 – значения координаты; 2 – сигнал-шум

Эти системы позволяют достигать сантиметровой, а в оптимальных условиях – и более высокой точности определения координат. Принцип их работы основан на применении поправок, получаемых с наземной базовой станции или из спутниковой сети коррекции, к спутниковым сигналам. Однако в условиях энергообъектов даже RTK-система может давать сбои. Поэтому ключевым направлением становится интеграция инерциальных навигационных систем (ИНС), которые, будучи независимыми от внешних воздействий, отслеживают ускорения и угловые скорости беспилотного аппарата. В связке ГНСС и ИНС инерциальная система обеспечивает точное позиционирование в кратковременные периоды потери спутникового сигнала, например, при пролете под проводом или вблизи крупной металлической конструкции. Для навигации в условиях полного отсутствия ГНСС, что актуально для работы внутри помещений закрытых распределительных устройств или в плотном окружении оборудования, перспективными представляются системы одновременной локализации и построения карт (SLAM – Simultaneous Localization and Mapping). Алгоритмы визуального или лидарного SLAM позволяют дрону в реальном времени строить карту неизвестной среды и одновременно определять свое положение в ней, используя данные с камер, лидаров или других сенсоров. Это особенно важно для автономных инспекций, где требуется движение по сложным маршрутам в стесненных условиях без постоянного вмешательства оператора.

Современные тенденции направлены на создание мультисенсорных навигационных платформ, которые объединяют информацию от целого ряда датчиков для достижения максимальной точности и отказоустойчивости. Существуют системы, которые интегрируют данные георадаров, лидаров, тепловизоров и мультиспектральных камер. В контексте навигации лидары обеспечивают высокоточное 3D-картографирование окружающего пространства и обход препятствий, что особенно важно для безопасного полета вблизи проводов и конструкций. Системы машинного зрения, дополненные алгоритмами искусственного интеллекта (ИИ), позволяют БПЛА не только распознавать объекты, но и ориентироваться по ним. Например, предиктивные ИИ-алгоритмы, обученные на обширных базах данных о полетах, могут предсказывать поведение аппарата в динамично изменяющейся среде. Это дополнительно улучшает точность позиционирования, превращая дрон в интеллектуальную систему, способную к автономной навигации.

Искусственный интеллект играет в этом процессе важную роль, выходя далеко за рамки простого анализа собранных данных. Алгоритмы машинного обучения применяются для понимания сцены – автоматического распознавания на видеопотоке конкретных элементов энергооборудования, таких как изоляторы, разъединители, трансформаторы. Это позволяет БПЛА не просто следовать по заранее заданным координатам, а корректировать свой маршрут и положение относительно идентифицированных объектов, обеспечивая оптимальные ракурсы для съемки и диагностики. Подход, при котором бортовой ИИ в реальном времени обрабатывает видео- и сенсорные данные для уточнения положения, является очень существенным дополнением к спутниковой и инерциальной навигации. Также ИИ используется для оптимизации полетных маршрутов в целях минимизации расхода энергии и времени обследования.

Следующим шагом является интеграция БПЛА с прецизионными системами позиционирования в единые технологические комплексы. Примером может служить разработанный в России беспилотный комплекс для мониторинга ЛЭП, который, помимо самого дрона, включает многофункциональные зарядные станции и специализированное программное обеспечение. В такой системе дрон не просто собирает данные, но и автоматически выгружает их, в случае обнаружения дефектов, в корпоративные системы. Точность координатной привязки дефекта позволяет не только быстро его устранить, но и накапливать статистику для прогнозирования подобных отказов на других участках сети.

Таким образом, улучшение точности позиционирования БПЛА в условиях электроэнергетической отрасли представляет собой задачу, решаемую

за счет синергии нескольких технологических направлений. Это и применение высокоточных спутниковых систем коррекции (RTK/PPP), и интеграция инерциальных систем для работы в условиях потери спутникового сигнала, и активное внедрение алгоритмов SLAM на основе лидаров и машинного зрения для автономной навигации, и, наконец, использование искусственного интеллекта для привязки к объектам и оптимизации маршрутов.

Дальнейшее развитие заключается в углублении автономности беспилотных комплексов, включая автоматизацию всех этапов, – от взлета, выполнения миссии и обработки данных до зарядки и техобслуживания. Уже в настоящее время ведутся работы по использованию БПЛА не только для инспекции, но и для монтажа оборудования, например, установки сенсоров на провода ЛЭП, что предъявляет исключительно высокие требования к точности позиционирования.

В настоящее время авторами ведутся исследования в области определения достоверности координат местоположения, полученных с помощью систем спутниковой навигации. Для оперативного реагирования на появление аномальных вычислений координат на выходе приемника необходимо своевременно определять спутники, ухудшающие точность измерений. Неотъемлемой частью дальнейшей работы является проведение экспериментальных исследований, показывающих степень зависимости точности определения координат местоположения от соотношения мощности сигнала к мощности помехи на входе приемника. Важно определить граничное значение помехи, при котором сигнал от спутника вносит недопустимые искажения в измерение координат, либо полностью отсутствует. Необходимо провести выявление таких каналов приема спутников для оперативного исключения их сигналов из обработки, что повысит точность определения местоположения.

Библиографический список

1. Иванов, А. В. Навигация наземных объектов / А. В. Иванов, Н. А. Иванова. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 120 с.
2. Радиотехнические системы / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др. – М. : Высшая школа, 1990. – 495 с.
3. Иванов, А. В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов с контролем целостности навигационного обеспечения / А. В. Иванов // Радиотехника. – 2010. – № 5. – С. 12. – 17.

4. Иванов, А. В. Навигация наземных объектов / А. В. Иванов, Н. А. Иванова. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 120 с.

5. Навигационные системы для систем автоматического управления автомобилем / А. В. Иванов и др. // Исследования молодых ученых : материалы IV Междунар. науч. конф. – Казань : Молодой ученый, 2019. – С. 14 – 19.

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н. П. Моторина¹, Е. В. Тетеревлева², Д. А. Попов¹

*¹ Старооскольский технологический институт
им. А. А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСИС», Старый Оскол, Россия
(e-mail: motorina_np@mail.ru)*

*² Ухтинский государственный технический университет,
Ухта, Республика Коми, Россия*

Данная статья посвящена вопросам использования информационных технологий в процессах расчетов и проектирования объектов внешнего электроснабжения промышленных предприятий. Рассмотрены цели использования технологий. Приведены примеры решений по оптимизации процессов расчетов объектов внешнего электроснабжения промышленных предприятий и их проектирования.

Черноземный филиал ПАО «Россети», как один из шести предприятий магистральных электрических сетей (ПМЭС), охватывает территории Орловской, Курской и Белгородской областей. В эксплуатации ПМЭС находятся 17 подстанций общей мощностью более 11700 МВ·А и более 2600 км ЛЭП напряжений 220...750 кВ. Объекты электроснабжения приграничных областей требуют более частого, быстрого и качественного восстановления [1].

При ремонте электроснабжения существующих производств на строящихся предприятиях, а также при расширении, реконструкции (модернизации), решаются вопросы проектирования и расчетов объектов электроснабжения. Эти задачи выполняют специализированные проектные организации для крупных объектов и работающего инженерно-технического персонала предприятий. Требуется производить расчеты, проектировать схемы электроснабжения, осуществлять выбор соответствующего оборудования и материалов, в том числе моделирование процессов в электрических сетях и на подстанциях, выполнение

автоматизированных расчетов, использование графических редакторов и приложений.

При проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий в качестве исходных данных принимают: расчетные нагрузки отдельных потребителей электроэнергии и их групп (участков, цехов); размещение электрических нагрузок по территории предприятия (генплан предприятия); источник (источники) питания и его возможное напряжение (напряжения); расстояние от предприятия до источника питания и др. Одной из важнейших характеристик, влияющих на структуру системы, конфигурацию сети, типы и количество устанавливаемого оборудования, является требование к надежности электроснабжения потребителей. Согласно ПУЭ, в отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяются на три категории [ПУЭ].

Для рационального внешнего электроснабжения рассчитываются суммарные активная, реактивная и полная расчетная и средняя нагрузки предприятия и определяется рациональное напряжение внешнего электроснабжения. Расчет требуемых параметров и величин имеет смысл проводить с помощью ПО и использовать графические приложения для построения картограммы нагрузок на основе генерального плана предприятия (на рис. 1 приведен пример построения картограммы электрических нагрузок после расчета в ПО: цеховые центры нагрузок заданы координатами).

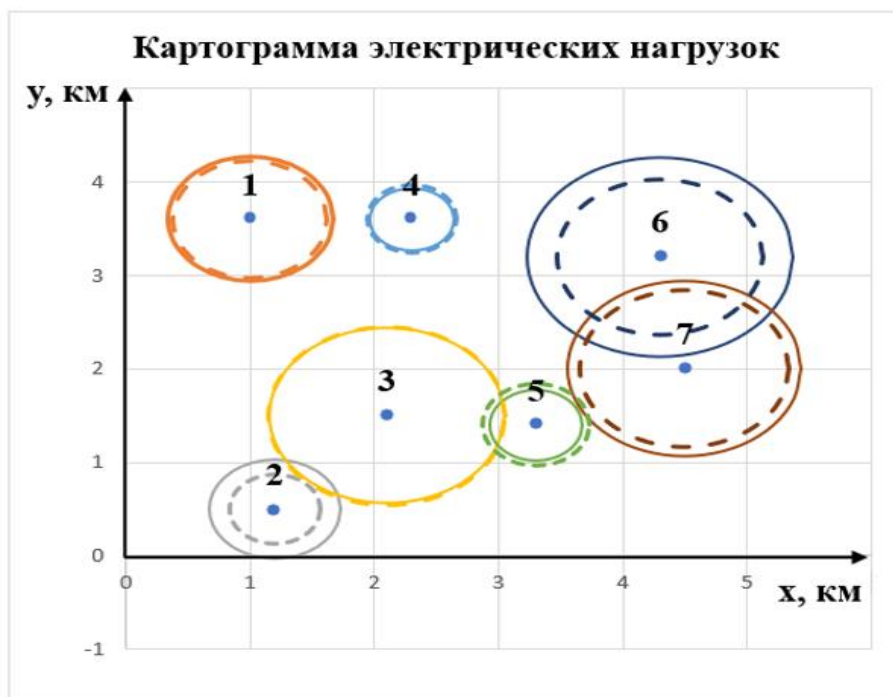


Рис. 1. Пример построения картограммы активных и реактивных мощностей цеховых нагрузок предприятия

Определение центра электрических нагрузок, выбор места расположения главных понизительных подстанций (ГПП) предприятия, количества ГПП проводится на основе анализа генплана предприятия, полученных центров нагрузок по активной и реактивной мощностям. Принимается решение о совместном или раздельном центрах и местах расположения устройств компенсации реактивной мощности. На рисунке 2 приведен пример выбора места расположения ГПП на картограмме активных и реактивных мощностей цеховых потребителей предприятия.

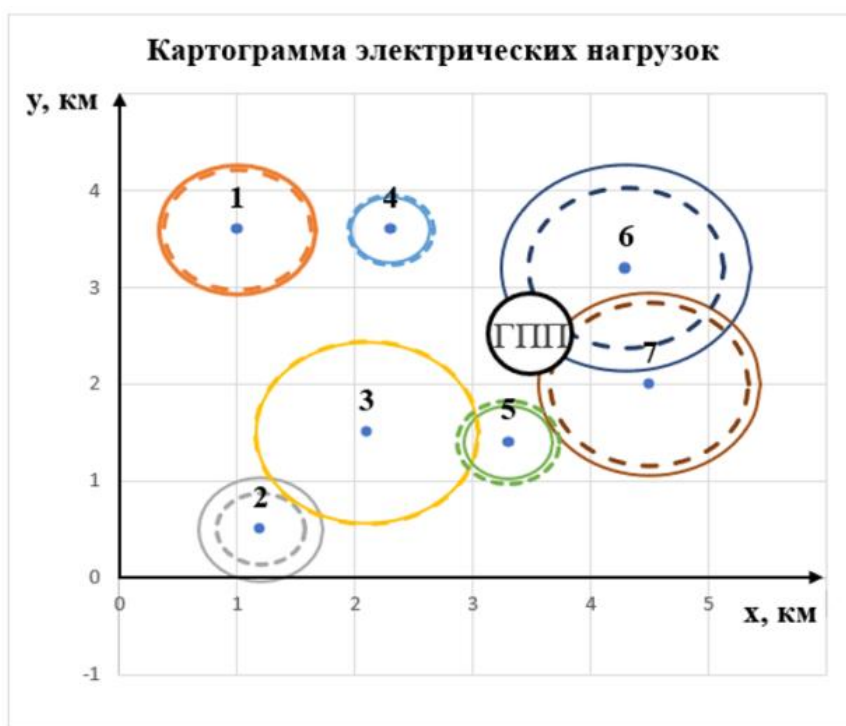


Рис. 2. Пример нанесения ГПП на картограмму активных и реактивных мощностей цеховых нагрузок предприятия

После решения вопросов, связанных с расположением ГПП, определяется количество трансформаторов на подстанции, выбирается их тип и мощность. В процессе анализируется информация о климатическом исполнении электрооборудования, требованиях по окружающей среде и т.п.

Объект получает электроэнергию от внешних источников, в качестве которых часто бывают районные подстанции. Питание от районной подстанции осуществляется по линиям внешнего электроснабжения. Провода воздушных линий электропередачи (ЛЭП) выбираются по экономической плотности тока и проходят проверку на длительно допустимый нагрев, потерю напряжения, по условиям коронирования. Приведем пример моделирования расчетных ЛЭП в программном продукте RastWin на рис. 3.

	Л.Э.П.	Тип	Ионер	Название	Угол	№	Р.ч.	Q.ч.	Р.г.	Q.г.	V.ч.	Q.ч.	Q.г.	Q.г.	Q.г.	Q.г.	Q.г.	Q.г.	Q.г.
1	☐	Less	1		220				11,0	37,1	220,0								
2	☐	Л.э.п.	2		220		11,0	37,1											
3	☒	Л.э.п.	3		220		12,0	4,0											
4	☒	Л.э.п.	4		220		13,0	20,0											

Рис. 3. Пример моделирования расчетных ЛЭП внешнего электроснабжения промышленного предприятия

Следующим этапом проектирования является выбор схемы внешнего электроснабжения предприятия. Предварительно принимается схема электроснабжения предприятия (на рис. 4 приводим упрощенную однолинейную схему). В примере приводится один из вариантов схем. На стороне распределительного устройства (РУ) высшего напряжения (ВН) имеются четыре присоединения (две ЛЭП и два двухобмоточных трансформатора) со схемой «мостик с выключателями в цепях ЛЭП и ремонтной перемычкой со стороны линий». На стороне распределительного устройства низшего напряжения (НН) – «схема с одной секцией шин, секционированных выключателями».

Цеховые подстанции, питающие электроприемники I и II категорий надежности, запитаны по радиальной схеме двухцепными линиями. Подстанция второго, четвертого и пятого цехов (III категория) получают питание по одноцепным линиям отпайкой от линий ГПП – ТП № 1, ГПП-ТП № 3 и ГПП-ТП № 7. РУВН цеховых подстанций выполнены по схеме «блок линия–трансформатор с выключателем». Ремонтные перемычки не предусматриваются.

На рисунке 5 приведен расчет картограммы цеховых нагрузок и схема внешнего электроснабжения промышленного предприятия, нанесенная на генплан предприятия.

Таким образом ведется работа по использованию информационных технологий для оптимизации процессов расчетов и проектирования объектов внешнего электроснабжения промышленных предприятий.

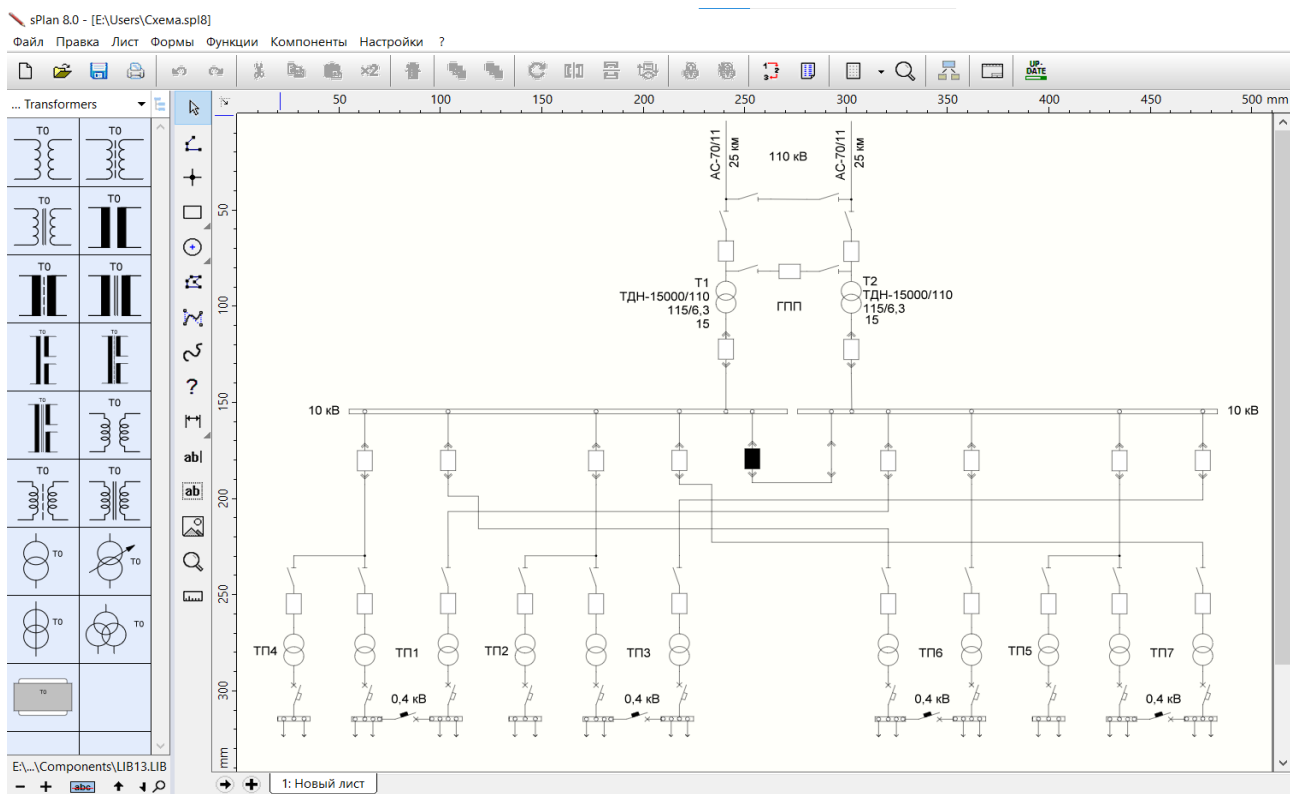


Рис. 4. Пример построения упрощенной однолинейной схемы внешнего электроснабжения промышленного предприятия в sPlan 8.0

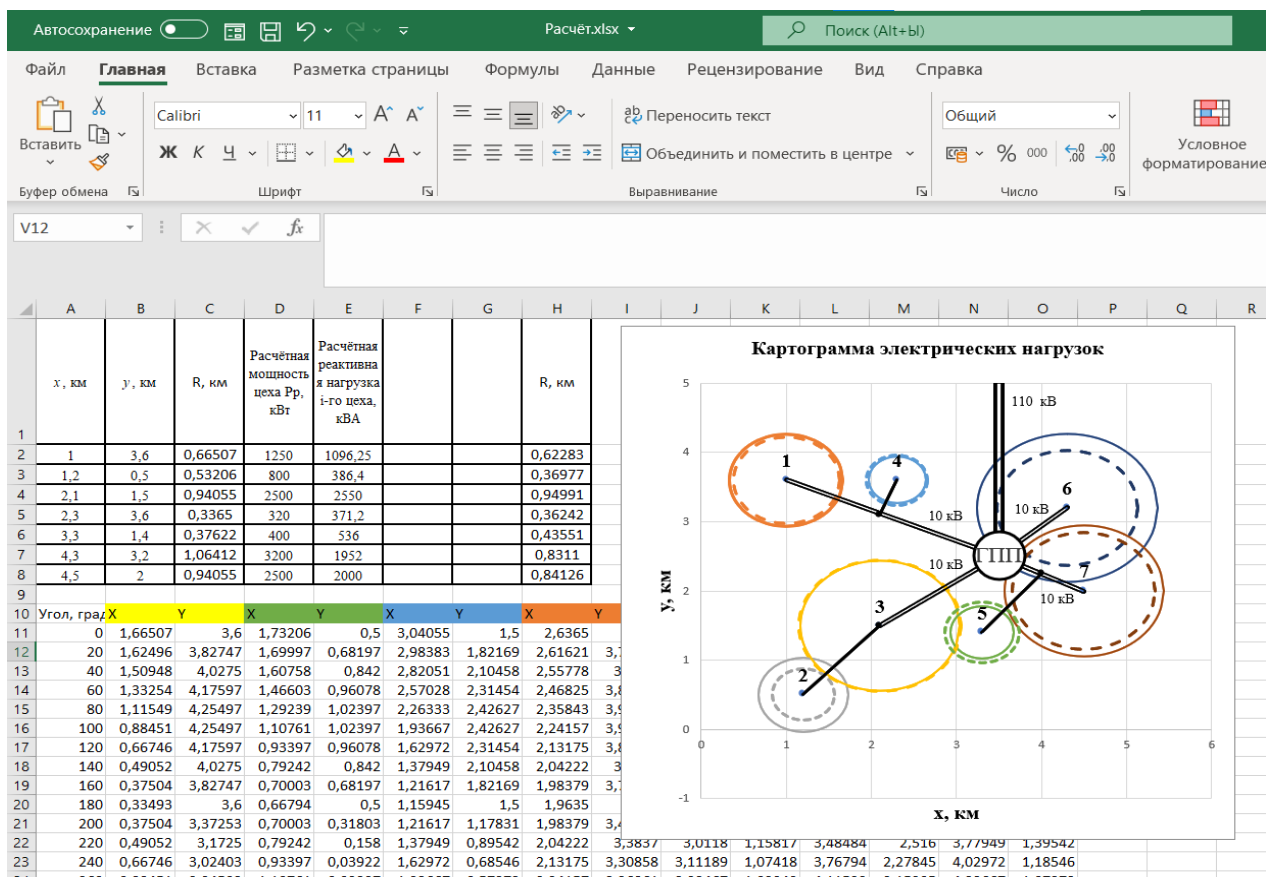


Рис. 5. Пример расчетов к построению картограмм активных и реактивных нагрузок и построения схемы внешнего электроснабжения, нанесенной на генплан предприятия

ПОТЕНЦИАЛ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМАМИ

Нго Зуи Хань

*Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия
(e-mail: kxanhbq339@gmail.com)*

Введение. Концепция беспроводных технологий была впервые представлена в XIX веке, и в последние десятилетия развитие беспроводных технологий кардинально изменило представления о системах ввода, вывода и хранения информации. Был осуществлен системный переход от проводных интерфейсов (USB, SATA, PCIe...) к беспроводным решениям на основе Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, Wi-Max и других технологий, обеспечивающих удобство, мобильность и расширение функциональных возможностей. Особенно эта тенденция проявляется в сфере электроэнергетики и телеметрии, где беспроводные интерфейсы применяются для измерения параметров базового оборудования, организации удаленного мониторинга и реализации интеллектуального управления.

Цель работы. Анализ современных беспроводных интерфейсов периферийных устройств, выявление их инженерных особенностей и рассмотрение потенциала внедрения данных технологий в мониторинге и управлении энергосистемами.

Материалы и методы. Проведены сравнительный анализ и синтез информационных данных в авторских публикационных источниках для определения потенциала внедрения беспроводной связи в мониторинг и управление системами резервного питания.

Теоретические основы беспроводных интерфейсов. Беспроводные интерфейсы позволяют передавать данные и энергию без использования проводов, используя электромагнитные волны инфракрасного и радиочастотного диапазонов. Кроме этих интерфейсов периферийных устройств существуют и беспроводные способы подключения к локальным сетям (например, технология Wi-Fi). С инженерной точки зрения основные параметры беспроводных интерфейсов включают: скорость передачи данных, радиус действия, энергопотребление, время задержки и безопасность. Несмотря на различия в конкретных технологиях, беспроводные периферийные устройства обычно подключаются по аналогичным схемам. Как правило, система состоит из микроконтроллера (МК) и радиочастотного модуля (РЧ-модуль), кроме того, в состав устройства

входят цепи питания, тактовые генераторы и антенна с согласующей цепью для излучения и приема радиосигнала.

Сравнительный анализ современных беспроводных интерфейсов.

В настоящее время существуют разнообразные технологии беспроводных интерфейсов: Bluetooth (или Bluetooth Low Energy – BLE), Wi-Fi, ZigBee, LoRa (Long Range), UWB (Ultra-Wideband), IrDA, RFID, NFC... На рисунке 1 представлен график сравнения технологий в конкретных задачах на основе основных технических параметров.

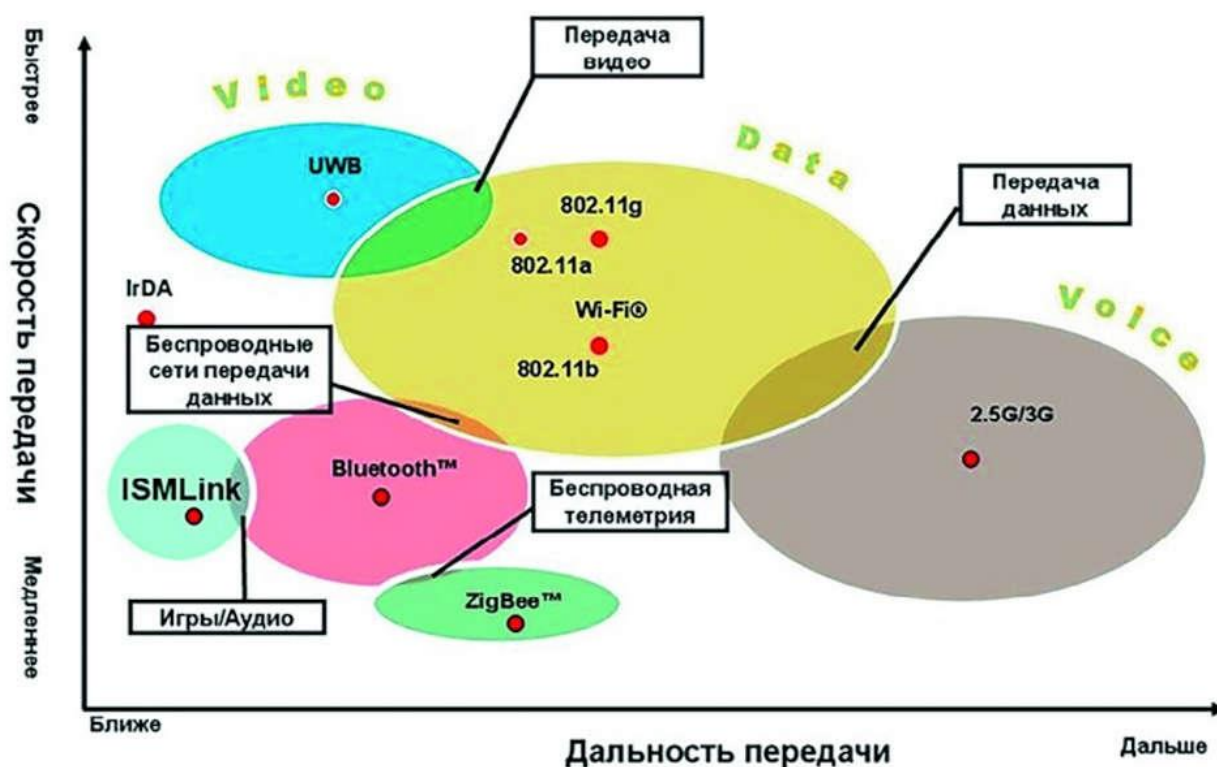


Рис. 1. График сравнения современных беспроводных технологий

Роль беспроводных интерфейсов в мониторинге и управлении.

Беспроводные интерфейсы в периферии исторически решали задачи удобства и мобильности, сегодня они также формируют устойчивый контур задач (например, уровень заряда, качество канала, режимы энергосбережения ...) для телеметрии, удаленного мониторинга и интеллектуального управления устройствами. Домашние и офисные сетевые хранилища данных (Network Attached Storage – NAS) с модулем Wi-Fi интегрируются в кабельно-беспроводную инфраструктуру здания по ГОСТ Р 59487–2021 и становятся управляемыми узлами, эта же мини-архитектура используется в портативных Wi-Fi-накопителях и узлах «Интернета вещей», которые передают данные в центр для интеллектуального мониторинга. Беспроводные интерфейсы связывают датчи-

ки, шлюзы и облако, формируя единый контур мониторинга и управления энергосетями. Современные источники бесперебойного питания с сетевой картой управления фиксируют параметры нагрузки и состояния аккумуляторной батареи и принимают управляющие команды для балансировки нагрузки, предиктивной замены батарей и автоматизации реакции на аварии.

Существующее внедрение беспроводных интерфейсов в мониторинге и управлении энергетическими системами. Система управления батареями ИМПУЛЬС BMS-01 в реальном времени собирает информацию о напряжении на клеммах каждой батареи, токе батарейной цепи и температуре на полюсных выводах. На основе этих данных, получаемых по беспроводным интерфейсам, оператор видит уровень заряда каждого аккумулятора и может выявить неисправные или деградирующие батареи заблаговременно. На рисунке 2 представлен пример системы беспроводного мониторинга батарей (Socomes W-BMS). На каждом аккумуляторе установлен датчик, передающий по радиоканалу ключевые параметры на устройство управления. Центральный контроллер соединен с сетью для передачи данных на персональный компьютер или сервер, где программное обеспечение анализирует состояние каждой батареи и системы в целом.

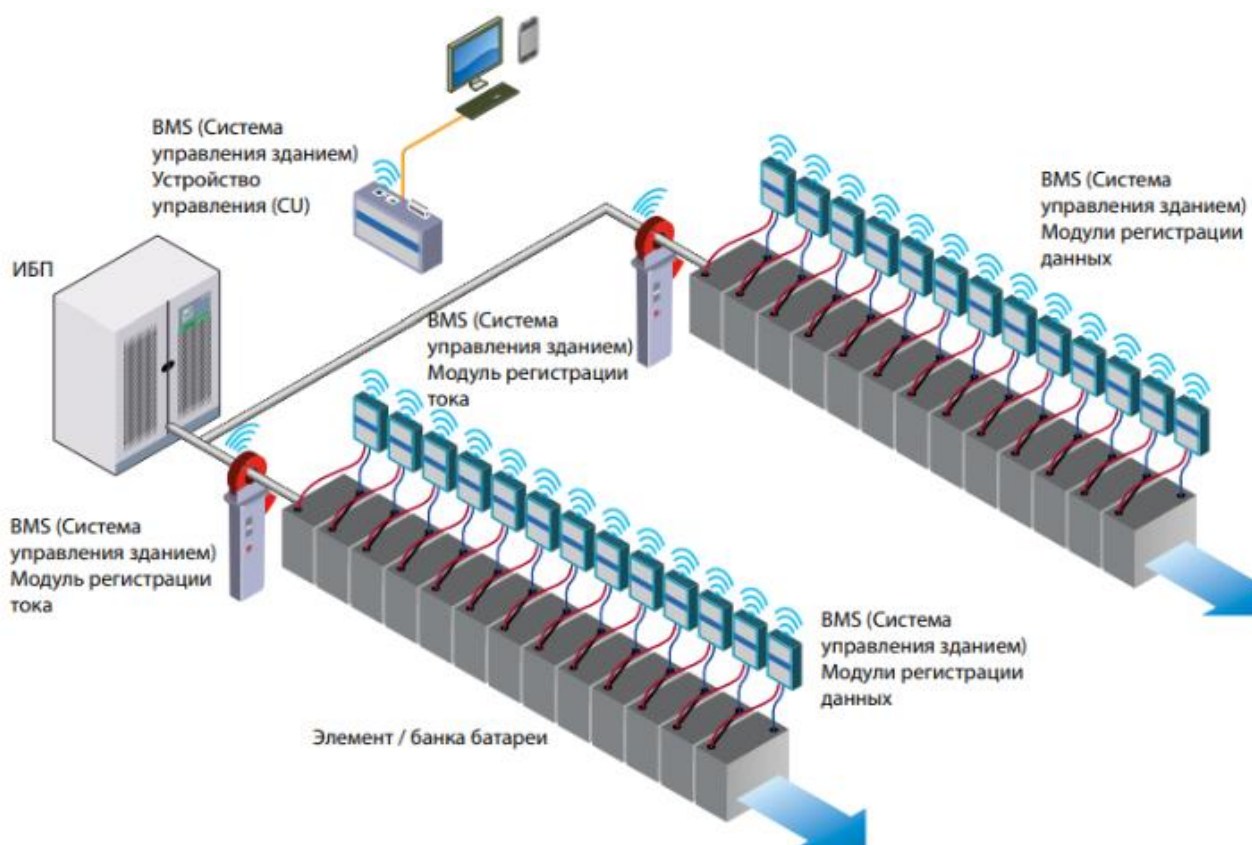


Рис. 2. Система беспроводного мониторинга батарей (Socomes W-BMS)

Вывод. Беспроводные интерфейсы – это ключевая технология, превращающая энергетические узлы в интеллектуальные элементы единого поля наблюдаемости. Также существуют применения беспроводных интерфейсов для удаленного мониторинга и управления в конкретных задачах (например, Socomes W-BMS и ИМПУЛЬС BMS-01). Однако внедрение беспроводных интерфейсов в энергетике еще сталкивается с некоторыми техническими проблемами: требования к надежности, эффективности применения и конкурентоспособности с проводными методами в определенных случаях (особенно в стационарных энергосистемах) [1, 2]. Следовательно, при внедрении технологий беспроводной связи в задачи мониторинга и управления электроэнергетическими системами требуется заранее определить как цели их применения, так и требования к среде эксплуатации (устойчивость и надежность канала, допустимая задержка, ограничения по радиочастотному излучению и помехам), что является ключевым условием достижения максимальной эффективности таких решений. Таким образом поставленные задачи в работе решены, а полученные выводы создают основу для последующих экспериментальных исследований и опытно-конструкторских разработок.

Библиографический список

1. Пипия, Ю. С. Использование технологий «Интернета вещей» в электроэнергетике: возможности и ограничения в процессе перехода / Ю. С. Пипия // Научные записки молодых исследователей. – 2019. – Т. 7, № 5. – С. 56 – 64.
2. Predictive Control Algorithm for a Variable Load Hybrid Power System on the Basis of Power Output Forecast / A. I. Vlasov, B. V. Artemiev, K. V. Selivanov et al. // International Journal of Energy Economics and Policy. – 2022. – V. 12, No. 3. – P. 1 – 7.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЧАСТКА СБОРКИ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

Нгуен Куанг Хиен

*Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия
(e-mail: quanghien15012k@gmail.com)*

Введение. Современные электронные модули для систем управления, телеметрии и энергетики требуют высокой точности сборки, устойчивости к отказам и оптимизации производственных процессов. Усложнение архитек-

туры печатных плат, увеличение плотности монтажа и внедрение технологий поверхностного монтажа (SMT) делают традиционные методы проектирования и организации сборки недостаточно эффективными. В этих условиях важную роль играет имитационное моделирование, позволяющее анализировать, оптимизировать и прогнозировать работу участка сборки без необходимости проведения дорогостоящих и длительных натурных экспериментов. Имитационные модели обеспечивают возможность оценки загрузки оборудования, выявления узких мест производственного процесса, анализа логистики движений изделий и прогнозирования качества сборки. Применение таких цифровых методов способствует повышению эффективности производственного участка, снижению уровня брака и оптимизации энергозатрат на технологические операции [1].

Цель работы. Разработка и исследование имитационной модели участка сборки электронных модулей на печатных платах в целях анализа производственного процесса, выявления факторов, влияющих на его эффективность и определения путей оптимизации технологической последовательности и загрузки оборудования.

Материалы и методы. Для исследования использованы технологическая схема участка сборки печатных плат и нормативные параметры работы оборудования (время установки компонентов, пайки, контроля). Имитационная модель разработана методом дискретно-событийного моделирования в специализированной программной среде. В модели заданы основные технологические операции, очереди и временные задержки. Оценка эффективности выполнялась по показателям времени цикла, загрузки оборудования и числу обработанных плат.

Построение имитационной модели. Имитационная модель участка сборки печатных плат разработана в среде Tecnomatix Plant Simulation с использованием дискретно-событийного подхода. Модель включает основные этапы технологического процесса: подачу заготовок, установку поверхностных компонентов, пайку оплавлением, монтаж элементов «в отверстие», селективную пайку, оптический контроль и финальные операции. Для каждого этапа применены стандартные объекты моделирования (Source, Buffer, SingleProc, ParallelProc, Drain), а движение заготовок между узлами реализовано через блоки Connector. Технологические параметры оборудования заданы на основе нормативных данных: скорости установки компонентов, время пайки, длительность инспекции и возможные задержки. Для учета логики работы оборудования и взаимодействия узлов использованы встроенные средства SimTalk. В модели также предусмотрены очереди, вероятностные распределения времени операций и возможность возникновения отказов. Созданная модель позволя-

ет воспроизводить работу производственной линии, анализировать загрузку оборудования, выявлять узкие места и оценивать влияние изменений в технологической последовательности на производительность участка [2].

На рисунке 1 представлена 3D-модель имитации участка сборки печатных плат, реализованная в среде Tecnomatix Plant Simulation.

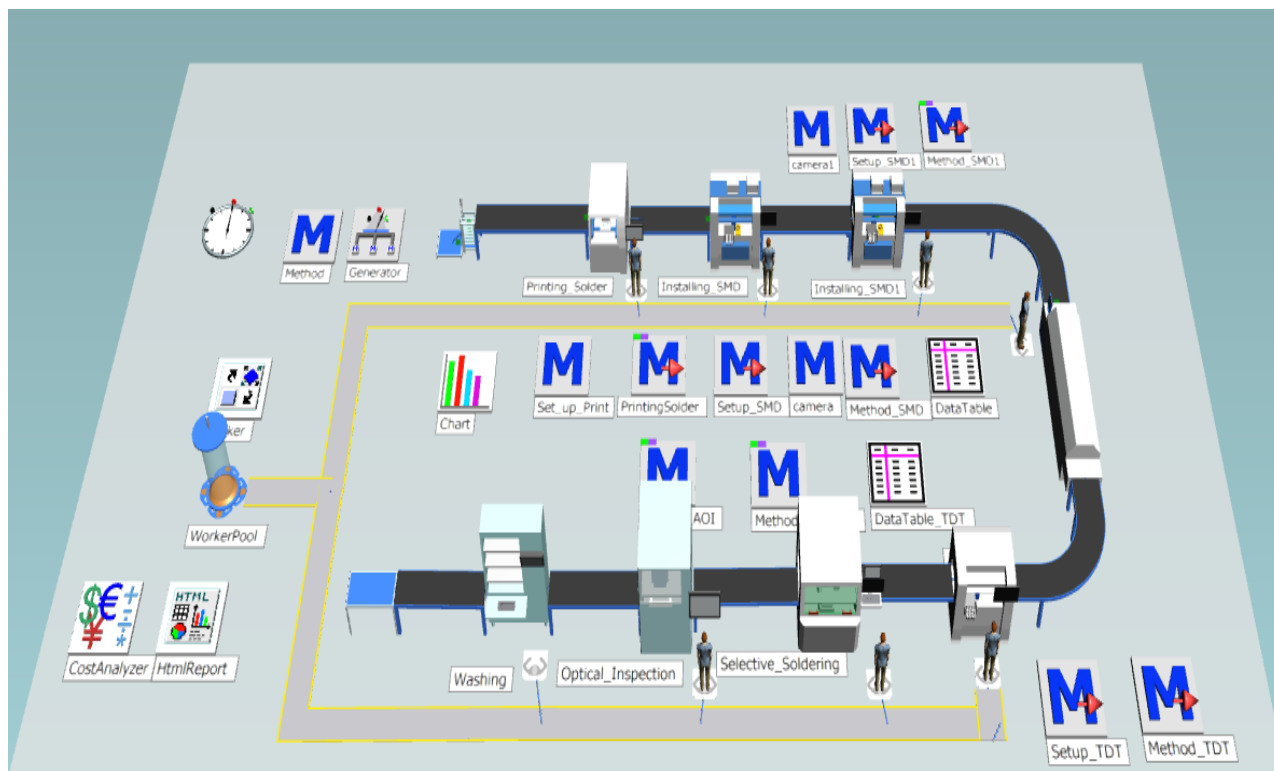


**Рис. 1. 3D-модель имитации участка сборки печатных плат
в среде Tecnomatix Plant Simulation**

Результаты моделирования. В результате имитационного моделирования получены показатели функционирования участка сборки печатных плат. Анализ временных диаграмм и загрузки оборудования показал, что наибольшую продолжительность цикла формируют операции трафаретной печати и установки компонентов, на которых наблюдается повышенная очередь заготовок. Коэффициент загрузки ключевых машин составил 75...90%, что указывает на близость к предельной производительности линии. Путем изменения параметров технологической последовательности и времени обслуживания были исследованы несколько сценариев работы. Модель показала, что оптимизация длительности переналадки и перераспределение потока заготовок уменьшают среднее время цикла на 8...12%. Также выявлены узкие места, устранение которых приводит к увеличению пропускной способности участка без модернизации оборудования.

Результаты имитационного моделирования технологической линии сборки приведены в табл. 1 и на рис. 2.

1. Статистика работы технологической линии

Параметр	Значение
Среднее время сборки одного модуля	3 мин 50 с
Производительность линии (штучное время)	15 шт./ч
Установка трафаретной печати MPM Edison	24,9%
Автомат установки компонентов Topaz Assembleon	74,2%
Печь пайки оплавлением OmniMax 7 (одна дорожка)	88,9%
Ручная установка компонентов	21,5%
Установка селективной пайки Flex-i2	35,6%
Система АОИ Parmi Xseed	25,3%
Установка отмывки AQUBE LH7	25%
Средняя загрузка оборудования	42,2%

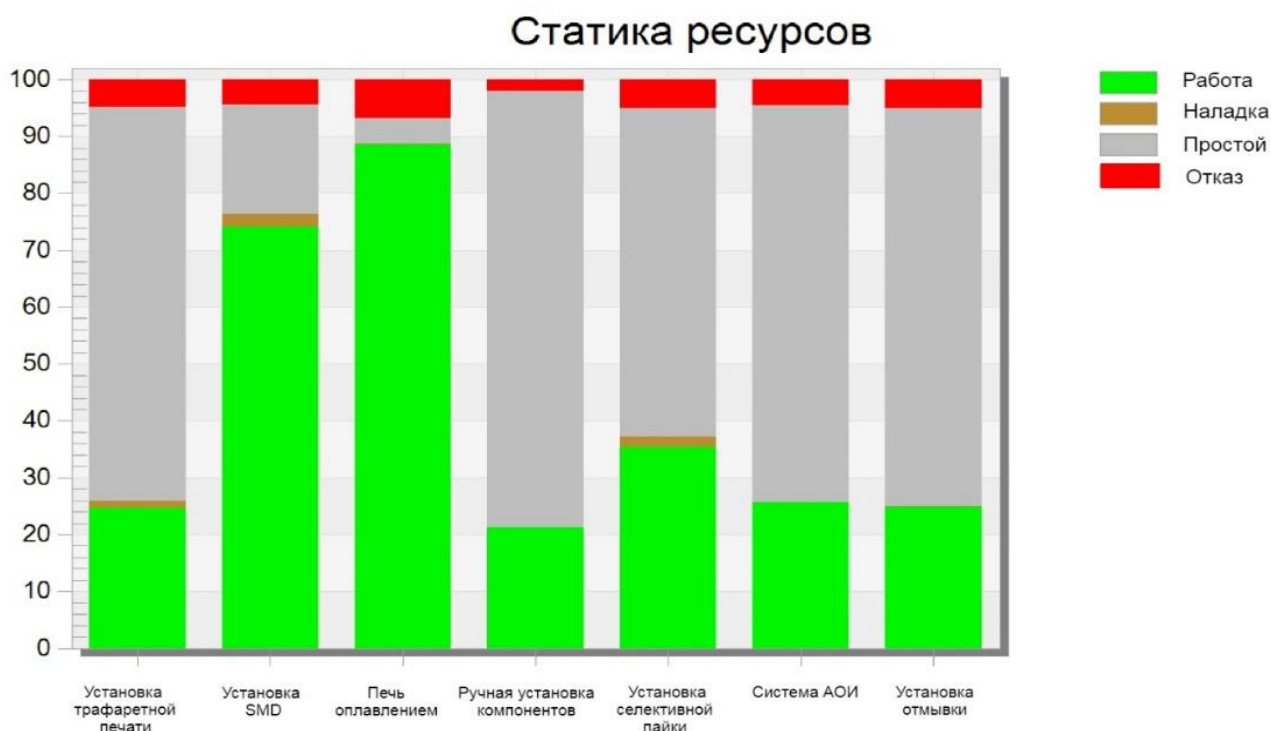


Рис. 2. Результаты имитационного моделирования технологической линии сборки

Полученные результаты подтверждают пригодность предложенной модели для анализа производственного процесса и оценки эффективности различных вариантов организации сборки.

Вывод. В ходе исследования разработана и исследована имитационная модель участка сборки электронных модулей на печатных платах. Модель позволила воспроизвести последовательность технологических операций, оценить загрузку оборудования и выявить узкие места производственного процесса. Полученные результаты показали, что основное влияние на продолжительность цикла оказывают операции трафаретной печати и установки компонентов, где наблюдаются наиболее высокие значения очередей и загрузки машин. Имитационный эксперимент подтвердил, что оптимизация параметров технологической последовательности, сокращение времени переналадки и перераспределение потока заготовок позволяют снизить время цикла на 8...12% и увеличить пропускную способность линии без необходимости модернизации оборудования. Разработанная модель может использоваться для анализа различных вариантов организации производства, планирования загрузки оборудования и подготовки решений по повышению эффективности сборочного участка.

Библиографический список

1. Методы и средства имитационного моделирования при изучении технологической подготовки производства электронной техники / А. Е. Курносенко, И. В. Левин, В. О. Семенякина и др. // Цифровые технологии в инженерном образовании: новые тренды и опыт внедрения : сб. – 2020. – С. 310 – 314.
2. Курносенко, А. Е. Дискретное имитационное моделирование участка сборки электронных модулей на печатных платах / А. Е. Курносенко, В. Х. Нгуен // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2024. – № 2(160). – С. 25 – 32.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР

Х. Ч. Нгуен, Е. А. Буракова, Е. Н. Туголуков, А. В. Рухов, Ю. В. Литовка

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: huutrang93@gmail.com)*

Обладая необычными свойствами, углеродные наноструктуры (нанотрубки, графены, точки) находят применение в разных отраслях, включая энергетику. В энергетическом секторе из углеродных наноматериалов (УНМ) особенно ценятся углеродные нанотрубки за исключительную электропроводность и

механическую прочность, благодаря чему они используются в электродах литий-ионных аккумуляторов, в композитах для изготовления суперконденсаторов, кабелей, солнечных панелей, термоэлектрических устройств и др. [1 – 3]. Однако высокая цена УНМ сдерживает их массовое применение, и производители ведут активный поиск подходов, позволяющих снизить их себестоимость.

Для промышленного производства УНМ наиболее предпочтительным является CVD-метод [4]. Процесс синтеза УНТ данным методом, несмотря на простоту аппаратного оформления и возможность масштабирования, обладает высокой энергоемкостью и поэтому в условиях растущего спроса на данный материал решение вопросов, связанных с энергосбережением, является актуальным.

Целью работы является предложение подхода, позволяющего достичь энергосбережения при производстве УНМ с заданными значениями параметров CVD-методом.

Основные энергозатраты в процессе синтеза углеродных наноструктур CVD-методом связаны с необходимостью обеспечивать равномерный нагрев и поддерживать необходимые температуры для разложения углеродсодержащего сырья и формирования УНТ. Изучив особенности синтеза УНМ рассматриваемым методом, снижение энергоемкости представляется возможным за счет оптимизации параметров процесса, таких как температура и время синтеза, получения и использования наиболее активных форм катализатора и усовершенствованной конструкции реактора (минимизация потерь тепла в окружающую среду).

Учитывая широкое применение информационных технологий во всех сферах, целесообразно при решении вопросов энергосбережения в технологическую систему производства УНТ ввести дополнительное структурное звено – информационную систему поддержки принятия решений (СППР). Предлагаемая авторами в [5] информационная система обеспечивает лицо принимающее решение (ЛПР) информацией о составе катализатора и условиях его получения, обеспечивающих синтез наноструктур с заданными значениями параметров. Получение и использование активной формы катализатора в процессе синтеза УНТ позволяет при одних и тех же затратах энергии и реактивов увеличить выход наноматериала (масса целевого продукта с одного грамма катализатора). Информационная СППР предоставляет возможность ЛПР оценить все варианты реализации процесса получения катализатора, обеспечивающего синтез УНТ с параметрами, значения которых наиболее близки к требуемым заказчиком. Учитывая, что выход и основные параметры наноструктур (диаметр, длина и др.) определяются не только свойствами катализатора, но условиями реализа-

ции синтеза (температура, продолжительность, расход углеродсодержащего газа) целесообразно расширить возможности разработанной информационной системы. Для этого необходимо получить функциональные зависимости параметров синтезируемых наноструктур не только от условий получения катализатора, но и основных управляющих факторов по синтезу УНТ. Схема функционирования предлагаемой информационной системы в ТС производства УНТ представлена на рис. 1.

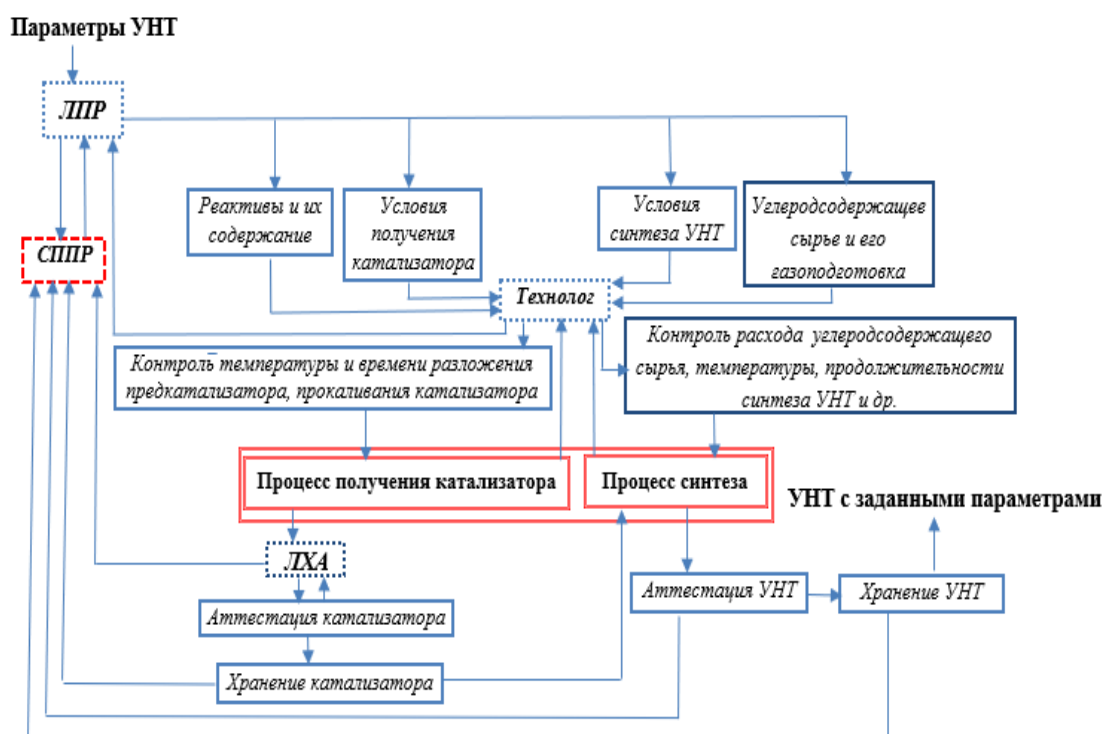


Рис. 1. ТС производства УНТ с использованием информационной системы поддержки принятия решений (ЛХА-лаборант химического анализа)

Наличие СППР в ТС с использованием установленных экспериментально функциональных зависимостей позволит производителю не только без проведения долгих и трудоемких исследований в сжатые сроки организовывать выпуск углеродных наноструктур требуемого качества, но и расширить ассортимент выпускаемых материалов. В настоящее время отсутствие информационных систем поддержки принятия решений на производстве компенсируется увеличением численности научно-технического персонала и времени установления необходимых технологических режимов. Разработка и внедрение в ТС совершенствованной СППР, обеспечивающей определение не только условий формирования катализатора, но и синтеза УНМ с заданными значениями параметров, будет способствовать не только снижению затрат на сырье, энергию, заработную плату научно-технического персонала, необходимого для организации выпуска целевого нанопродукта, но и снижению его себестоимости.

Библиографический список

1. CNTs-Supercapacitors: A Review of Electrode Nanocomposites Based on CNTs, Graphene, Metals, and Polymers / G. B. Pour, H. Ashourifar, L. F. Aval, S. Solaymani // *Symmetry*. – 2023. – No. 15(6). – P. 1179. – URL : <https://doi.org/10.3390/sym15061179>
2. Polyaniline/carbon nanotubes composites: kinetic laws of synthesis, morphology and properties / I. V. Gutnik, T. P. Dyachkova, A. V. Rukhov, et al. // *Advanced materials and technologies*. – 2018. – No. 4. – P. 54 – 68.
3. Properties of Samples from Polymer Materials Manufactured by the Additive Method / V. T. Erofeev, T. F. Elchishcheva, M. V. Makarchuk, et al. // *Solid State Phenomena*. – 2022. – V. 329. – P. 153 – 158.
4. Мищенко, С. В. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение : монография / С. В. Мищенко, А. Г. Ткачев. – М. : Машиностроение, 2008. – 320 с.
5. The Concept of Controlling the Characteristics of Nanotubes by Processing a Catalyst Precursor for Their Synthesis / E. A. Burakova, Yu. V. Litovka, V. A. Nesterov, et al. // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. – 2022. – No. 61(5). – P. 843 – 857.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ЛИНЕЙНОГО ОПТИМАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Нгуен Туан Ань

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет), Москва, Россия

(e-mail: tuananh.ph882@gmail.com)

Современные электроэнергетические системы развиваются в направлении интеллектуальных энергосистем (Smart Grid), где все решения по функционированию и управлению зависят от данных мониторинга в реальном времени [1]. Одновременно интеграция возобновляемых источников энергии, таких как ветер и солнце, вносит стохастический характер и высокую вариативность, что предъявляет строгие требования к точности и надежности систем мониторинга. На практике сигналы, получаемые от датчиков, всегда подвержены влиянию помех и факторов неопределенности. Использование таких неточных данных может привести к ошибочным управляющим решениям, ложным срабатывани-

ям систем управления и снижению общей стабильности системы. В связи с этим исследование и применение алгоритмов, способных устранять помехи и восстанавливать полезный сигнал, представляется чрезвычайно актуальной научной и практической задачей.

Цель работы: повышение точности и надежности процесса мониторинга электроэнергетических систем путем применения алгоритма линейного оптимального оценивания.

В работе применяется подход, основанный на принципах теории оптимального стохастического оценивания. В качестве основного метода применен алгоритм линейного оптимального оценивания, реализованный в виде дискретного фильтра Калмана [2]. Исследование проводилось методом математического моделирования сигнала. Эффективность предложенного подхода оценивалась путем сравнительного анализа ошибки измерений до и после применения алгоритма.

Результаты. Поскольку подавляющее большинство электроэнергетических систем работает на переменном токе, в качестве полезного сигнала был смоделирован дискретный гармонический (синусоидальный) сигнал. Моделирование проводилось в среде Visual Studio на языке C++, который часто используется во встроенных системах управления (embedded systems) с добавлением белого гауссовского шума для имитации зашумленной среды. Алгоритм линейного оптимального оценивания был реализован и применен к этой зашумленной последовательности измерений. Результаты моделирования показывают, что алгоритм способен успешно восстанавливать полезный сигнал, эффективно отфильтровывая случайную шумовую составляющую. Эффективность фильтра наглядно демонстрируется тем, что ошибка оценивания (разница между восстановленным и полезным сигналом) быстро уменьшается и сходится к некоторому малому стационарному значению (близкому к нулю). На графиках ниже (рис. 1) демонстрируется способность фильтра к восстановлению сигнала, а (рис. 2) показывает ошибку измерения (до применения фильтра) и ошибку оценивания (после применения фильтра).

Таким образом, поставленная в работе цель достигнута. Продемонстрировано, что применение алгоритма линейного оптимального оценивания позволяет значительно повысить точность и надежность данных мониторинга. Практическая ценность работы заключается в том, что полученный «чистый» (оцененный) сигнал может быть немедленно использован для повышения точности и быстродействия систем релейной защиты и автоматики. Это позволяет предотвращать ложные срабатывания, вызванные зашумленными измерениями, и повышает общую надежность энергосистемы.

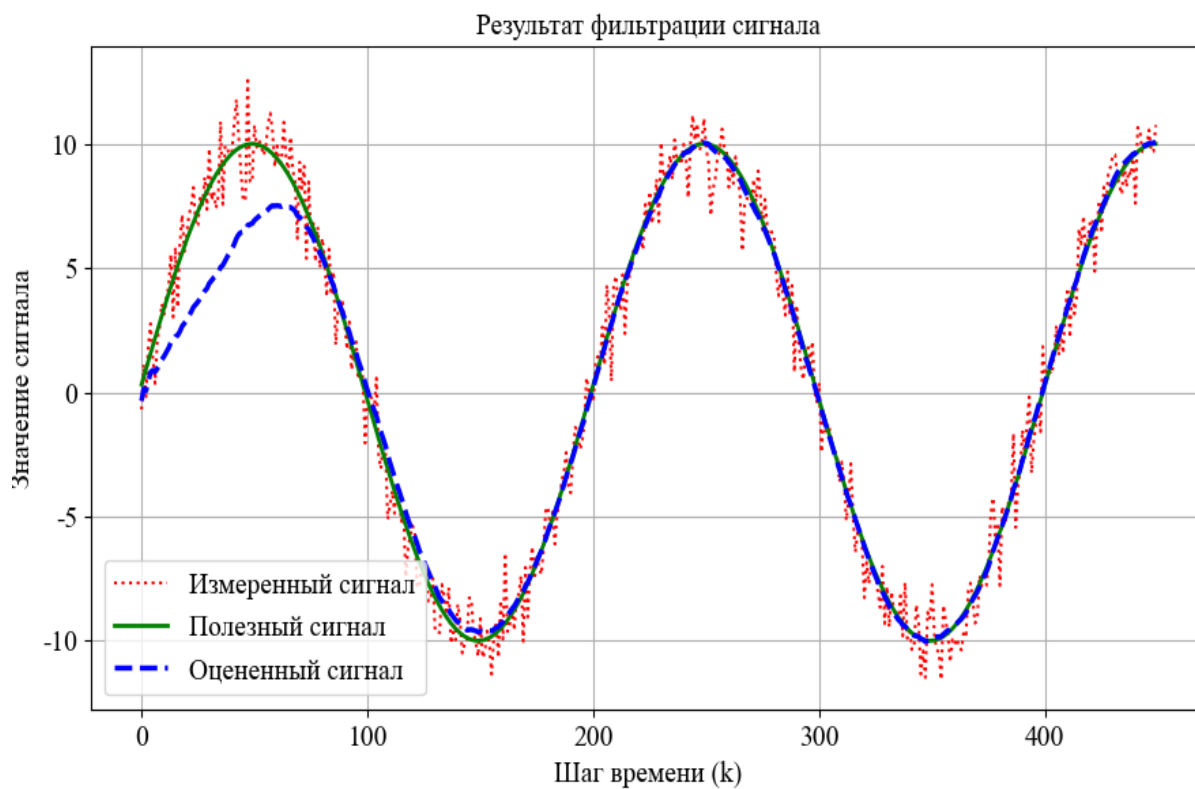


Рис. 1. Результат фильтрации сигнала

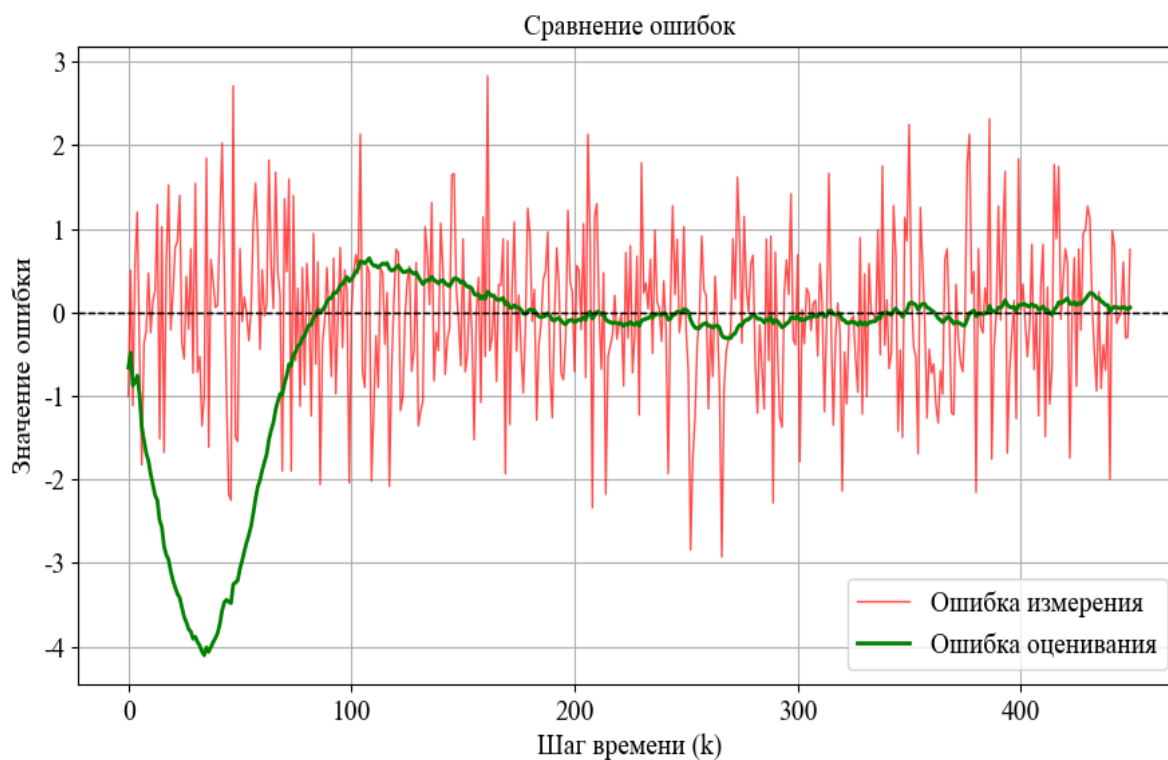


Рис. 2. Сравнение ошибки измерения и ошибки оценивания

Отфильтрованные и восстановленные данные рекомендуется использовать в качестве входных сигналов для цифровых систем управления и алгоритмов прогнозирования, где точность входных данных является критически важ-

ной. Возможные направления дальнейших исследований могут включать применение более сложных (робастных) алгоритмов, таких как расширенный фильтр Калмана (EKF) или Unscented Kalman Filter (UKF), для нелинейных моделей в электроэнергетике.

Библиографический список

1. Зацепина, В. И. Концепция интеллектуальной системы Smart Grid для цифровизации децентрализованных электрических сетей / В. И. Зацепина, К. В. Седых // Лучшая студенческая статья 2020 : сб. ст. II Междунар. науч.-исслед. конкурса : в 5 ч. – 2020. – С. 22 – 26.

2. Миллер, Б. М. Робастное оценивание на основе метода наименьших модулей и фильтра Калмана / Б. М. Миллер, К. С. Колосов // Автоматика и телемеханика. – 2020. – № 11. – С. 72 – 92.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

А. Н. Николаев¹, А. С. Ведерников¹, Н. А. Ведерников²

¹ *Самарский государственный технический университет», Самара, Россия*

² *МБОУ ЛИЦЕЙ «Технический», Самара, Россия*

(e-mail: nikola12332110@gmail.com)

Современная электроэнергетика все активнее переходит к использованию возобновляемых источников энергии, включая солнечные и ветровые электростанции, основанные на энергии природных процессов и биомассы [1]. Этот рост доли ВИЭ связан с глобальными экологическими требованиями, стремлением сократить углеродные выбросы и уменьшить зависимость от традиционных видов топлива. В России также реализуются крупные проекты по солнечной и ветровой генерации. Однако ключевой особенностью ВИЭ остается высокая вариабельность выработки, напрямую зависящей от метеорологических условий, что приводит к нестабильности и усложняет задачи планирования и балансирования энергосистем. В отличие от управляемых традиционных станций, ВИЭ генерируют энергию только при наличии соответствующей инсоляции или ветра, что требует применения более точных прогнозных моделей и средств автоматизированного управления режимами.

Одним из наиболее активных российских регионов по внедрению ВИЭ является Объединенная энергосистема (ОЭС) Средней Волги. Климатические условия – высокий уровень солнечной активности и значительный ветровой потенциал – способствуют развитию соответствующих технологий. В регионе эксплуатируются восемь крупных СЭС и ВЭС общей установленной мощностью 296,65 МВт, что уже заметно влияет на режимы энергосистемы. Эти объекты позволяют диверсифицировать энергобаланс, но вносят дополнительные риски из-за высокой изменчивости генерации. Даже кратковременные отклонения в выработке требуют оперативной корректировки, поэтому точность прогнозирования становится критически важной – небольшие ошибки могут привести к дисбалансам, привлечению резервов и перегрузкам сетевых элементов.

Наиболее остро проблема проявляется на первом этапе планирования (ВСВГО), определяющем перечень генерирующего оборудования на предстоящие сутки [2]. Применяемые методы основаны на упрощенных нормативах и имеют серьезные недостатки:

1. Использование усредненных исторических данных: например, применение 80% установленной мощности СЭС по данным предыдущего года, что игнорирует текущие погодные условия и не позволяет корректно учитывать новые станции.

2. Несоответствие реальным режимам работы: солнечные станции могут работать только в дневные часы, а ночная корректировка мощности ВЭС – снижение с 80 до 20% – не соответствует реальным ветровым характеристикам.

В результате формируются прогнозы, не отражающие фактическую выработку. На этапе формирования ПДГ используются прогнозы станции и диспетчера, а затем выполняется их сравнение для выбора наиболее надежного варианта. Эта процедура связана с подачей заявок на оптовом рынке [3]. Тем не менее отклонения фактической генерации более чем на $\pm 10\%$ приводят к штрафам и нарушению баланса, что показывает недостаточность существующих методик.

Существующие подходы не учитывают текущие природные условия и технические особенности оборудования, что делает прогнозы недостаточно точными. Для улучшения ситуации предлагается создание адаптивной математической модели прогнозирования, опирающейся на несколько групп данных:

- метеорологические параметры (облачность, радиация, скорость ветра и т.д.);
- технические характеристики станции и ее оборудования;

- исторические зависимости между выработкой и погодой;
- оперативные данные диспетчерского управления.

Комплексная модель позволит перейти от статических коэффициентов к динамическому прогнозированию с учетом реальных условий. На основе такой модели целесообразно разработать программный комплекс, интегрированный в систему планирования энергосистемы, который будет обновлять прогнозы в реальном времени и улучшать качество расчетов при формировании ВСВГО и ПДГ.

Анализ показал, что существующие методы прогнозирования ВИЭ обеспечивают низкую точность, поскольку опираются на усредненные коэффициенты и не учитывают текущие погодные и технические факторы. Это приводит к значительным расхождениям между прогнозной и фактической генерацией, вызывает риски перегрузки сетей, необходимость маневровой мощности и финансовые потери. Переход к адаптивным динамическим моделям, использующим статистический анализ, алгоритмы машинного обучения и нейросетевые методы, позволит существенно повысить точность как краткосрочного, так и среднесрочного прогнозирования. Интеграция таких решений в процессы планирования и диспетчеризации обеспечит автоматическую корректировку прогнозов, повысит устойчивость энергосистемы при высокой доле ВИЭ и снизит эксплуатационные затраты. Таким образом, внедрение предложенного подхода создает основу для развития интеллектуальных систем управления режимами и повышения эффективности функционирования энергосистем в условиях растущей доли возобновляемой генерации.

Библиографический список

1. Лукутин, Б. В. Возобновляемые источники электроэнергии : учебное пособие / Б. В. Лукутин. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 184 с.
2. Планирование режимов работы электроэнергетических систем : учебное пособие / А. С. Ведерников, А. В. Гофман, Л. А. Кеткин и др. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 193 с.
3. Договор о присоединении к торговой системе оптового рынка электрической энергии и мощности / Некоммерческое партнерство «Совет рынка». – М. : Совет рынка, 2010. – 45 с.

ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА И ПРИМЕНЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОДСТАНЦИЯХ 110/10 кВ

Р. Д. Олейников, В. И. Зацепина

*Липецкий государственный технический институт, Липецк, Россия
(e-mail: roma.oleynikov@gmail.com, vizatsepina@yandex.com)*

Обеспечение устойчивости технологических процессов на энергоемких промышленных предприятиях является одной из приоритетных задач современной электроэнергетики. Особую значимость этот вопрос приобретает для потребителей, в составе нагрузки которых преобладают мощные синхронные и асинхронные электродвигатели напряжением 6...10 кВ. Актуальность исследования обусловлена тем, что традиционные устройства автоматического ввода резерва (АВР), реагирующие лишь на снижение напряжения, обладают недопустимо большим временем срабатывания. Это приводит либо к отключению двигателей защитами минимального напряжения, либо к их повреждению при несинхронном включении резервного источника. Новизна работы заключается в теоретическом обосновании алгоритмов переключения, базирующихся не на статических уставках напряжения, а на анализе динамики изменения фазового угла между векторами электродвижущей силы (ЭДС) выбегающей нагрузки и напряжения резервной сети. Целью исследования является определение принципов выбора и настройки систем быстродействующего АВР (БАВР) для подстанций 110/10 кВ. Для достижения цели решены задачи анализа электромеханических переходных процессов при потере питания, определения временных ограничений коммутации и формулирования требований к аппаратному обеспечению.

Теоретический базис выбора систем БАВР строится на анализе переходных процессов, возникающих в узле нагрузки при отделении его от энергосистемы. В отличие от пассивной нагрузки, двигатели в момент потери питания переходят в генераторный режим, поддерживая на шинах остаточное напряжение. Ключевым параметром, определяющим успех автоматического ввода резерва, становится не величина этого напряжения, а его фаза и частота. В процессе выбега частота вращения роторов снижается, что приводит к нарастанию угла рассогласования между вектором остаточной ЭДС на шинах и вектором напряжения резервного источника. Теоретически выделяется критическая зона «противофазы» (угол рассогласования близко к 180 градусам), включение в которой эквивалентно короткому замыканию с удвоенной амплитудой напря-

жения, что неизбежно ведет к разрушению муфт, валов двигателей и обмоток статора.

Исходя из динамики выбега, эффективный алгоритм БАВР должен обеспечить коммутацию в так называемой «зоне безопасного включения». Анализ показывает, что для сохранения устойчивости синхронных двигателей и непрерывности техпроцесса время перерыва питания не должно превышать 0,1...0,15 с. В этот короткий промежуток времени угол рассогласования фаз еще не достигает критических значений (как правило, до 60...90 электрических градусов), а снижение частоты вращения несущественно. Традиционные схемы АВР с выдержкой времени 0,5 с и более неизбежно попадают в опасную зону противофазы, что делает их применение на подстанциях с двигательной нагрузкой теоретически ошибочным.

Реализация сверхбыстрого переключения накладывает жесткие требования не только на алгоритмы выявления аварии, но и на силовое коммутационное оборудование. Теоретически и практически доказано, что применение масляных выключателей в системах БАВР недопустимо из-за их инерционности и разброса времени включения. Единственным обоснованным решением является использование быстродействующих вакуумных выключателей, собственное время включения которых не превышает 30...50 мс. Только совокупность быстродействующей цифровой логики (время реакции терминала 10...20 мс) и современного вакуумного выключателя позволяет уложиться в суммарный цикл переключения до 100 мс, обеспечивая безударный подхват нагрузки.

Отдельного внимания заслуживает вопрос координации БАВР с релейной защитой. Принципиально важно, чтобы пусковой орган автоматики умел мгновенно различать потерю питания со стороны внешней сети и короткое замыкание (КЗ) на шинах самой подстанции или отходящих фидерах. Включение резерва на неустраненное КЗ недопустимо. Для решения этой задачи теоретически обосновано применение быстродействующих органов направления мощности или тока. Если фиксируется протекание тока КЗ от шин в сторону источника питания или отходящей линии, работа БАВР должна блокироваться безынерционно. В сетях с наличием источников высших гармоник (например, при наличии частотных преобразователей) алгоритмы измерения должны в обязательном порядке использовать методы цифровой обработки сигналов для вычисления действующих значений (True RMS) во избежание ложных срабатываний.

В ситуациях, когда сверхбыстрое переключение невозможно (например, при отказе выключателя или сложной топологии сети), система должна переходить на резервный алгоритм «улавливания синхронизма». Теоретическая суть

метода заключается в прогнозировании момента, когда скользящий вектор ЭДС выбегающих двигателей вновь совпадет по фазе с вектором сети. Такой подход позволяет безопасно включить резерв даже спустя значительное время (1...2 с), предотвращая ударные токи, хотя и с риском останова части механизмов из-за глубокой просадки оборотов.

Подводя итог, можно заключить, что выбор и применение БАВР на промышленных подстанциях 110/10 кВ требует комплексного подхода, учитывающего динамические свойства нагрузки. Установлено, что главным критерием выбора является способность системы обеспечить время переключения менее 100 мс, что критически важно для удержания в синхронизме ответственных электроприводов.

Сформулированные выводы указывают на необходимость отказа от простейших логик АВР по напряжению в пользу микропроцессорных устройств с функцией контроля фазового угла и частоты. В качестве обязательной рекомендации для модернизации подстанций следует принять замену коммутационных аппаратов на быстродействующие вакуумные выключатели.

Направлением дальнейших исследований является интеграция алгоритмов БАВР в протоколы стандарта IEC 61850 (цифровая подстанция). Использование GOOSE-сообщений для обмена сигналами блокировок между терминалами защит и автоматики позволит дополнительно сократить время реакции системы, приближая его к теоретическому минимуму, и повысить общую надежность электроснабжения промышленных предприятий.

Библиографический список

1. Щербо, А. Ю. Устройства быстродействующего автоматического ввода резерва / А. Ю. Щербо. – 2018. – 56 с.
2. Ищенко, Д. А. Быстродействующий автоматический ввод резерва для систем электроснабжения с высоковольтными асинхронными двигателями : дис. канд. техн. наук / Д. А. Ищенко. – М., 2003. – 199 с.
3. Ершов, А. М. Системы электроснабжения промышленных предприятий и городов. Ч. 4. Электроснабжение промышленных предприятий / А. М. Ершов. – Челябинск, 2020. – 120 с.
4. Пустоветов, М. Ю. Быстродействующее устройство автоматического ввода резерва для высоковольтных асинхронных двигателей и гидравлический удар / М. Ю. Пустоветов // Электроэнергетика. – 2012. – № 3. – С. 34 – 39.
5. Семенов, Д. А. Автоматический ввод резерва в системе собственных нужд тепловых электростанций / Д. А. Семенов // Вестник ТЭЦ. – 2003. – № 5. – С. 15 – 21.

6. Цирус, С. А. Повышение надежности электроснабжения потребителей котельного цеха / С. А. Цирус // Вестник энергетики и промышленности. – 2015. – № 11. – С. 45 – 50.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИНФРАСТРУКТУРЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

А. С. Платонов, Е. А. Майстренко

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: AndPL32501@mail.ru)*

Компьютерное зрение – это область искусственного интеллекта, которая позволяет компьютерам и системам извлекать информацию из цифровых изображений, видео и других визуальных входных данных – и на основе этой информации принимать действия или давать рекомендации. В основе таких современных систем лежат алгоритмы глубокого обучения и, в частности, сверточные нейронные сети, которые можно натренировать распознавать паттерны, объекты и дефекты на изображениях с точностью, превышающей человеческую.

Одной из ключевых задач компьютерного зрения в электроэнергетике является мониторинг воздушных линий электропередачи. Это наиболее распространенное применение, при котором для съемки активно используются дроны. Алгоритмы анализируют полученные изображения, чтобы автоматически обнаруживать дефекты: трещины и сколы изоляторов, коррозию металлических конструкций и траверс, обрыв или повреждение проводов, а также деформацию элементов опор. Это позволяет выявлять проблемы до их перерастания в серьезные аварии.

Второе важное направление – это диагностика подстанционного оборудования. С помощью анализа изображений со стационарных камер и переносных тепловизоров решается ряд критических задач. Тепловизионный анализ позволяет выявить аномальные перегревы на контактах разъединителей, трансформаторах и соединениях шин, что служит прямым признаком будущей аварии. Кроме того, системы обнаруживают утечки масла из трансформаторов и автоматически считывают показания приборов и счетчиков, обеспечивая непрерывный контроль без участия человека.

Отдельная сфера применения – контроль охранных зон и обеспечение безопасности. Компьютерное зрение помогает предотвращать аварии, обнару-

живая посторонние объекты, представляющие угрозу: деревья, растущие близко к проводам, строительную технику, незаконные постройки. Технологии также используются для борьбы с вандализмом и хищениями через распознавание лиц и автомобильных номеров, а также для контроля соблюдения техники безопасности, например, выявления случаев, когда персонал работает без каски или средств индивидуальной защиты (рис. 1).

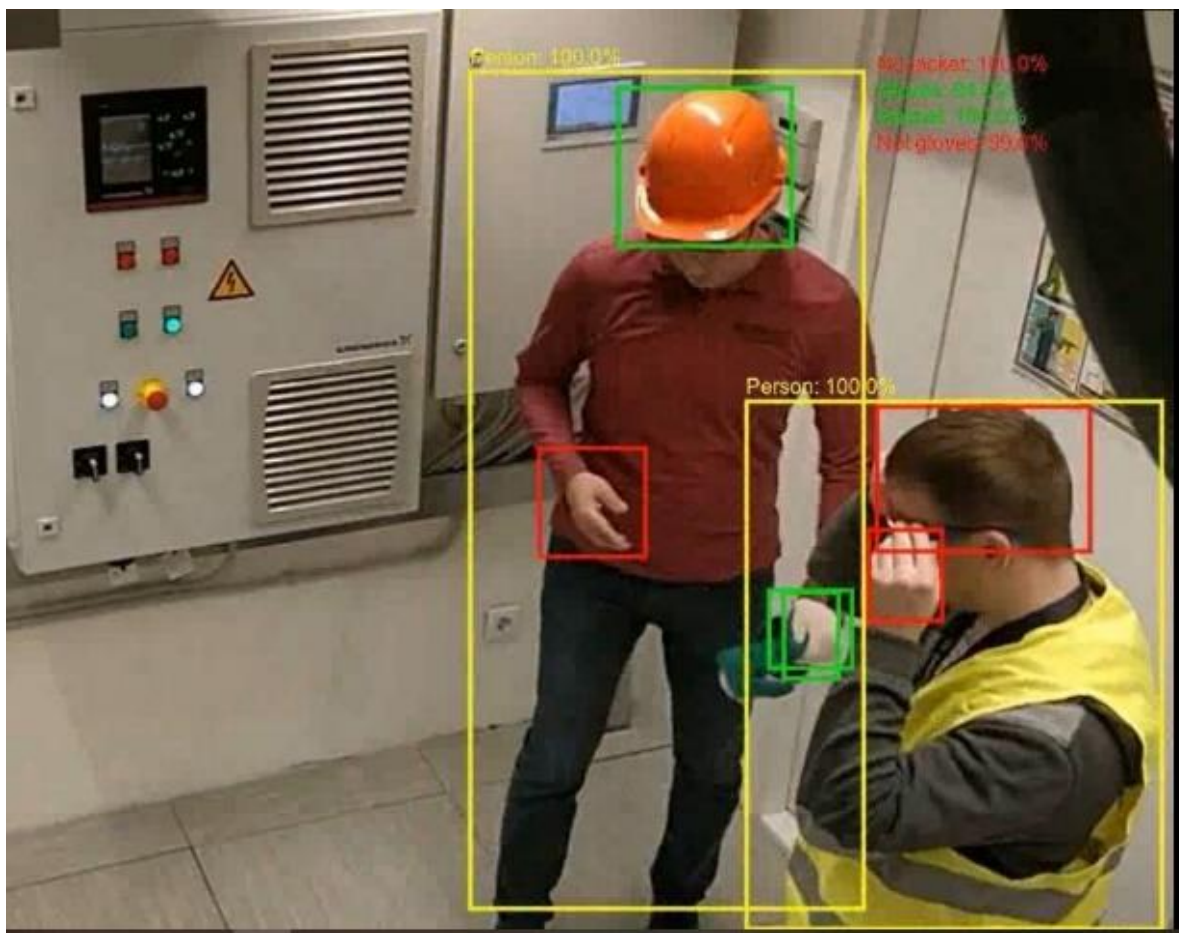


Рис. 1. Пример компьютерного зрения для контроля техники безопасности

Технологический процесс работы представляет собой непрерывный цикл. Он начинается со сбора данных с помощью дронов с камерами высокого разрешения и тепловизорами, а также стационарных камер на подстанциях. Затем полученные изображения и видео анализируются алгоритмами ИИ, которые сегментируют изображение, находят объекты (опора, изолятор, провод), классифицируют их и ищут отклонения. Завершающий этап – формирование отчета с уровнем критичности дефектов для принятия решений, планирования ремонтов и отслеживания динамики состояния.

Внедрение компьютерного зрения дает ряд значительных преимуществ: повышение надежности сети за счет перехода к предиктивному обслуживанию,

и предотвращению аварий, а также снижение затрат на внеплановые ремонты и оптимизацию ресурсов. Дополнительные выгоды включают повышение безопасности персонала, исключенного из опасных процессов, полную объективность данных и высокую оперативность обследования.

Компьютерное зрение перестало быть экспериментальной технологией и стало реальным рабочим инструментом для электросетевых компаний. Оно позволяет кардинально изменить систему обслуживания сетей, делая ее цифровой, прогнозной и эффективной.

Внедрение компьютерного зрения – это не просто оптимизация процесса, это стратегический шаг к созданию «интеллектуальных» сетей, устойчивых к вызовам современности.

Библиографический список

1. Цифровизация в электроэнергетике: на пути к новой реальности [Электронный ресурс] – URL : <https://marketelectro.ru/content/cifrovizaciya-velektroenergetike-na-puti-k-novoy-realnosti?ysclid=lpvjez687d87847117>
2. Егоров, А. А. Тенденции мирового рынка информационных технологий в энергетике (умный мониторинг, цифровые двойники, компьютерное зрение, искусственный интеллект). Ч. 1 / А. А. Егоров // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2022. – № 12(161). – С. 8 – 24.
3. Мониторинг сложных объектов инфраструктуры / Д. А. Гура, Ю. В. Дубенко, П. Ю. Бучацкий и др. // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 4(251). – С. 74 – 80.
4. Никонов, А. А. Распределенная система автоматизированного мониторинга сложных объектов гражданской инфраструктуры с использованием контейнеризации и гибкого масштабирования / А. А. Никонов // Вестник науки. – 2025. – Т. 2, № 1(82). – С. 1041 – 1045.
5. Горохова, Р. И. Алгоритмы обнаружения дублирующего контента в изображениях критической информационной инфраструктуры с использованием методов машинного обучения / Р. И. Горохова, П. В. Никитин // Национальная безопасность. – 2024. – № 6. – С. 32 – 46.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ

К. А. Позднышева

Научный руководитель: А. А. Терехова

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: kristinapozdnyseva@gmail.com)*

Из года в год электрические сети изнашиваются и устаревают. Модернизация энергосистем не успевает за быстрым ростом новых нагрузок, связанных с экономическим развитием, урбанизацией и многими другими факторами. Это приводит к критическим, а в большинстве случаев – к аварийным ситуациям. Предупредить и предотвратить их привычными методами, такими как визуальный осмотр, эксплуатационный контроль и диагностика с испытаниями, затруднительно. Эти методы позволяют зафиксировать аварию, когда она уже произошла, но не обнаружить скрытых дефектов. Современные системы управления не в силах обработать большие объемы данных, в которых могут содержаться предпосылки поломки. Лучшим решением будет использование методов прогнозирования и предотвращения аварий на основе анализа больших данных.

Анализ больших данных (Big Data) – сбор, обработка и анализ обширных массивов информации с целью выявления закономерностей и получения аналитических сведений для принятия обоснованных управленческих решений. В электроэнергетической отрасли для целей предиктивного анализа используется широкий спектр источников данных, формирующих целостную цифровую модель сети:

- Датчики, установленные на энергетическом оборудовании. Данные устройства преобразуют значения физических величин в электрические сигналы, что позволяет осуществлять непрерывный мониторинг и контроль параметров работы оборудования, таких как температура, давление, электрические величины (ток, напряжение) и т.д.
- Интеллектуальные приборы учета электроэнергии. Позволяют осуществлять дистанционное управление энергопотреблением и анализировать параметры сети в режиме реального времени.
- Метеорологическая информация. Используется для прогнозирования объемов потребления электроэнергии (например, при понижении температуры окружающей среды – для расчета потребления тепла) и выработки электроэнергии, а также для планирования работы электрических сетей и управления аварийными ситуациями.

Предиктивная модель представляет собой алгоритм машинного обучения, который анализирует большие потоки данных с целью выявления неочевидных взаимосвязей. Система не ограничивается фиксацией превышения допустимого значения отдельного параметра, а анализирует совокупность факторов, выявляя именно ту комбинацию, которая с высокой степенью вероятности указывает на развитие дефекта изоляции.

Возьмем в пример подстанцию X, на которой установлен трансформатор старой модели. Через 3 месяца по графику должно было состояться его следующее техническое обслуживание, но датчики сообщили о риске диспетчерам. Нагрузку перебросили на ближайшую подстанцию, а ремонтная бригада выехала на ремонт X. Во время осмотра выявили начало развития межвиткового замыкания. Потребовалась замена лишь одной секции обмотки, что позволило сэкономить десятки миллионов рублей на покупке и установке нового трансформатора.

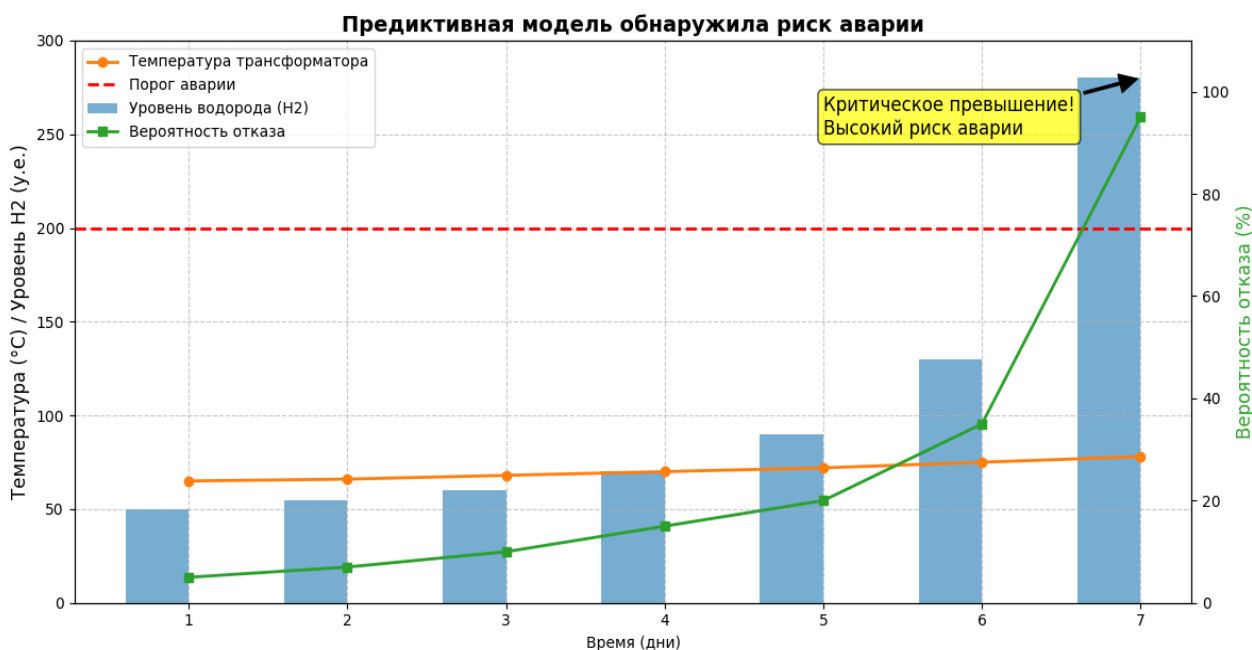


Рис. 1. Пример обнаружения риска аварий

Таким образом, внедрение методов предиктивной аналитики является перспективным направлением в развитии электроэнергетики. Использование этих подходов позволяет перейти от планового обслуживания к мониторингу фактического состояния машин. Реализация методов предиктивной аналитики способствует повышению эксплуатационной надежности энергетических сетей, тем самым сокращая операционные затраты. Развитие этого направления в дальнейшем повысит эффективность управления энергосистемами.

Библиографический список

1. Формирование модели интеллектуального программного аналитического комплекса в электроэнергетике / В. В. Антонов, Л. Е. Родионова, Л. А. Кромина, А. Р. Фахруллина, Л. И. Баймурзина // *Онтология проектирования*. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 507 – 519.
2. Сидоров, В. А. Предиктивная аналитика в практике эксплуатации механического оборудования / В. А. Сидоров, А. Е. Сушко // *Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов*. – 2024. – № 6. – С. 12 – 23.
3. Построение моделей предиктивной аналитики для повышения надежности функционирования объектов электроэнергетики // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. – URL : <http://siit.ugatu.su/index.php/journal/article/view/236> (дата обращения: 14.11.2025).
4. Формальная модель процессов взаимодействия компонентов программных систем на основе фрактального подхода / Г. Г. Куликов, В. В. Антонов, А. Р. Фахруллина, Л. Е. Родионова // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. – 2018. – № 4. – С. 48 – 69.
5. Калинин, В. Ф. Анализ методов представления данных искусственной нейронной сети для управления электроэнергетическими системами / В. Ф. Калинин, Н. М. Зяблов // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. – 2017. – Т. 4. – С. 609 – 616.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ЦИФРОВОЙ RFID-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В. В. Попов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: vadim.popov.2002@bk.ru)*

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), или дроны, становятся все более важным инструментом в различных областях, включая транспорт, безопасность и управление дорожным движением. Одной из ключевых сфер применения БПЛА является мониторинг и слежение за транспортными средствами на дорогах. Данная статья рассмотрит возможности и преимущества использо-

вания БПЛА для слежения за движением транспорта, особенности их интеграции в транспортные системы и вызовы, с которыми сталкивается данная технология.

Одной из важных функций БПЛА является мониторинг автомобильного трафика. В условиях увеличения количества транспортных средств использование беспилотных технологий для контроля и анализа дорожной ситуации становится более эффективным, надежным и безопасным по сравнению с традиционной дорожной патрульной службой.

На рисунке 1 изображено достаточно интенсивное движение автомобилей, и при обнаружении одного объекта из потока возможны ошибки, такие как наложение нескольких объектов в одну рамку. Хотя такие ошибки не являются критическими для задач регулирования дорожного движения, они значительно усложняют поиск конкретного транспортного средства с определенными характеристиками [1, с. 142].

Сами БПЛА, выполняя съемку с воздуха, не отвлекают водителей и не создают помех на дороге. Кроме того, использование беспилотных летательных аппаратов позволяет отказаться от привлечения пилотируемых воздушных судов, что снижает риски для персонала и уменьшает финансовые расходы, связанные с эксплуатацией малой авиации. Для повышения надежности современные модели оснащаются навигационным оборудованием, устойчивым к электромагнитным помехам, а также системами резервирования ключевых компонентов, обеспечивающими своевременную передачу высокоточной и детализированной информации [2, с. 94].

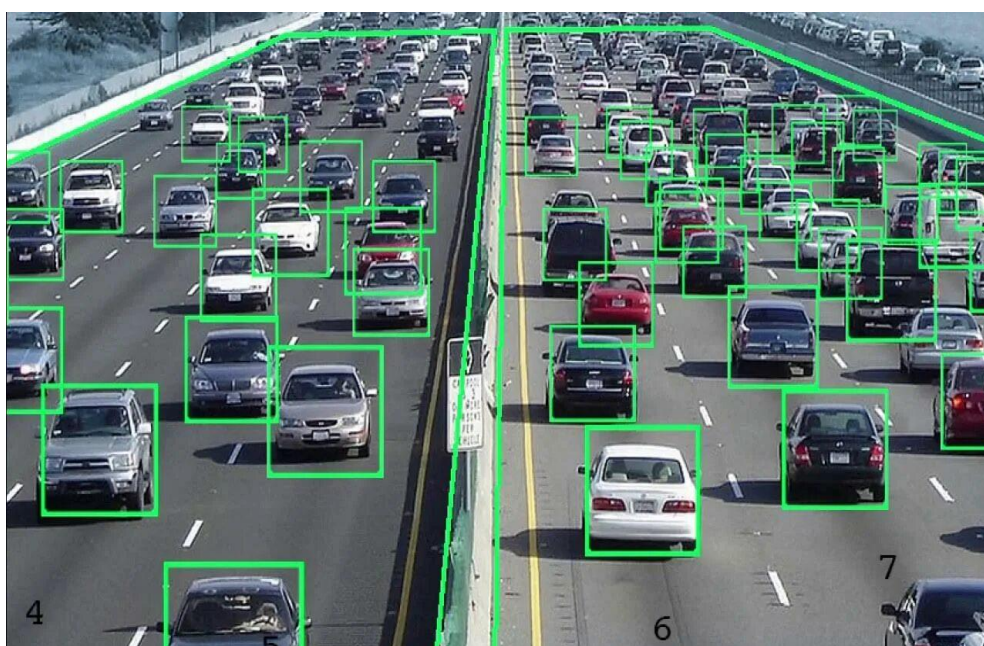


Рис. 1. Детектирования транспортных средств

Для того, чтобы произвести мониторинг транспортного потока нужно произвести исследование дорожного полотна на предмет соответствия проекту организации дорожного движения (ПОДД) на заданном участке, затем произвести оценку обстановки в случае возникновения нештатных ситуаций (при недоступности места происшествия для патруля ДПС). В конце мониторинга выявляется и идентифицируется разыскиваемое транспортное средство. В случае обнаружения разыскиваемых или недавно угнанных автомобилей устройство передает соответствующие сведения оператору и сопровождает транспортное средство до ближайшего поста ДПС для задержания. Для проведения таких действий используется комплекс БПЛА (рис. 2) [3, с. 1].

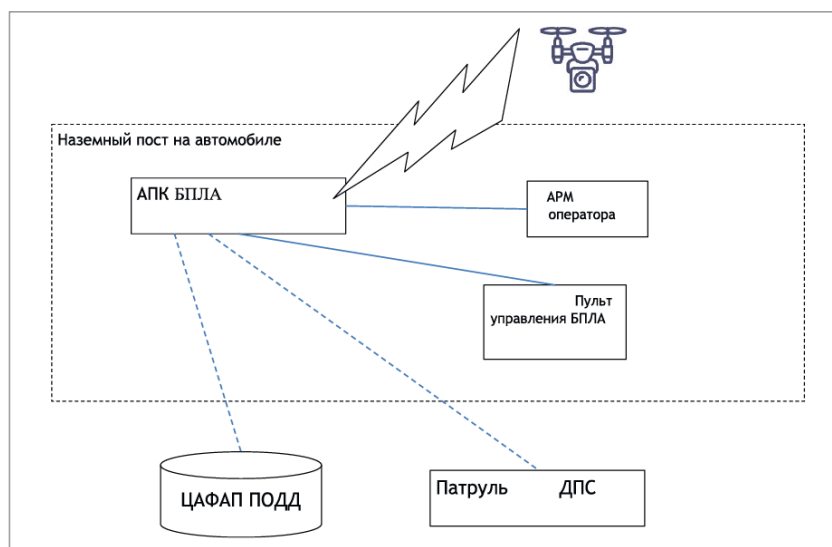


Рис. 2. Структурная схема комплекса БПЛА

Чаще всего дорожно-транспортные происшествия создают заторы, блокируют направления и развязки на крупных автомагистралях, что вызывает значительные пробки. Поэтому основными задачами сотрудников ДПС, прибывших на место ДТП, являются оказание помощи пострадавшим и оформление необходимых документов. Использование фото- и видеофиксации, а также БПЛА при осмотре места происшествия способствует более быстрому освобождению проезжей части. Благодаря возможности оперативного осмотра и фиксации обстановки с воздуха, оператор беспилотника значительно сокращает время, затрачиваемое на проведение подобных работ.

На основе картографических данных разрабатываются прогнозные карты рисков возникновения дефектов дорожного покрытия. Проводится мониторинг изменений ранее выявленных параметров дефектов и разрушений, возникающих в процессе эксплуатации трассы, с помощью сопоставления с предыдущими аэрофотосъемками [4, с. 52].

Кроме того, с использованием различных датчиков, установленных на БПЛА, организуется мониторинг ситуации в режиме реального времени, связанной с погодными и климатическими условиями. В автоматическом режиме фиксируются показатели температуры окружающей среды, влажности, атмосферного давления, виды осадков, а также выявляются области с образованием тумана и наледи.

Для реализации системы мониторинга сформулируем специальные критерии. Во-первых, система должна включать не один, а несколько беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), что обеспечит более широкое покрытие и более эффективный контроль территории, особенно при проверке маршрутов транзита и их состояния. Во-вторых, необходимо оптимизировать маршрут каждого БПЛА в зависимости от конкретной задачи и выбрать безопасные места для аварийной посадки. И в завершение, важно обеспечить совместную работу инфракрасных стационарных камер, меток и системы БПЛА для повышения эффективности мониторинга [1, с. 145].

Технические возможности стационарных камер не всегда позволяют получить полную картину ситуации на отдельных узлах дорожной сети. В связи с этим использование БПЛА позволяет зафиксировать такие параметры, как фактическое состояние дорожного покрытия, исправность средств регулирования движения, визуальную доступность ключевых элементов дороги для участников движения, а также интенсивность транспортного потока на участках, не оборудованных стационарными системами видеонаблюдения.

Для выполнения и формирования общей картины необходимо учитывать наличие меток слежения на всем маршруте движения БПЛА, но при этом каждая метка должна иметь свой порядковый номер. Так же должна иметься возможность отслеживания скорости и маршрута на определенном участке маршрута, к которой она привязана, и если появляется риск схода БПЛА с маршрута метка подает сигнал на БПЛА и на общую базу для определения состояния и возвращения на заданную траекторию маршрута. Примерами таких меток могут служить RFID-метки (рис. 3).



Рис. 3. Пример RFID-метки

Однако, как было отмечено ранее, в рамках исследования учитывается использование RFID-меток, размещенных на объектах инфраструктуры дорожного движения, таких как мосты, опоры знаков, светофоры, стены зданий и другие элементы. Каждому транзиту соответствует своя RFID-метка, что позволяет использовать их совместно со считывателями для определения маршрута. При расположении меток на инфраструктурных объектах и в сочетании с камерами видеонаблюдения можно статистически выявлять места возможных отклонений от маршрута, а также определять основные точки для размещения БПЛА [5, с. 1]. Единственный существенный недостаток данной системы – зависимость от ограниченного объема аккумуляторов и невозможность постоянного сопровождения транзита на всем участке пути.

Таким образом, можно сделать вывод, что основные преимущества использования БПЛА для мониторинга включают: расширение зоны наблюдения, возможность своевременного реагирования на отклонения и оптимизацию маршрутов. Однако существуют ограничения, связанные с ограниченным ресурсом аккумуляторов и невозможностью полного сопровождения транзита на протяжении всего пути. Тем не менее, интеграция RFID-технологий и системы связи позволяет повысить надежность и расширить возможности мониторинга, что делает предложенное решение перспективным для обеспечения безопасности и эффективности транспортных процессов.

Библиографический список

1. Сухарев, Н. В. Система слежения за автомобильным транспортом на базе беспилотных летательных аппаратов с применением технологии радиочастотной идентификации и камер инфракрасного диапазона / Н. В. Сухарев. – М. : Изд-во Российский университет транспорта (МИИТ), 2023. – № 2. – С. 142 – 145.
2. Дронова, О. Б. Современные возможности применения беспилотных летательных средств для обеспечения контроля безопасности дорожного движения / О. Б. Дронова. – Волгоград : Волгоградская академия МВД России, 2023. – № 1. – С. 94.

ВИДЫ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ РФ

Е. В. Попрыдухин, А. В. Зубков, Н. С. Сорокин, А. И. Псарев

*Орловский государственный аграрный университет
имени Н. В. Парахина, Орел, Россия
(e-mail: popryaduhinzhenya@mail.ru)*

Введение. Генерация электроэнергии – это процесс преобразования различных видов энергии в электрическую. Генерация электрической энергии осуществляется различными способами в зависимости от используемых источников и технологий. В энергетике различают два основных направления производства электроэнергии: традиционная и альтернативная (нетрадиционная) генерация [3]. Различие заключается в источниках и технологиях производства, а также в их экологических и технологических характеристиках. В современном мире все больше внимания уделяется развитию нетрадиционных, экологических методов генерации электроэнергии.

Основная часть. Традиционная генерация – использование проверенных, устоявшихся технологий и природных ресурсов, таких как ископаемое топливо (уголь, природный газ, нефть) и гидроресурсы. Традиционные электростанции используют стандартные технологии получения электроэнергии. Данный вид энергетики обладает высокой надежностью и развитой инфраструктурой, благодаря чему вносит значительный вклад в развитие данной отрасли. Однако данное направление негативно сказывается на экологической составляющей нашей планеты. Выбросы парниковых газов, загрязнение окружающей среды, добыча и транспортировка топлива – все это наносит значительный вред экологии.

Альтернативная генерация – использование новых, экологически чистых и возобновляемых источников энергии, а также инновационных технологий. Нетрадиционные электростанции используют новейшие технологии по способу производства электроэнергии [3, 4]. Данное направление является более экологически чистым по сравнению с традиционной и более простым в эксплуатации. Эти электростанции имеют возможность локальной генерации с малыми мощностями. Однако для постройки таких электростанций требуются большие инвестиционные затраты.

Объем электрической генерации в России за январь – сентябрь 2024 года составил 3,2%, опередив показатель аналогичного периода 2023 года и составил 885 млрд кВт·ч [5]. Показатели, о которых сообщило Министерство энергетики РФ:

- За 10 месяцев 2024 года рост энергопотребления в России составил 4% к аналогичному показателю прошлого года.

- В III квартале 2024 года выработка электроэнергии объектами альтернативной энергетики, введенными в рамках программы ДПМ ВИЭ, составила 2,584 млрд кВт·ч, что на 31% больше, чем в III квартале 2023 года.

- В ноябре 2024 года правкомиссия по энергетике одобрила расширение к 2030 году Ударной ТЭС на 340 МВт, Сочинской ТЭС на 480 МВт, строительство новой ТЭС Кубанская на 470 МВт, а также создание быстровозводимой генерации в 2025–2026 годах в объеме до 500 МВт. В 2024 году в целях покрытия растущего спроса на электроэнергию в ОЭС Сибири были проведены два конкурсных отбора на сооружение новых генерирующих объектов. По их итогам были отобраны проекты суммарной мощностью 1,3 ГВт [5].

Генерация электроэнергии в РФ включает в себя анализ распределения производственных мощностей, объемов выработки и особенностей отдачи электроэнергии в различные регионы страны [6]. В Европейской части России основными центрами генераций выступает Москва, Санкт-Петербург, Воронеж, Курск, Ростов, Краснодар. В данных районах высоко развиты АЭС, ТЭС, ГЭС.

Сибирский и Дальневосточный федеральные округа являются крупными производителями электроэнергии благодаря ТЭЦ и ГЭС. Значительный потенциал по гидроэнергетике вносят Братская ГЭС и Зейская ГЭС [7]. Рост производства на гидроэлектростанциях в Сибири и на Дальнем Востоке осуществляется благодаря модернизации существующих и строительству новых электростанций.

На Урале и Приволжье сильно развита тяжелая промышленность, которая требует значительных объемов электроэнергии. Вырабатывают данные объемы Балаковская АЭС, Жигулевская и Саратовская ГЭС, Сургутская ГРЭС – 1.

В России регионы отличаются по уровню развития энергетической инфраструктуры, ресурсному потенциалу и перспективам расширения генерации электроэнергии [7]. В основные проблемные районы по производству электроэнергии в РФ входят:

1. Дальний Восток и Сибирь – недостаточное развитие инфраструктуры, значительная удаленность от центра потребления, что усложняет доставку топлива и передачу энергии.

2. Крайний Север – низкая климатическая и инфраструктурная подготовка, трудности с транспортировкой ресурсов и низкая плотность населения, что снижает эффективность генерации.

3. Арктический регион – экстремальные климатические условия, удаленность и труднодоступность территорий делают эту территорию трудной для генерации и транспортировке электроэнергии.

Однако среди проблемных районов выделяют и территории с перспективной генерацией электроэнергии:

1. Западная и Центральная Россия – высокая плотность населения и развитая инфраструктура, стабильный спрос способствует развитию современных электростанций.

2. Девонская зона (Сибирь и Дальний Восток) – богатство гидроресурсов и перспективы развития гидроэнергетики, например, строительство ГЭС на Енисее, Лене, Амуре.

4. ТЭК с использованием возобновляемых источников – ветровая и солнечная энергетика в регионах с благоприятным климатом (например, Южный Кавказ, Краснодарский край, Калининградская область).

Важной задачей является ориентация на модернизацию существующих мощностей, повышение эффективности и развитие возобновляемых источников энергии, в том числе в удаленных регионах, чтобы обеспечить стабильное и устойчивое электроснабжение.

Выводы. Россия обладает значительным энергетическим ресурсным потенциалом, что обеспечивает стабильность внутреннего энергоснабжения и возможности экспорта. Лидирующие позиции в РФ занимают традиционные электростанции, что объясняется природным ресурсным потенциалом. Для повышения надежности и устойчивости энергосистемы необходима модернизация существующих мощностей, расширение нетрадиционных источников, а также интеграция новых технологий. Необходимость снижения экологического воздействия и соответствия международным экологическим стандартам стимулируют переход к более чистым видам генерации. Разработка энергообеспечения на Крайнем Севере, Дальнем Востоке и Арктике остается актуальной задачей, требующей инвестиций в инфраструктуру и использование местных ресурсов.

Библиографический список

1. Романов, М. И. Международная конкурентоспособность атомной энергетики России / М. И. Романов // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 11. – С. 85 – 90.

2. URL : <https://minenergo.gov.ru/industries/power-industry/inputs-and-outputs-equipment> (дата обращения: 18.12.2025).

3. URL : <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/24018/> (дата обращения: 18.12.2025).

4. Матюшенко, А. Д. Изучение факторов, оказывающих влияние на развитие возобновляемых источников энергии в регионах России / А. Д. Матюшенко, Т. Г. Зорина // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2024. – Т. 16, № 4(64). – С. 136 – 147.

5. URL : https://www.akm.ru/news/obem_elektricheskoy_generatsii_v_rossii_za_yanvar_sentyabr_2024_goda_vyros_na_3_2/ (дата обращения: 18.12.2025).

6. Новоженин, В. Д. Российская гидроэнергетика. Проблемы при преимуществах / В. Д. Новоженин // Энергетик. – 2019. – № 3. – С. 3 – 7.

7. Лебедев, В. В. Направления развития генерирующих мощностей электроэнергетики России / В. В. Лебедев // Вестник Академии знаний. – 2022. – № 48(1). – С. 144 – 150.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА МАШИННОГО МАСЛА В РЕДУКТОРЕ

**Д. А. Рябинчиков, Д. Н. Земской, М. А. Каменская,
Ж. А. Зарандия, С. В. Артемова**

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: zemskoydeyvid@gmail.com)*

Червячные редукторы являются неотъемлемой частью современных промышленных систем благодаря их компактности, высокой эффективности передачи крутящего момента и способности обеспечивать значительное передаточное отношение. Осуществляет изменение значения и направления скорости движения, с преобразованием вида движения. Необходимость применения таких устройств обусловлена нецелесообразностью, а иногда и невозможностью непосредственного соединения рабочего органа машины с валом двигателя. Редукторы позволяют осуществить непрерывное и равномерное движение с наименьшими потерями энергии на преодоление трения и наименьшими инерционными нагрузками.

Однако оптимальная эксплуатация таких механизмов требует тщательного внимания к смазочным материалам, поскольку качество масла напрямую влияет на коэффициент полезного действия (КПД), уровень износа и общую надежность системы. Неправильный выбор смазки может привести к преждевременному выходу из строя компонентов, увеличению энергопотребления и росту эксплуатационных затрат.

Целью настоящей работы является систематизация требований к машинным маслам для червячных редукторов, анализ их свойств и формулировка практических рекомендаций. Исследование основано на обобщении данных из технической литературы и экспериментальных наблюдений.

Червячная передача характеризуется уникальными кинематическими и динамическими свойствами, которые определяют специфические требования к смазочным материалам. На рисунке 1 представлена принципиальная схема привода, иллюстрирующая ключевые элементы системы.

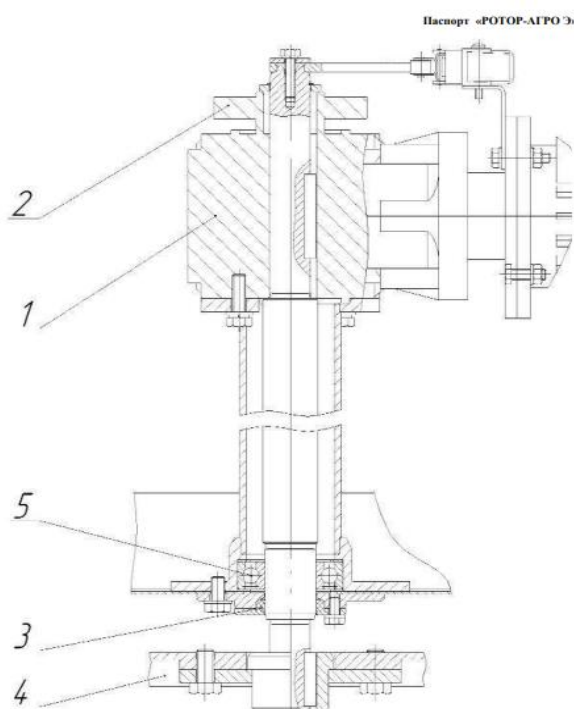


Рис. 1. Схематическое изображение привода:

1 – мотор-редуктор; 2 – гайка; 3 – уплотнение вала; 4 – рама; 5 – подшипник

К основным особенностям работы червячной передачи относятся:

- Повышенные коэффициенты трения и связанные с ними энергетические потери.
- Высокие скорости скольжения в зоне зацепления, достигающие значений до нескольких метров в секунду.
- Ускоренный износ поверхностей контакта из-за комбинированного воздействия скольжения и качения.
- Риск возникновения задиров и микрповреждений в условиях граничного трения.
- Интенсивное тепловыделение, обусловленное диссипацией энергии трения.

- Низкие угловые скорости вращения червячного колеса, что затрудняет формирование гидродинамической пленки.
- Широкое применение бронзовых сплавов в конструкциях, требующих повышенной коррозионной стойкости.

Данные факторы подразумевают необходимость использования смазочных материалов с повышенной вязкостью, способностью к формированию прочной адсорбционной пленки и эффективной теплопроводностью для отвода тепла.

Классификация редукторных масел в первую очередь основана на их химическом составе и функциональных добавках. Смазочные материалы должны обладать комплексом свойств, обеспечивающих минимизацию износа и оптимизацию работы механизма:

- Противоизносные и противозадирные характеристики, достигаемые за счет присадок на основе фосфора, серы или молибдена.
- Снижение гидродинамического трения для повышения КПД.
- Эффективный отвод и рассеивание тепла, предотвращающий перегрев компонентов.
- Формирование устойчивой смазочной пленки на поверхностях трения в режимах граничного и смешанного смазывания.
- Удаление продуктов износа (абразивных частиц) из зоны контакта.
- Отсутствие коррозионного воздействия на бронзовые сплавы, включая ингибирование окислительных процессов.

Масла подразделяются на минеральные (получаемые из нефтяных фракций) и синтетические (на основе полиальфаолефинов, эстеров или полигликолей). Минеральные масла демонстрируют ограниченный диапазон рабочих температур (обычно от -10 до $+100$ °C) и склонность к окислению при длительной эксплуатации. Синтетические масла, напротив, характеризуются повышенной термической стабильностью, улучшенными антиокислительными свойствами и более эффективной защитой от износа, что позволяет расширить интервалы обслуживания.

Вязкость является фундаментальным параметром, определяющим гидродинамические свойства масла и его способность к формированию несущей пленки. В таблице 1 приведена зависимость рекомендуемой вязкости от температуры окружающей среды для различных марок масел.

Высокая вязкость способствует лучшему сцеплению поверхностей и снижению износа, однако ее избыток может увеличить гидродинамические потери и уменьшить КПД на 5...10%. Для сравнения минеральных и синтетических масел в табл. 2 представлены характеристики вязкости при различных температурах.

1. Зависимость вязкости от температуры окружающей среды

Марка масла	Окружающая температура, °C
ARAL Degol BG 460	5...45
BP Energol GRXP 460	0...40
SHELL Omala OIL 460	-5...35
TEXACO Meropa 460	-10...100
CASTROL Alpha SP 460	-15...90
MOBIL Mobilgear 634	-25...80
KLUBER Lamora 460	-30...70

2. Характеристики вязкости машинных масел (мм²/с)

Вязкость (мм²/с)	Минеральное масло			Синтетическое масло			
	460	320	220	460	320	220	150
Окружающая температура, °C	5...45	0...40	-5...35	-10...100	-15...90	-25...80	-30...70
ARAL	Degol BG 460	Degol BG 320	Degol BG 220	Degol GS 460	Degol GS 320	Degol GS 220	–
BP	Energol GRXP 460	Energol GRXP 320	Energol GRXP 220	Energol SGXP 460	Energol SGXP 320	Energol SGXP 220	Energol SGXP 150
ESSO	Spartan EP 460	Spartan EP 320	Spartan EP 220	–	–	–	–
IP	Mellana OIL 460	Mellana OIL 320	Mellana OIL 220	–	Telium VSF OIL 320	–	Telium VSF OIL 150
KLUBER	Lamora 460	Lamora 320	Lamora 220	Syntheso D460 EP	Syntheso D320 EP	Syntheso D220 EP	Syntheso D150 EP
MOBIL	Mobilgear 634	Mobilgear 632	Mobilgear 630	SHC 634	–	SHC 634	–
SHELL	Omala OIL 460	Omala OIL 320	Omala OIL 220	Tivela OIL SD	–	Tivela OIL WB	–
TEXACO	Meropa 460	Meropa 320	Meropa 220	Synlube CLP 460	Synlube CLP 320	Synlube CLP 220	–
CASTROL	Alpha SP 460	Alpha SP 320	Alpha SP 220	Alpha Synt 460	–	Alpha Synt 220	Alpha Synt 1500

Интервал замены смазочного материала определяется его типом, условиями эксплуатации и степенью деградации. Для минеральных масел типичный интервал составляет около 2500 часов непрерывной работы, в то время как синтетические масла позволяют увеличить этот показатель до 10 000 часов благо-

даря повышенной окислительной стабильности. В таблице 3 представлены сравнительные данные.

3. Интервал между сменой смазки (часы)

Тип масла	Интервал, часы
Минеральное масло	2500
Синтетическое масло	10 000

Регулярный мониторинг уровня масла и анализ его свойств (например, по *ASTM D4378*) рекомендуется для корректировки интервалов в зависимости от реальных условий.

Правильный подбор машинного масла для червячных редукторов играет определяющую роль в обеспечении их надежности, минимизации износа и оптимизации эксплуатационных характеристик. Переход к синтетическим маслам позволяет существенно продлить срок службы оборудования, снизить частоту обслуживания и уменьшить общие затраты. Необходимость регулярного контроля и своевременной замены подчеркиваются как ключевые меры профилактики. В итоге, применение высококачественных смазочных материалов может значительно повысить ресурс редукторов, подтверждая метафору «второй жизни» для механизма.

Библиографический список

1. Епифанов, А. П. Электропривод [Электронный ресурс] : учебник / А. П. Епифанов, Л. М. Малайчук, А. Г. Гущинский. – СПб. : Лань, 2012. – 400 с. – URL : <http://e.lanbook.com/book/3812>
2. Зарандия, Ж. А. Основы электропривода [Электронный курс] : курс лекций / Ж. А. Зарандия, А. В. Кобелев, В. В. Клитинов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – URL : https://www.tstu.ru/book/elib1/exe/2021/Zarandya_et_al.exe
3. Никитенко, Г. В. Электропривод производственных механизмов. [Электронный ресурс] : учебное пособие. – СПб. : Лань, 2013. – 208 с. – URL : <http://e.lanbook.com/book/5845>
4. Зарандия, Ж. А. Электрические машины и электропривод в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ж. А. Зарандия, Е. А. Печегин, Н. П. Моторина. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – URL : <http://tstu.ru/book/elib1/exe/2018/Zarandiya.exe>

АНАЛИЗ ПРИЧИН И ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Д. С. Сергеев, В. И. Зацепина

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: danilasergeev010@icloud.com, Vizatsepina@yandex.ru)*

В статье проведен комплексный анализ физических основ возникновения гармонических искажений в системах электроснабжения. Исследованы основные источники генерации высших гармоник, к которым относятся нелинейные нагрузки различных типов. Особое внимание уделено системному анализу негативного воздействия гармонических искажений на электротехническое оборудование и качественные показатели энергосистем. Доказана необходимость применения активных и пассивных методов фильтрации для обеспечения соответствия требованиям стандартов по качеству электроэнергии.

Современные системы электроснабжения характеризуются возрастающей долей нелинейных нагрузок, что приводит к существенному ухудшению качества электроэнергии вследствие гармонических искажений. Проблема поддержания синусоидальности формы кривой напряжения приобретает первостепенное значение в условиях массового применения преобразовательной техники и других источников высших гармоник [1]. Настоящее исследование направлено на систематизацию знаний о природе возникновения и последствиях гармонических искажений, что представляет значительный интерес для обеспечения надежности и эффективности работы энергосистем.

С математической точки зрения, гармонические искажения представляют собой результат разложения периодической несинусоидальной функции в ряд Фурье. Согласно теореме Фурье, любой периодический сигнал может быть представлен в виде суммы синусоидальных составляющих, частоты которых кратны основной частоте сигнала [2].

На практике для количественной оценки уровня гармонических искажений используется коэффициент несинусоидальности (THD – Total Harmonic Distortion), определяемый как отношение среднеквадратичного значения высших гармоник к среднеквадратичному значению основной гармоники.

Анализ современных систем электроснабжения позволяет выделить несколько категорий оборудования, являющихся основными источниками гармонических искажений:

1. Преобразовательные устройства, включая частотные преобразователи, выпрямительные установки и инверторы, работающие на основе принципов широтно-импульсной модуляции. Данное оборудование характеризуется

дискретным характером потребления тока, что приводит к генерации характерного спектра высших гармоник.

2. Дуговые устройства, к которым относятся электропечи, сварочные аппараты и газоразрядные источники света. Нелинейность вольт-амперной характеристики электрической дуги обуславливает существенные искажения формы потребляемого тока.

3. Магнитные системы силовых трансформаторов, работающие в режиме насыщения. При достижении определенного уровня магнитной индукции кривая намагничивающего тока приобретает ярко выраженный несинусоидальный характер.

Воздействие гармонических искажений на электрооборудование имеет многогранный характер. В силовых трансформаторах наблюдается увеличение потерь от вихревых токов и гистерезиса, что приводит к снижению пропускной способности и необходимости применения специальных конструктивных решений [3].

В асинхронных двигателях высшие гармоники создают дополнительные моменты, вызывающие пульсации вращающего момента и повышенный нагрев обмоток. Особую проблему представляет негативное влияние на конденсаторные батареи, сопротивление которых уменьшается с ростом частоты, что может приводить к резонансным явлениям и выходу оборудования из строя.

Значительное влияние гармонические искажения оказывают на работу устройств релейной защиты и автоматики. Искажение формы кривых тока и напряжения может вызывать ложные срабатывания цифровых защит или, напротив, замедлять их действие в аварийных ситуациях.

Для обеспечения соответствия требованиям стандартов по качеству электроэнергии применяются различные методы компенсации гармонических искажений. К пассивным методам относятся использование дросселей, фильтрующих цепей и специальных схем включения трансформаторов. Активные методы предполагают применение активных фильтров гармоник на основе силовой электроники, способных генерировать компенсирующие токи в реальном времени [4].

Проведенный анализ демонстрирует комплексный характер проблемы гармонических искажений в современных системах электроснабжения. Установлено, что массовое применение нелинейных нагрузок приводит к существенному ухудшению качества электроэнергии и оказывает негативное влияние на работу электрооборудования. Дальнейшую работу целесообразно направить на изучение взаимного влияния множества источников гармоник в распределенных сетях, разработку методов оптимального размещения компенсирую-

щих устройств, а также создание цифровых двойников энергосистем для моделирования распространения гармонических искажений. Решение этих задач позволит обеспечить устойчивое развитие систем электроснабжения в условиях роста нелинейных нагрузок.

Библиографический список

1. Влияние высших гармоник на переходные процессы при дуговых замыканиях на землю в кабельных сетях 6 – 10 кВ с изолированной нейтралью / О. А. Добрягина, Ю. Д. Кутумов, Т. Ю. Шадрикова, В. А. Шуин // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2020. – № 2. – С. 30 – 40.
2. Применение имитационного моделирования для оценки уровня нестациональности высших гармоник в токе однофазного замыкания на землю в компенсированных кабельных сетях 6 – 10 кВ / В. А. Шуин, Т. Ю. Винокурова, О. А. Добрягина, Е. С. Шагурина // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2014. – № 6. – С. 31 – 38.
3. Оценка влияния активного индуктивно-емкостного фильтра на амплитудно-частотные характеристики промышленных систем электроснабжения при резонансных режимах / В. А. Сериков, Ю. А. Сычев, В. Н. Костин, С. Хайдар // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2025. – № 7. – С. 170 – 183.
4. Алгоритм снижения гармонических искажений в электрических сетях с использованием пассивных фильтрокомпенсирующих устройств / А. И. Антонов, Т. В. Гоненко, Д. Ю. Руди, А. А. Руппель // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2025. – Т. 21, № 1(77). – С. 21 – 30.

К ОЦЕНКЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕНКАХ РАВНОСТОРОННЕГО ШЕСТИГРАННОГО ВОЛНОВОДА

А. А. Скворцов

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А., Саратов, Россия
(e-mail: sotrudniki.1@yandex.ru)*

В настоящее время все большее применение в качестве базовых элементов микроволновых устройств [1, 2], обеспечивающих суммирование мощностей от нескольких СВЧ-источников, находит равносторонний шестигранный

волновод (ШГВ) (рис. 1). Так, в работе [1] подробно исследованы электродинамические свойства ортогонально-турникетного соединения трех квадратных волноводов с рассматриваемой линией передачи (ЛП), предназначенного для сложения мощностей от нескольких СВЧ-генераторов. Другим примером применения анализируемой направляющей системы (НС) в качестве сумматора мощностей нескольких источников может служить СВЧ-устройство на связанных посредством шлейфовых разветвлений прямоугольных и равностороннем шестигранном волноводах, позволяющее использовать менее мощные микроволновые генераторы при более эффективном воздействии на термообрабатываемый материал [2].

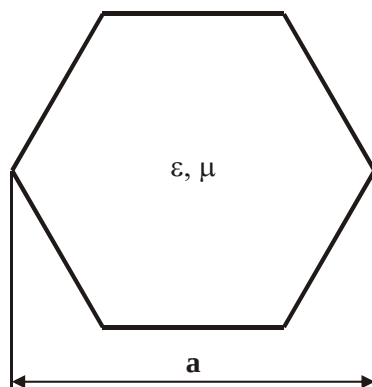


Рис. 1. Поперечное сечение равностороннего ШГВ

Поскольку микроволновые системы функционируют, как правило, в одноволновом режиме, важной электродинамической задачей, связанной с оценкой практической пригодности применения анализируемой ЛП для построения СВЧ-устройств различного назначения, является определение коэффициента затухания основной волны в металлических стенках равностороннего ШГВ. Анализ известной научно-технической литературы показал отсутствие универсальных алгоритмов расчета коэффициента затухания основной волны в металлических стенках равностороннего ШГВ на основе точного аналитического решения внутренней краевой задачи электродинамики из-за сложной конфигурации поперечного сечения рассматриваемой НС. Поэтому для расчета коэффициента затухания основной волны в металлических стенках равностороннего ШГВ необходимо применять численные или квазианалитические (приближенно-аналитические) методы.

Определение коэффициента затухания основной волны в металлических стенках равностороннего ШГВ на основе таких численных подходов, как метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод частичных областей, вариационный метод, метод интегральных уравнений и ряда других, несмотря на их универсальность, связан с использованием громоздкого математического

аппарата, затрудняющего применение полученных результатов для практических целей. В отличие от численных подходов квазианалитические методики (КМ) обладают наглядностью, возможностью выявить общие закономерности функционирования рассматриваемой ЛП и сравнительной простотой вычислений [1, 2].

Согласно примененной в работе [2] КМ определения электродинамических параметров равностороннего ШГВ, основанной на схожести структур полей электромагнитных волн, распространяющихся в нем и круглом волноводе (КрВ), расчет коэффициента затухания основной волны в металлических стенках анализируемой НС можно провести исходя из замены ее на эквивалентный КрВ с эффективным радиусом $R_{эфф}$ по формуле

$$\alpha_m = \frac{r_s}{Z_c R_{эфф} \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{cl})^2}} \left[\frac{1}{\chi_{11}^2 - 1} + \left(\frac{\lambda}{\lambda_{cl}} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где λ_{cl} – критическая длина основной волны равностороннего ШГВ с однородным диэлектрическим заполнением [2]; $\chi_{11} = 1,841$ – 1-й корень производной функции Бесселя первого рода 1-го порядка

$$\lambda_{cl} = \frac{2\pi R_{эфф} \sqrt{\epsilon\mu}}{\chi_{11}}; \quad (2)$$

$R_{эфф}$ – эффективный радиус эквивалентного КрВ

$$R_{эфф} = \frac{a\sqrt{3}}{2 + \sqrt{3}}; \quad (3)$$

r_s – поверхностное активное сопротивление металлических стенок равностороннего ШГВ

$$r_s = \sqrt{\frac{\pi f \mu_m \mu_0}{\sigma_m}}; \quad (4)$$

Z_c – характеристическое сопротивление диэлектрического материала, заполняющего равносторонний ШГВ

$$Z_c = \sqrt{\frac{\mu\mu_0}{\epsilon\epsilon_0}} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}; \quad (5)$$

Z_0 – характеристическое сопротивление воздушного заполнения; μ_m и σ_m – относительная магнитная проницаемость и проводимость металлических стенок равностороннего ШГВ; ϵ и μ – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости материала, заполняющего равносторонний ШГВ

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}. \quad (6)$$

Из выражения (1) следует, что коэффициент затухания основной волны в металлических стенках равностороннего ШГВ зависит не только от его размеров поперечного сечения и электрофизических свойств диэлектрического заполнения и металлических стенок, но и от рабочей длины волны.

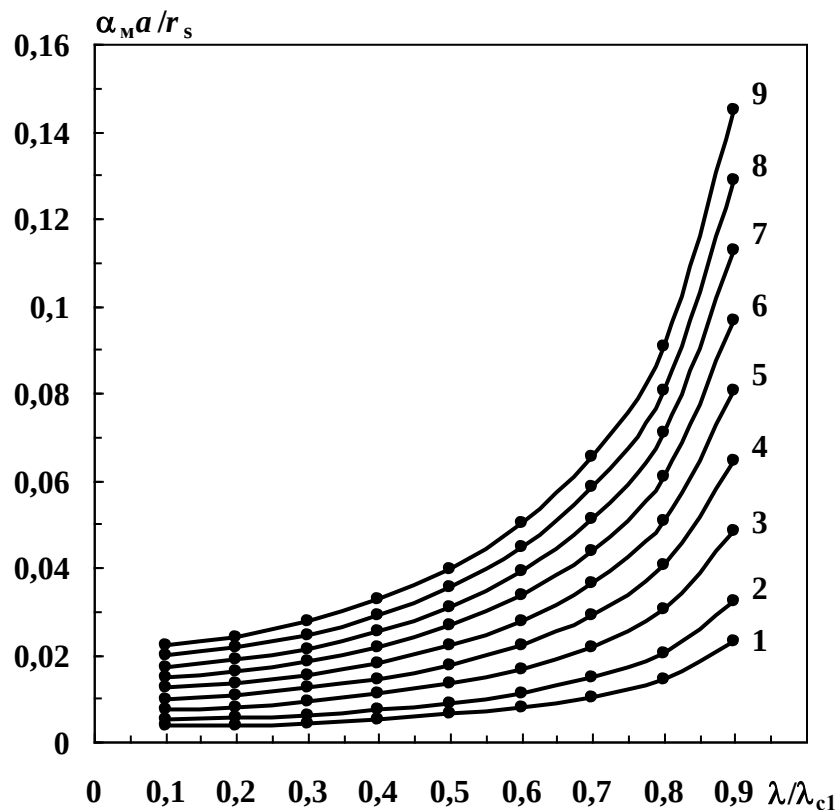


Рис. 2. Зависимость нормированного коэффициента затухания в металлических стенках ШГВ от λ/λ_{c1} при различных ε :

1 – $\varepsilon = 2$; 2 – $\varepsilon = 4$; 3 – $\varepsilon = 9$; 4 – $\varepsilon = 16$; 5 – $\varepsilon = 25$; 6 – $\varepsilon = 36$; 7 – $\varepsilon = 49$; 8 – $\varepsilon = 64$; 9 – $\varepsilon = 81$

По формулам (1) – (6) проведен квазианалитический расчет коэффициента затухания в металлических стенках рассматриваемой ЛП при различных значениях ее геометрических размеров, электрофизических параметров проводящих поверхностей и однородного диэлектрического заполнения. В качестве примера, дающего наглядное представление о характере изменения нормированного коэффициента затухания $\alpha_m a / r_s$ в металлических стенках равностороннего ШГВ ($\mu=1$), на рис. 2 представлены результаты его квазианалитического расчета при различных значениях ε и λ/λ_{c1} . Как и следовало ожидать, согласно рис. 2, потери электромагнитной энергии основной волны в металлических стенках анализируемой НС возрастают с увеличением ε и λ/λ_{c1} .

Еще одним примером, иллюстрирующим эффективность рассмотренной выше КМ, может служить приведенная на рис. 3 зависимость коэффициента затухания основной волны α_m в дБ/м от рабочей частоты f , рассчитанная для медного равностороннего ШГВ с воздушным заполнением ($a = 65$ мм; $\mu_m \approx 1$; $\sigma_m = 5,8 \cdot 10^7$ См/м; $\varepsilon = \mu = 1$). Из рисунка 3 следует, что при приближении к критической частоте потери в стенках анализируемой ЛП резко возрастают, а на достаточном удалении от нее сравнительно невелики. При этом дальнейшее повышение рабочей частоты приводит к медленному росту коэффициента затухания в металлических стенках равностороннего ШГВ.

Таким образом, полученные в настоящей работе соотношения позволили установить в явном виде простую квазианалитическую зависимость коэффициента затухания основной волны в металлических стенках равностороннего ШГВ от его геометрических размеров, электрофизических параметров проводящих поверхностей и однородного диэлектрического заполнения и рабочей длины волны, которая может быть использована при синтезе СВЧ-устройств различного назначения, выполненных на основе рассматриваемой НС. Кроме того, рассмотренные выше квазианалитические выражения могут быть в дальнейшем адаптированы для определения коэффициента затухания основной волны в металлических стенках равностороннего ШГВ с частичным диэлектрическим заполнением.

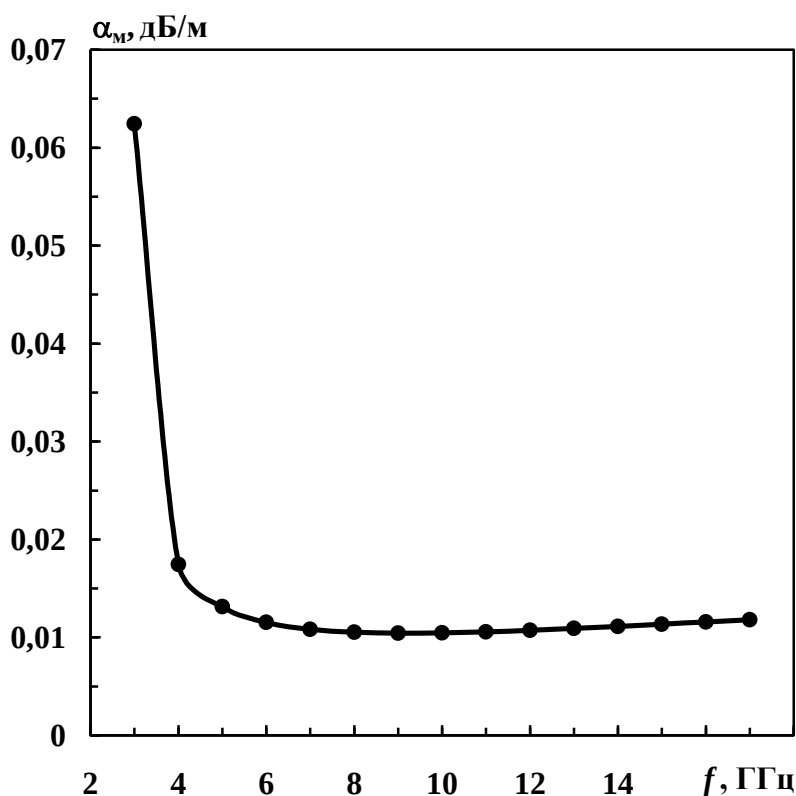


Рис. 3. Зависимость коэффициента затухания в металлических стенках медного равностороннего ШГВ с воздушным заполнением от рабочей частоты

Библиографический список

1. Ильин, В. С. Ортогонально-турникетное сочленение трех квадратных волноводов с шестигранным волноводом и его основные свойства / В. С. Ильин, С. Н. Ильин, Д. А. Усанов // Радиотехника и электроника. – 1997. – Т. 42, № 2. – С. 135 – 141.
2. Скворцов, А. А. СВЧ-устройство на связанных прямоугольных и шестигранном волноводах для термообработки диэлектрических материалов / А. А. Скворцов // Вестник СГТУ. – 2006. – № 1, вып. 1. – С. 144 – 148.

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА, СОСТОЯЩЕГО ИЗ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ, ВОДОРОДНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ И ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

М. Слиманоу

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: slimanou.meriem@gmail.com)*

В агропромышленном комплексе возрастает интерес к использованию возобновляемых источников энергии для электроснабжения оросительных насосных установок. Применение фотоэлектрических установок и других видов распределенной генерации позволяет снизить потребление электроэнергии из сети и эксплуатационные затраты, однако приводит к появлению режимов с нерегулярной генерацией и выраженными переходными процессами при пуске и регулировании насосного оборудования. Такие режимы в условиях ограниченной мощности и возможности короткого замыкания сельских сетей существенно влияют на показатели качества электроэнергии, поэтому конфигурацию гибридного комплекса и настройки систем управления целесообразно предварительно проверять средствами имитационного моделирования.

В работах по цифровым двойникам энергетических систем показано, что интеграция математических моделей элементов оборудования, информационных компонентов и специализированной ИТ-инфраструктуры позволяет создавать интеллектуальные средства поддержки принятия решений по управлению энергосистемами [1]. В аграрной сфере предложены цифровые двойники сель-

скохозыяйственного производства, ориентированные на оценку устойчивого развития и ресурсосбережения на уровне технологических процессов [2]. Однако они преимущественно описывают крупные энергосистемы и обобщенные производственные модели и лишь ограниченно затрагивают обеспечение показателей качества электроэнергии в локальных гибридных комплексах электроснабжения оросительных насосных установок, что и определяет научную новизну настоящей работы.

В работе используется специализированный цифровой двойник гибридного электроэнергетического комплекса «фотоэлектрическая установка – водородный накопитель – шина постоянного тока – частотно-регулируемый электропривод – сельская сеть», реализованный в среде MATLAB/Simulink и предназначенный для анализа переходных режимов и показателей качества электроэнергии. Модель обеспечивает совместное моделирование электрических и электромеханических процессов в основных подсистемах: агрегированной фотоэлектрической установки с изменяющейся во времени освещенностью, водородного накопителя в виде связки «электролизер – резервуар – топливный элемент», звена постоянного тока с эквивалентной емкостью и контуром стабилизации напряжения, частотно-регулируемого привода насосной установки и точки присоединения к сельской сети с ограничениями мощности и защитой от короткого замыкания. Электролизер поглощает избыток мощности при повышенной генерации, топливный элемент покрывает дефицит при сниженной генерации или росте нагрузки, степень заряженности резервуара рассчитывается по балансу энергии с учетом КПД и ограничивается допустимым диапазоном; в модели привода задается линейный разгон до номинальной мощности насоса.

Для оценки качества электроэнергии в цифровом двойнике используются два основных индикатора. Интегральный показатель неравномерности мощности сети определяется как сумма модулей приращений мгновенной мощности и характеризует степень ее колебаний, а среднеквадратичное отклонение напряжения шины постоянного тока $\sigma(U_{dc})$ отражает уровень пульсаций напряжения в звене постоянного тока и условия работы силовых преобразователей и частотно-регулируемого привода. Дополнительно могут учитываться коэффициент мощности и гармонические искажения, однако в данном исследовании акцент сделан на интегральной вариации мощности и пульсациях напряжения.

Для иллюстрации работы цифрового двойника рассмотрен переходный режим, включающий пуск частотно-регулируемого привода и изменение генерации фотоэлектрической подсистемы. В начальный момент насосная установ-

ка остановлена, фотоэлектрическая мощность соответствует освещенности порядка 600 Вт/м^2 , водородный накопитель находится вблизи среднего значения степени заряженности; в интервале $0 \dots 6 \text{ с}$ моделируется пуск привода с линейной разгонной траекторией до номинальной мощности насоса, а около 15 секунд времени задается ступенчатое увеличение освещенности до 900 Вт/м^2 , при котором часть избытка или дефицита мощности компенсируется водородным накопителем с учетом его ограничений. По результатам моделирования получены временные зависимости мощностей фотоэлектрической установки, насосной нагрузки и водородного накопителя, а также напряжения шины постоянного тока $U_{dc}(t)$, используемые для расчета интегрального показателя неравномерности мощности и среднеквадратичного отклонения напряжения и служащие наглядной иллюстрацией поведения гибридного комплекса в переходном режиме (рис. 1).

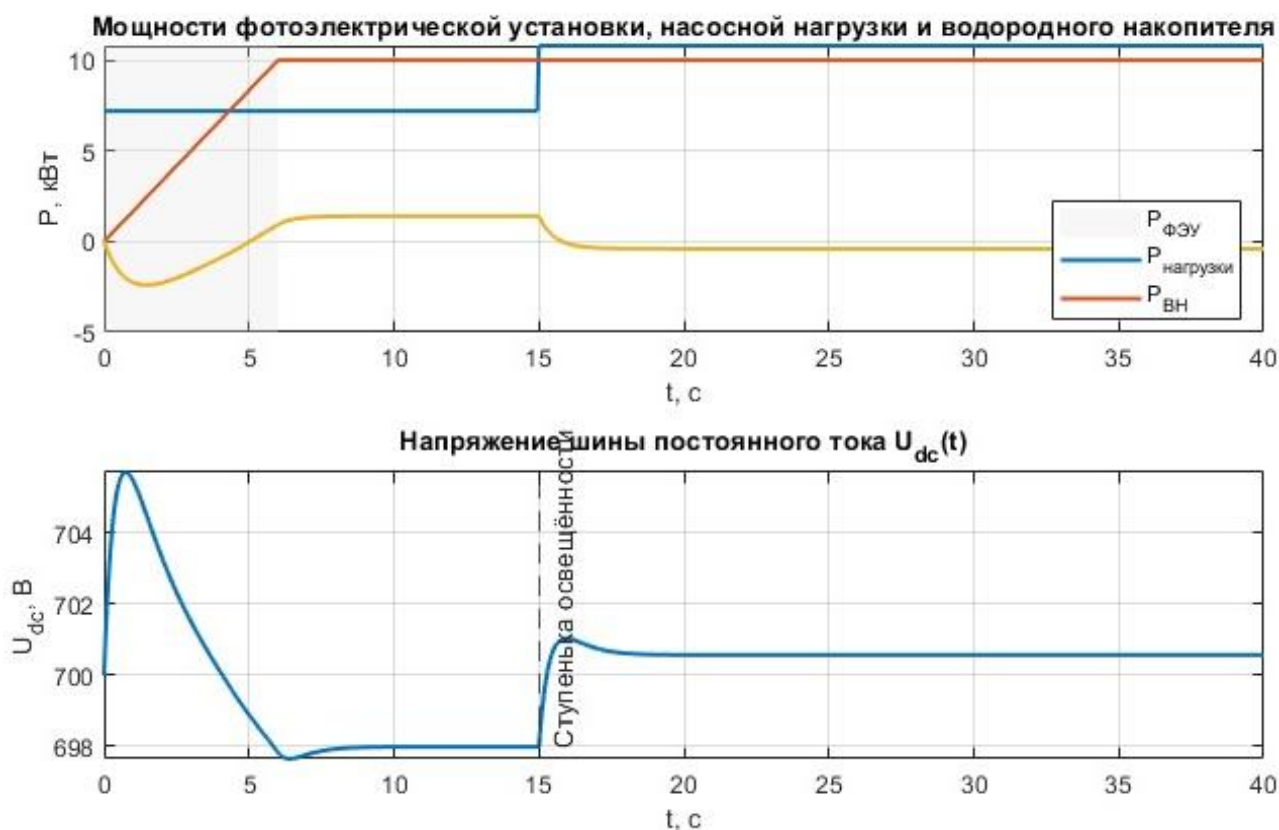


Рис. 1. Мощности фотоэлектрической установки, насосной нагрузки и водородного накопителя (вверху) и напряжение шины постоянного тока $U_{dc}(t)$ (внизу) в переходном режиме с пуском ЧРП и ступенчатым изменением освещенности

Анализ временных зависимостей показывает, что при пуске привода и изменении освещенности возникают кратковременные отклонения мощностей и напряжения, однако благодаря участию водородного накопителя и контуру

стабилизации напряжения шины переходные процессы быстро затухают, а U_{dc} остается в окрестности заданного уровня. В рассматриваемом режиме интегральный показатель неравномерности мощности сети имеет умеренное значение, а среднеквадратичное отклонение напряжения шины постоянного тока составляет единицы вольт при среднем уровне около 700 В, что указывает на ограниченную вариацию мощности и допустимые пульсации напряжения в точке присоединения и согласуется с требуемыми условиями эксплуатации оросительных насосных установок. Это свидетельствует о том, что выбранная конфигурация гибридного комплекса и реализованные алгоритмы управления обеспечивают приемлемый компромисс между использованием распределенной генерации и соблюдением требований к качеству электроэнергии в сельской сети.

Полученные результаты показывают, что разработанный цифровой двойник гибридного комплекса «ФЭУ–ВН–ШПТ–ЧРП–сельская сеть» может использоваться как инструмент для анализа переходных режимов и предварительной оценки показателей качества электроэнергии оросительных насосных установок, а также для проверки влияния параметров оборудования и алгоритмов управления на интегральные индикаторы качества на стадии проектирования и модернизации. Наличие единой программно-алгоритмической модели позволяет проводить параметрические исследования, сравнивать альтернативные варианты конфигурации и режимов работы и тем самым снижать объем натурных испытаний и риск принятия неэффективных проектных решений.

Библиографический список

1. ИТ-инфраструктура для построения интеллектуальных систем управления развитием и функционированием систем энергетики на основе цифровых двойников и цифровых образов / Н. И. Воропай, Л. В. Массель, И. Н. Колосок, А. Г. Массель // Изв. РАН. Энергетика. – 2021. – № 1. – С. 3 – 13.
2. Модель процессов устойчивого развития для цифрового двойника сельскохозяйственного производства / Г. С. Смирнова, Р. А. Сабитов, Р. Т. Сиразетдинов, А. В. Епонешников // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2022. – № 4. – С. 93 – 102.

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГИБРИДНОГО КОМПЛЕКСА В СЕЛЬСКОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ

М. Слиманоу, В. Ф. Калинин

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: slimanou.meriem@gmail.com, kalinin@tstu.ru)*

В агропромышленном комплексе активно внедряются гибридные системы электроснабжения с участием фотоэлектрических установок и других элементов электроэнергетических систем, работающих на возобновляемых источниках энергии. Они позволяют снизить потребление энергии, но делают режимы работы более нестационарными: при пуске насосных агрегатов и при изменении генерации возникают переходные процессы, способные вызвать отклонения показателей качества электроэнергии в сельских сетях. На стадии проектирования и модернизации таких объектов необходимо заранее оценивать, насколько выбранная конфигурация и алгоритмы управления обеспечивают допустимые уровни напряжения и мощности. В работах [1, 2] показано, что цифровые двойники гибридных энергетических комплексов и микросетей с интеграцией в них электролизеров для получения водорода являются эффективным инструментом оптимизации структуры и режимов работы, а также основой для построения интеллектуальных систем управления. Однако вопросу оперативной оценки качества электроэнергии в таких локальных сельских системах уделяется меньше внимания, что обосновывает необходимость разработки специализированных решений.

Предлагаемая цифровая платформа ориентирована на гибридный электроэнергетический комплекс «фотоэлектрическая установка – водородный накопитель – шина постоянного тока – частотно-регулируемый привод – сельская сеть», предназначенный для электроснабжения оросительных насосных установок. Цифровой двойник описывает фотоэлектрическую установку с изменяющейся во времени освещенностью, водородный накопитель в виде связки «электролизер – резервуар – топливный элемент», шину постоянного тока с эквивалентной емкостью, частотно-регулируемый электропривод нагруженный насосной станцией с линейным пуском и точку присоединения к сельской сети с ограничениями мощности и защитой от короткого замыкания. Модель позволяет рассчитывать мгновенные значения мощности сети и напряжения шины постоянного тока для типичных возмущений, а также формировать набор индикаторов качества электроэнергии.

В структуре платформы перед цифровым двойником реализован аналитический модуль, использующий скользящие индикаторы. Первый индикатор характеризует неравномерность режима в сети и определяется по суммарной вариации мощности за заданное временное окно: высокие значения соответствуют участкам с быстрыми изменениями мощности, потенциально опасными с точки зрения отклонений напряжения. Вторым индикатором – среднеквадратическое отклонение напряжения шины постоянного тока $\sigma(U_{dc})$, оценивающее уровень пульсаций вокруг среднего уровня. Для обоих индикаторов задаются пороговые значения, выбранные с учетом допустимых отклонений для конкретного комплекса. При превышении порога платформа формирует предупреждение по качеству; соответствующие участки на графиках выделяются визуально, что облегчает анализ режимов.

Работа платформы иллюстрируется на примере показательного сценария, включающего разгон насосной нагрузки и последующее изменение режима работы гибридного комплекса. В начальной части интервала мощность в сети плавно возрастает приблизительно с 2...3 до 10...11 кВт, что соответствует пуску частотно-регулируемого привода по линейно пусковому режиму и постепенному выходу насосной установки на заданный рабочий режим. После завершения разгона энергокомплекс переходит в состояние, при котором основная часть потребляемой мощности покрывается за счет местной генерации и использования водородного накопителя, в результате чего мощность, отбираемая из сети, снижается до уровня порядка 2,5...3 кВт и удерживается вблизи этого значения. В средней части интервала моделируется изменение режима работы (например, изменение задания по мощности или от внешних возмущающих факторов), приводящее к ступенчатому увеличению, а затем к последующему снижению мощности сети, что позволяет оценить реакцию платформы на имеющие место переходные процессы.

Реакция платформы на описанный сценарий представлена на рис. 1. На верхней панели показана временная зависимость мощности сети с нанесенными поверх нее маркерами, соответствующими тем отсчетам, для которых скользящий индикатор неравномерности мощности превышает заданный порог. Хорошо видно, что на участке пуска частотно-регулируемого привода, а также в момент изменения режима работы комплекса плотность маркеров максимальна: это свидетельствует о высокой интенсивности изменения мощности и, соответственно, о потенциально неблагоприятных с точки зрения качества электро-

энергии режимах. В установившихся фрагментах кривой, когда мощность на стороне сети колеблется вокруг квазистабильного уровня, маркеры практически отсутствуют, и режим закономерно классифицируется как относительно спокойный.

Нижняя панель (рис. 1) отображает скользящее среднеквадратичное отклонение напряжения шины постоянного тока и используемое в платформе пороговое значение. В рассматриваемом сценарии $\sigma(U_{dc})$ изменяется примерно в диапазоне 0,6...1,6 В при номинальном уровне напряжения около 700 В и не достигает пороговой линии 4 В. Это означает, что даже в периоды разгона нагрузки и изменения режима пульсации напряжения в звене постоянного тока остаются умеренными и не представляют опасности для силовой электроники и приводного оборудования с точки зрения допустимых условий работы.

Таким образом, в данном примере платформа формирует предупреждения только по индикатору неравномерности мощности сети, тогда как качество напряжения в звене постоянного тока оценивается как удовлетворительное.

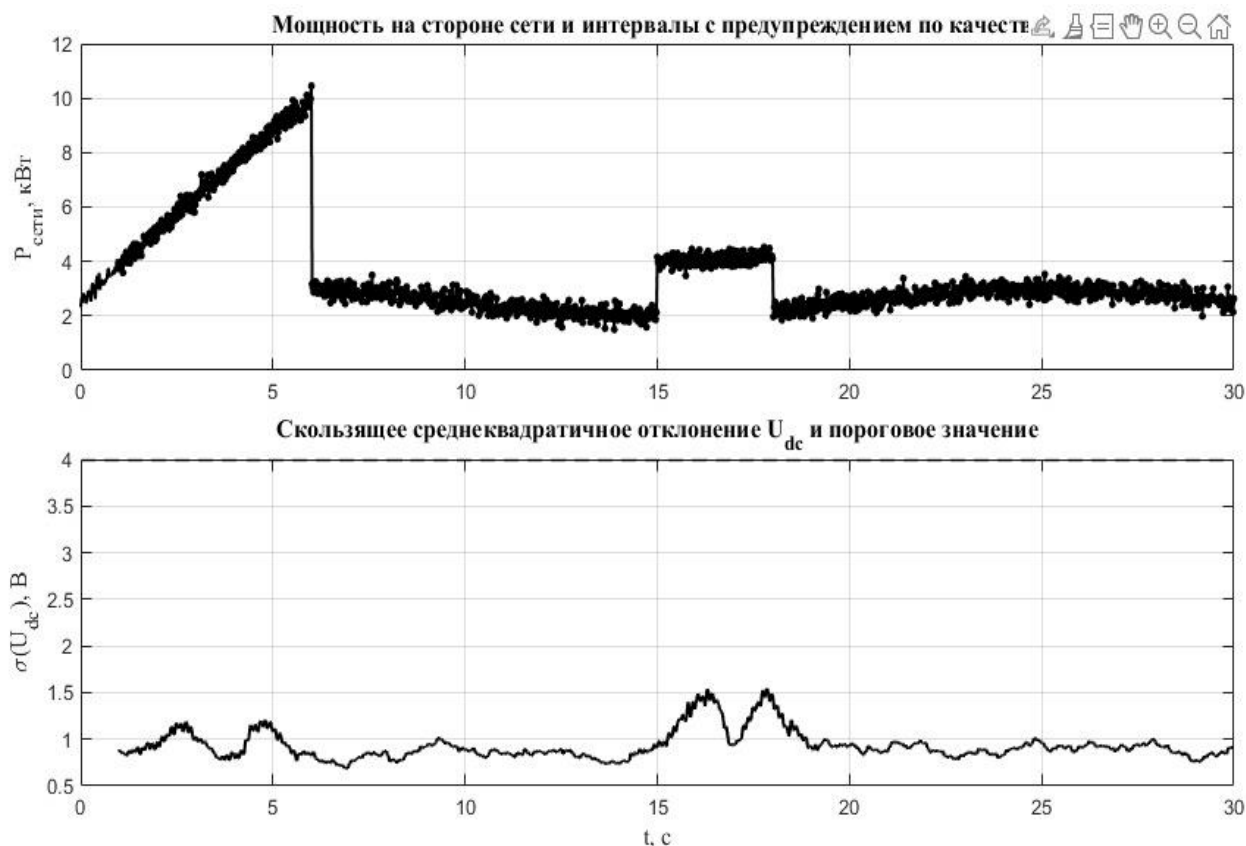


Рис. 1. Мощность на стороне сети и интервалы с предупреждением по качеству (вверху) и скользящее среднеквадратичное отклонение напряжения шины постоянного тока и пороговое значение (внизу)

Такая дифференциация по индикаторам позволяет оператору или разработчику алгоритмов управления более точно понимать природу потенциальных проблем: в первую очередь внимание должно быть уделено сглаживанию профиля мощности, тогда как схему стабилизации U_{dc} и участие водородного накопителя в рассматриваемых условиях можно считать адекватными.

Полученные результаты моделирования показывают, что связка «цифровой двойник – аналитический модуль» обладает высокой информативностью и позволяет не только визуализировать временные зависимости мощности и напряжения во всех характерных узлах гибридного комплекса, но и автоматически выделять критические интервалы с повышенной вариацией мощности на стороне сети. Сопоставление этих интервалов с динамикой пульсаций напряжения шины постоянного тока дает возможность более глубоко оценивать чувствительность системы к возмущениям и разграничивать режимы, потенциально опасные для качества электроэнергии, от режимов, в которых колебания остаются допустимыми. Тем самым цифровой двойник перестает быть лишь средством иллюстрации переходных процессов и превращается в инструмент формализованного анализа качества режима работы комплекса.

Это делает разработанную платформу удобным и гибким средством для предварительной оценки режимов работы оросительных насосных установок, подключенных к сельской сети, а также для настройки алгоритмов управления гибридным электроэнергетическим комплексом с учетом требований к показателям качества электроэнергии. На стадии проектирования платформа позволяет сравнивать различные варианты конфигурации источников и накопителей, значения пусковых режимов частотно-регулируемых приводов и стратегии распределения мощности между сетью и местной генерацией, опираясь на количественные индикаторы неравномерности и пульсаций. На этапе эксплуатации платформа может использоваться для уточнения уставок регуляторов, проверки эффектов модернизации оборудования и снижения объема натурных испытаний за счет переноса части экспериментов в виртуальную среду цифрового двойника.

В перспективе предлагаемый подход может быть расширен за счет включения дополнительных индикаторов качества электроэнергии, таких как коэффициент мощности, спектральные показатели гармонических искажений, интегральные показатели фликера, а также показателей надежности электроснабжения. Дальнейшая интеграция платформы с системами диспетчерского управления и сервисами удаленного мониторинга создаст предпосылки для использо-

вания цифрового двойника в составе интеллектуальной системы поддержки принятия решений в агроэнергетике, ориентированной на устойчивое развитие и ресурсосбережение.

Библиографический список

1. Тягунов, М. Г. Использование цифрового двойника гибридных энергетических комплексов для оптимизации их параметров и режимов / М. Г. Тягунов, Р. П. Шевердиев // Вестник МЭИ. – 2023. – № 3. – С. 109 – 118.
2. Techno-economic analysis and dynamic operation of green hydrogen-integrated microgrid: An application study / J. Isaac, A. M. A. Haidar, M. F. M. Sabri, M. O. Abdullah // Next Energy. – 2025. – V. 9. – P. 100418.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СГЛАЖИВАНИЯ ПИКОВ ТЯГОВЫХ НАГРУЗОК

Д. А. Стеций, В. И. Зацепина

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: Vizatsepina@yandex.ru)*

Электрифицированный рельсовый транспорт создает существенную нагрузку на энергосистему, характеризующуюся резкими пиками при разгоне, энергией рекуперации при торможении и значительными колебаниями потребления. Для российских условий с их разветвленной сетью тяговых подстанций и участков с интенсивным движением эта проблема особенно актуальна. Исследования показывают, что нетяговые потребители (объекты инфраструктуры) могут потреблять до 35...45% от общего энергопотребления тяговых подстанций. Применение накопителей энергии позволяет комплексно решать эти проблемы: снижать пиковые нагрузки, улучшать качество электроэнергии и повышать эффективность использования рекуперации. Цель работы – систематизировать отечественные исследования и разработать практические рекомендации по использованию накопителей энергии на тяговых подстанциях для сглаживания пиковых нагрузок.

На практике для стабилизации работы железнодорожных сетей применяются несколько типов накопителей энергии, каждый из которых занимает свою нишу. Литий-ионные аккумуляторы получили широкое распространение благодаря высокой энергоемкости и быстрому отклику, что делает их универсальным решением для среднесрочного хранения энергии. Для компенсации крат-

ковременных, но мощных пиковых нагрузок особенно эффективны суперконденсаторы, чья способность к сверхбыстрой зарядке и разрядке позволяет мгновенно реагировать на колебания в сети. В системах городского транспорта, таких как трамваи и метро, часто используются маховичные накопители, главные преимущества которых – исключительная долговечность и устойчивость к многократным циклам заряд-разряд [1].

Эти технологии реализуются в трех основных схемах интеграции. Стационарные накопители, устанавливаемые непосредственно на тяговых подстанциях, выполняют роль центрального буфера, сглаживая нагрузку между внешней сетью и всей контактной линией. Более гибким решением являются распределенные накопители, которые размещаются в проблемных зонах контактной сети – например, на участках с интенсивным движением и частыми торможениями, – что позволяет локально поглощать пики и энергию рекуперации. Третий подход предполагает установку бортовых накопителей прямо на поездах; это позволяет электроподвижному составу использовать рекуперированную при торможении энергию для последующего разгона, повышая энергоэффективность и снижая нагрузку на контактную сеть в точке ее возникновения [2-3]. Выбор конкретной технологии и схемы зависит от задач инфраструктуры и характеристик подвижного состава.

Наиболее предпочтительным для российских условий считается стационарный вариант из-за простоты обслуживания, большого ресурса и отсутствия необходимости модернизировать подвижной состав. Архитектура подключения должна обеспечивать двусторонний поток энергии и может быть гибридной, например, комбинируя суперконденсаторы и аккумуляторы.

Как пример, смоделируем в программе MATLAB схемы подключения. На рисунке 1 создадим подключение к шинам постоянного тока напряжением выше 3 кВ. На рисунке 2 подключение к шинам собственных нужд до 1000 В. На рисунке 3 подключение к шинам однофазного переменного тока напряжением свыше 25 кВ. На рисунке 4 подключение к шинам трехфазного тока напряжением 6...220 кВ.

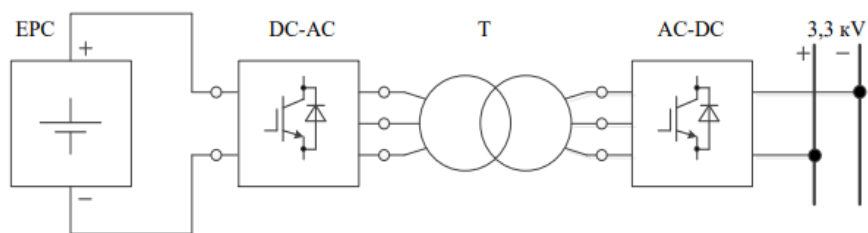


Рис. 1. Схема подключения к шине 3 кВ

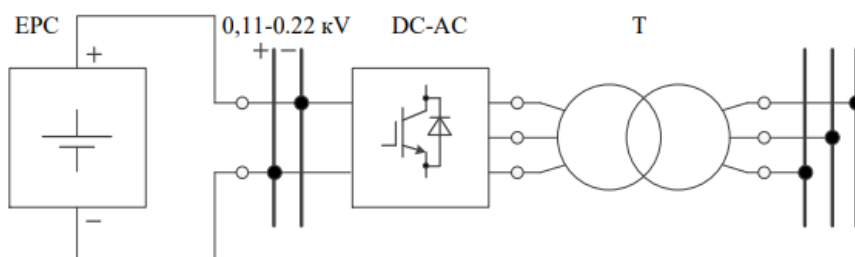


Рис. 2. Схема подключения к шинам собственных нужд

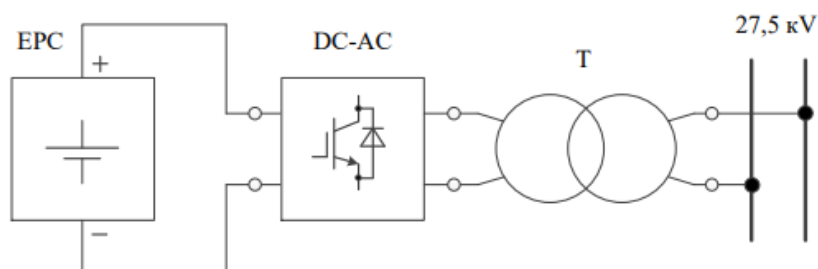


Рис. 3. Схема подключения к шинам 27,5 кВ

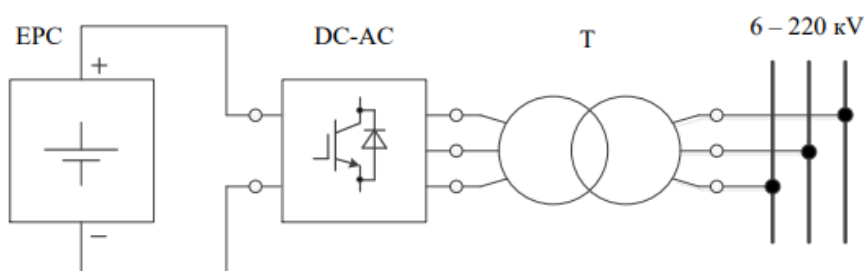


Рис. 4. Схема подключения к шинам 6...220 кВ

Выбор расположения системы накопления энергии – это всегда компромисс между задачей, экономикой и безопасностью. Не существует «лучшего» расположения для всех случаев. Для стабилизации всей энергосистемы нужны гигантские накопители на ключевых подстанциях, а для обеспечения автономии одного дома – компактная и безопасная батарея в гараже. Понимание этих различий – ключ к эффективному использованию технологий накопления энергии.

Внедрение систем накопления энергии (СНЭ) в системы тягового электроснабжения демонстрирует комплексный положительный эффект. Анализ подтверждает снижение пиковых нагрузок на 20...30% и повышение эффективности использования рекуперативной энергии до 60...70%. Ключевыми факторами успешной реализации являются оптимальный подбор параметров накопителей, разработка адаптивных алгоритмов управления и учет эксплуатационных условий.

Перспективным направлением развития является интеграция СНЭ с системами рекуперации и возобновляемыми источниками энергии. Для практической реализации в российских условиях необходима разработка отраслевых стандартов, реализация пилотных проектов и углубленное исследование жизненного цикла оборудования. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на моделировании работы систем с учетом реальных эксплуатационных параметров.

Библиографический список

1. Закарюкин, В. П. Использование накопителей энергии в системах электроснабжения железных дорог / В. П. Закарюкин. – Иркутск, 2016.
2. Путилов, А. А. Обзор существующих технологий накопления электроэнергии / А. А. Путилов // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. – 2024. – № 3. – NIST “Chemistry WebBook”.
3. Кацай, А. В. Сравнение параметров работы маховичного накопителя энергии в контактной сети трамвая в холодные и теплые сезоны транспортной работы / А. В. Кацай, А. А. Бизяев, В. А. Козаревич // Вестник МЭИ. – 2023. – № 2. – С. 37 – 44.

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАГРУЗКОЙ В АВТОНОМНОЙ ТЕПЛИЦЕ КАК МОДЕЛЬ ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Д. Е. Судаков

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: Sudakov.dima1702@yandex.ru)*

Комплекс тепличных систем (отопление, освещение, вентиляция) представляет собой типичный пример сосредоточенной и переменной нагрузки на энергосистему. Разработанная методика, включающая экспериментальное получение передаточных функций и создание цифрового двойника в MATLAB Simulink, позволяет прогнозировать и оптимизировать профиль энергопотребления. Данный подход актуален для задач управления нагрузкой в распределенной энергетике и для автономных энергокомплексов.

Развитие распределенной энергетике и автономных объектов требует совершенствования методов управления электронагрузкой. Современные тепличные комплексы являются значительными и сложно прогнозируемыми потребителями энергии, что делает их удобной моделью для отработки соответствующих

щих технологий. Целью работы является разработка на примере автономной теплицы универсального подхода к созданию цифровых моделей для прогнозирования и оптимизации графиков нагрузки технологического оборудования.

Исследование выполнено на базе автономной биотехнической системы для выращивания растений. Ключевые энергопотребители системы – электрические нагреватели, системы освещения и вентиляции. Для создания адекватной цифровой модели был применен комплекс методов: экспериментальное снятие переходных характеристик, аппроксимация динамики для получения передаточных функций и создание многосвязной имитационной модели в среде MATLAB Simulink.

Проведена комплексная энергетическая идентификация тепличного комплекса как объекта управления с переменной электрической нагрузкой. На основе экспериментальных данных получены передаточные функции, количественно связывающие команды на включение мощных электроприемников с динамикой изменения контролируемых параметров микроклимата. Общая форма передаточной функции для каналов управления имеет вид

$$W_{об}(S) = \frac{K_{об} e^{-\tau_y S}}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)}, \quad (1)$$

где $K_{об}$ – коэффициент усиления; τ_y – время запаздывания; T_1 и T_2 – постоянные времени для канала управления выходным параметром при изменении входного воздействия.

Структура системы управления, реализующая предложенный подход, представлена на рис. 1.

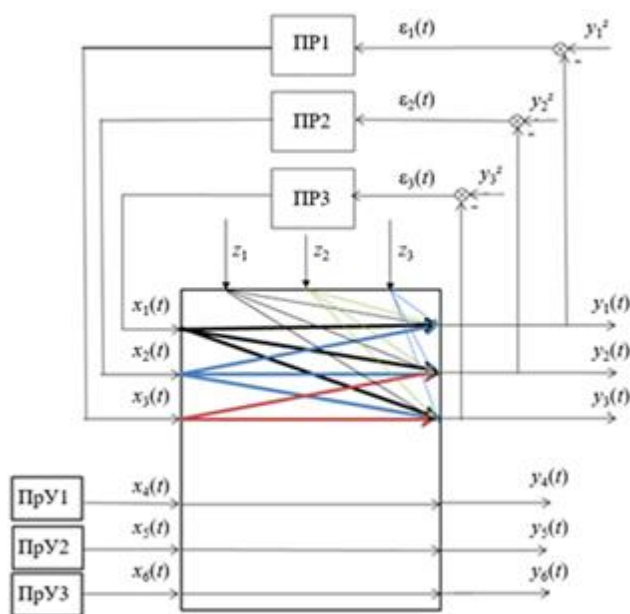


Рис. 1. Структурная схема сложнопозиционной системы управления микроклиматом тепличного комплекса

На основе полученного набора передаточных функций в среде MATLAB Simulink создана комплексная имитационная модель, позволяющая строить и анализировать графики электрической нагрузки тепличного комплекса во времени. Модель учитывает инерционность тепловых процессов и дискретный характер работы позиционных регуляторов, что обеспечивает адекватное прогнозирование профиля энергопотребления при различных сценариях управления и внешних воздействиях.

Показано, что автономная теплица представляет собой репрезентативную модель для отработки цифровых методов управления нагрузкой, актуальных для современной электроэнергетики. Разработанный подход позволяет создавать точные динамические модели для объектов с сосредоточенной электрической нагрузкой, прогнозировать и оптимизировать графики потребления энергии технологическим оборудованием, а также синтезировать системы управления, учитывающие как технологические требования, так и энергетические ограничения.

Библиографический список

1. Использование эффективных систем позиционного регулирования для задач медицинской техники / С. В. Фролов, К. С. Савинова, А. Ю. Куликов, И. А. Суконкин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2022. – № 2(42). – С. 50 – 62.

2. Выбор источника освещения в биотехнической системе для выращивания растений / Т. А. Фролова, В. О. Лычагина, И. А. Шаталова, Е. С. Ширкина // Цифровая трансформация в энергетике : материалы Третьей Всерос. науч. конф. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023 – С. 143 – 145.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВЫМ СИСТЕМАМ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Ю. Н. Татаринцев

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: yurok20@mail.ru)*

Современная задача повышения эффективности извлечения информации автоматизировать процессы, использовать специализированные технологии, решать проблемы, связанные с извлечением данных, и оценивать эффектив-

ность систем. На данный момент эффективных систем защит не существует. Цель – ускорить получение информации, минимизировать человеческие ошибки и повысить защиту передачи данных. Это лучший способ противодействия системам извлечения информации, осуществляющим распознавание индивидуальной структуры сигналов, путем искажения формы сигнала.

Данный способ заключается в повышении защищенности передаваемой информации от несанкционированного приема системами извлечения информации, использующими индивидуальную структуру излучаемых сигналов. Такой результат достигается тем, что в способе одновременно передают несколько несущих частот. Для выделения сигналов используют способ обработки сигналов с модуляцией частотным или фазовым сдвигом. Каждую из несущих частот дополнительно модулируют амплитудной модуляцией в течение тактового интервала. Передаваемые цифровые данные разбивают на фрагменты, которые содержат установленное заранее число информационных символов. Сигнал модулируют способом модуляции с частотным или фазовым сдвигом в соответствии с входной бинарной последовательностью данных. Символы, принадлежащие одному фрагменту, модулируют с использованием одной из N кодированной функции искажений, используемые для искажения формы сигнала. Номер используемой кодированной функции искажений определяют в соответствии со значением случайного числа, которое вырабатывается в передающей станции синхронно с принимающей станцией генератором псевдослучайных кодов. В принимающей станции принятый сигнал демодулируют в соответствии с используемым способом модуляции частотным или фазовым сдвигом, демодулируют в соответствии с номером используемой функции искажений, который определяют в соответствии со случайным числом, вырабатываемым в принимающей станции генератором псевдослучайных кодов, который идентичен генераторам псевдослучайных кодов передающей станции.

При начальном осуществлении связи станции осуществляют синхронизацию, а также при каждой перестройке рабочих частот и при использовании алгоритмов перестройки частоты. Последовательность передаваемых цифровых данных в станциях разбивают на фрагменты установленной заранее длины, каждый фрагмент содержит установленное заранее число информационных символов. Сигнал, образующий информационный символ, кодируют в соответствии с используемым видом кодирования, модулируют способом модуляции с частотным сдвигом в соответствии с входной бинарной последовательностью данных.

При формировании сигнала используют кодированные функции искажения, которые удовлетворяют следующим требованиям: среднее значение каждой функции на временном отрезке, который соответствует длительности одного символа, отличается от нулевого значения не более чем на заданную величину; спектральные составляющие, которые образуются при модуляции сигнала с использованием функций искажений, находятся в пределах полосы частот сигнала; функции искажения формы сигнала обеспечивают максимально возможные значения вероятности попарного различия сигналов; максимальное значение амплитуды любой используемой функции искажений не превосходит установленное значение; номер используемой функции искажений определяют в соответствии со значением случайного числа, которое вырабатывается в передающей станции генератором псевдослучайных кодов синхронно с принимающей станцией, генератор псевдослучайных кодов принимающей станции идентичен генератору псевдослучайных кодов передающей станции; частоту сформированного сигнала повышают или понижают до необходимого значения.

Таким образом, данный способ позволяет реализовать противодействия системам извлечения информации, в которых используют распознавание индивидуальной структуры сигналов, путем искажения формы сигнала и гарантирует качество связи.

Библиографический список

1. Чернышов, Н. Г. Построение системы телеметрии энергоемкими объектами с использованием промышленных контроллеров ICP DAS / Н. Г. Чернышов, Р. В. Цыганков, К. В. Чикаев // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В. И. Вернадского. – 2014. – Вып. 54. – С. 225 – 230.
2. Антонюк, Б. Д. Информационные системы в управлении / Б. Д. Антонюк. – М. : Радио и связь, 1986. – С. 232 – 240.
3. Романадзе, Е. Л. Разработка метода извлечения ключевых слов на основе вероятностной тематической модели / Е. Л. Романадзе, В. А. Судаков, В. Г. Кислинский // Моделирование и анализ данных. – 2022. – С. 45 – 63.

ПОДБОР МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. А. Федоров¹, А. С. Ведерников²

¹ *ООО «Аудит ЭнергоМодуль», Самара, Россия
(e-mail: afedorov105@gmail.com)*

² *Самарский государственный технический университет, Самара, Россия
(e-mail: vedernikovas@rambler.ru)*

Планирование электроэнергетических режимов энергосистемы – одна из задач, предусмотренная Правилами оперативно-диспетчерского управления [1]. Важность повышения точности планирования обусловлена технологическими и экономическими параметрами.

Планирование можно разделить на несколько основных видов:

- 1) оперативное;
- 2) краткосрочное;
- 3) среднесрочное;
- 4) долгосрочное.

При оперативном планировании берется временной интервал от получаса до одних суток [1].

Краткосрочный период планирования берет промежуток от суток до месяца.

При среднесрочном планировании временным интервалом является промежуток от месяца до года [1].

В долгосрочном планировании интервал составляет от года до 5 лет [1].

Каждый из периодов планирования выполняет свои задачи, а соответственно, имеет свои исходные данные, особенности и применяемые методы решения.

Краткосрочное планирование потребления электрической энергии является важным инструментом при составлении суточного диспетчерского графика – основного инструмента управления энергосистемой. Задачами краткосрочного планирования являются: сбалансированность потребления и нагрузки электростанций; минимизация суммарных затрат покупателей электроэнергии при обеспечении требуемой надежности; поддержание требуемых резервов активной и реактивной мощности.

Немаловажным фактором при краткосрочном планировании является его точность. На данный момент существуют различные методы планирования потребления. Их можно разделить на методы, основанные на математической статистике и методы, в которых применяются нейронные сети.

В качестве объекта исследования была выбрана Ульяновская область.

На данный момент установленная мощность энергосистемы Ульяновской области составляет 1029,9 МВт; суммарное производство электрической энергии за прошлый год составило 2687,4 млн. кВт·ч; потребление региональной энергосистемы электрической энергии за прошлый год составило 5570 млн. кВт·ч.

При прогнозировании необходимо учитывать следующие ключевые факторы:

1. Погодные условия, а именно:

- **Температура воздуха.** Является главным фактором. В холодное время года потребление растет из-за использования электроотопления, в жаркое – из-за работы систем кондиционирования. Нелинейная зависимость между температурой и нагрузкой (так называемая «функция «тепло/холод»») создает дополнительные сложности. Резкие перепады температур, аномальная жара или холод приводят к значительным всплескам нагрузки, которые трудно предсказать.

- **Освещенность и облачность.** Влияют на время использования искусственного освещения, что особенно заметно в утренние и вечерние часы в осенне-зимний период.

- **Влажность и скорость ветра.** Могут оказывать косвенное влияние на субъективное восприятие температуры и, как следствие, на использование климатической техники.

2. **Социально-экономические и поведенческие факторы.** Электропотребление – это отражение деятельности общества, поэтому оно подвержено влиянию календарных и поведенческих паттернов. А именно:

- **Сезонность.** Различают суточную, недельную и годовую сезонность. Потребление в будние дни кардинально отличается от выходных; праздничные дни (особенно с плавающими датами) создают резкие аномалии в профиле нагрузки.

- **Экономическая активность.** Уровень промышленного производства, работа торговых центров и офисов напрямую определяет дневной максимум нагрузки. Неучтенное изменение экономической конъюнктуры может привести к систематическим ошибкам прогноза.

- **Поведение населения.** Массовые просмотры телепередач (например, финалы чемпионатов мира), начало и окончание рабочих смен на крупных предприятиях формируют характерные «пики» и «провалы» в графике нагрузки. Эти события часто носят стохастический характер.

3. **Качество и доступность данных.** Любая модель прогнозирования работает на данных. Их качество определяет потолок точности модели.

- **Выбросы и пропуски.** Сбои в работе систем сбора телеметрии (АСКУЭ) приводят к появлению аномальных значений или полному отсутствию данных, которые требуют сложных процедур очистки и восстановления.

- **Запаздывание данных.** Оперативное прогнозирование требует данных в режиме, близком к реальному времени. Задержки в поступлении информации снижают эффективность моделей.

- **Гранулярность.** Прогноз для всей энергосистемы, как правило, точнее, чем для отдельного региона или небольшого населенного пункта, где влияние случайных факторов более выражено.

В рамках решения проблемы методов планирования, считаю оптимальным подходом прибегнуть к использованию нейронных сетей. Данный выбор основан на высокой степени прогресса в данном направлении. Также нейронные сети позволяют упростить работу по анализу большого количества исходных данных и выявлять сложные взаимосвязи в них.

Ранее в данном направлении проводились разработки с применением искусственных нейронных сетей (ИНС).

На данный момент существуют гибридные нейронные сети. Их применение при прогнозировании позволяет агрегировать прогнозы, построенные с помощью математических методов и метода ИНС, взвешивая их в зависимости от текущего контекста (день недели, время года), что позволяет нивелировать слабые стороны отдельных алгоритмов [2].

Библиографический список

1. Правила оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике : постановление Правительства РФ от 06.05.2006 № 273 (с изменениями от 03.03.2010 № 117).

2. Tao, Hong. Probabilistic electric load forecasting : A tutorial review / Tao Hong, Shu Fan // International Journal of Forecasting. – 2016. – V. 32, Is. 3. – P. 914 – 938.

МОНИТОРИНГ ВКЛЮЧЕНИЯ ИЛИ ОТКАЗА ВКЛЮЧЕНИЯ АВР

И. Н. Фомин, Р. П. Беликов, В. И. Зелюкин

*Орловский государственный аграрный университет
имени Н. В. Парахина, Орел, Россия*

Введение. Применение сетевого и местного АВР является эффективным средством и позволяет во многих случаях значительно сократить количество и длительность перерывов в электроснабжении [1, 2]. Вместе с тем, из-за выявленных недостатков, применяемых в настоящее время средств АВР, эффективность его работы значительно снижается [3]. Обнаруженные недостатки требуют разработки новых и совершенствования известных схем реализации пунктов автоматического включения резерва (АВР) [4, 5].

Обсуждение. На рисунке 1 представлена схема кольцевой сети, состоящая из трансформаторов Т1 и Т2, секционного выключателя Q8 шин Ш1 и Ш2, головных Q2 и Q6 и секционирующих Q3 и Q5 выключателей, и пункта АВР с выключателем Q4. На этом же рисунке также представлена структурная схема контроля успешного включения или отказа включения АВР. Она состоит из трансформатора тока (ТТ) 1 и 8, датчиков тока короткого замыкания (ДТКЗ) 2 и 9, элементов ПАМЯТЬ 3, ЗАДЕРЖКА 4, ОДНОВИБРАТОРОВ 5 и 10, И 6 и И 7, ИЛИ 11, НЕ 12 и регистрирующего устройства (РУ) 13.

В нормальном режиме работы электрической сети секционный выключатель шин Q8 отключен и потребители S1 и S2 питаются от основного источника питания трансформатора Т1. При этом выключатель Q4 пункта АВР также отключен, поэтому потребители S3 и S4 питаются от трансформатора Т2, который для них является основным источником питания, а для потребителей S1 и S2 резервным.

Возникновение устойчивого двух- или трехфазного короткого замыкания (к.з.), например, в точке К1 приведет к срабатыванию защиты линейного выключателя Q2 и его отключению [6]. Секционирующий выключатель Q3 также отключится под действием защиты минимального напряжения. Таким образом, участок линии с поврежденной изоляцией будет локализован. Для восстановления питания отключенным потребителям S1 по истечении выдержки времени срабатывания пункта АВР должно произойти включение выключателя Q4 и присоединение их к резервному источнику питания трансформатору Т2.

При правильном действии автоматики пункта АВР происходит восстановление питания у потребителей S1, а при неправильном (например, отказ включения выключателя Q4 по причине какой-либо неисправности) потребите-

ли S1 остаются обесточенными. И в первом и во втором случаях информация о включении или отказе включения выключателя Q4 пункта АВР может быть получена дистанционно на подстанции путем использования структурной схемы, приведенной выше.

Для этого в начале линии, питающейся от основного источника питания, контролируют появление броска тока к.з., вызванного к.з. в линии [7, 9]. При появлении броска тока к.з. начинают отсчет времени, равного выдержке времени пункта АВР, а по окончании отсчета этого времени контролируют появление броска рабочего тока (есть бросок тока и он увеличился на значение, определяемое подключенной резервируемой нагрузкой или нет броска тока – он остался неизменным) на шинах второго резервного трансформатора [8]. И если есть бросок рабочего тока, то констатируют факт включения выключателя пункта АВР, а если нет броска рабочего тока, т.е. ток остался неизменным, то констатируют отказ включения выключателя пункта АВР.

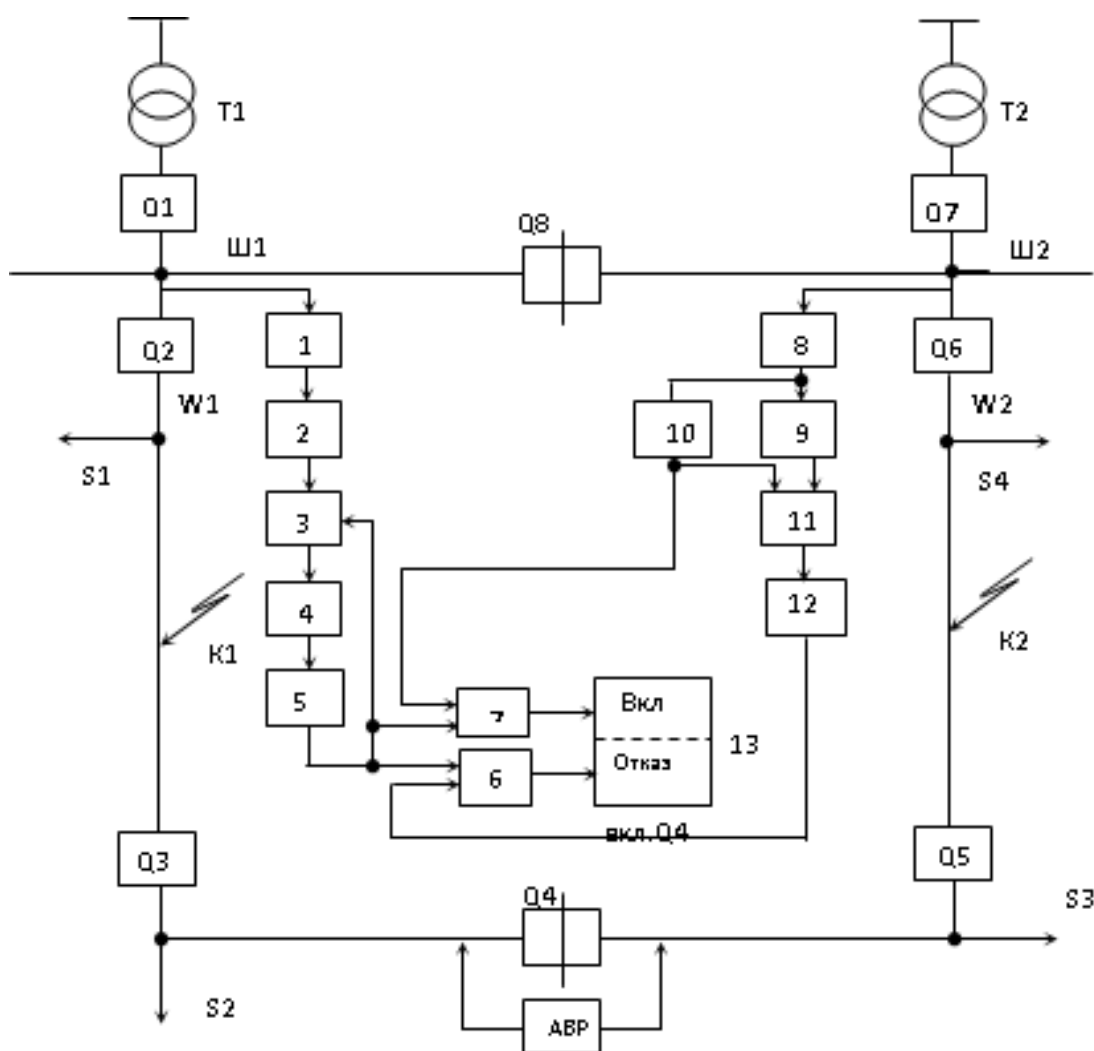


Рис. 1. Схема кольцевой сети и структурная схема контроля включения или отказа включения пункта АВР

Появление тока к.з. (устойчивое к.з. в точке K1) приведет к тому, что сработает ДТКЗ 2. На его выходе появится сигнал, который поступит на элемент ПАМЯТЬ 3, запомнится им и поступит на элемент ЗАДЕРЖКА 4. С выхода элемента ЗАДЕРЖКА 4 на вход ОДНОВИБРАТОРА 5 сигнал поступит через время, равное времени выдержки включения выключателя Q4. При поступлении этого сигнала ОДНОВИБРАТОР 5 выдаст однократный импульс, который сбросит память с элемента 3 и поступит на входы элементов И 6 и И 7. Если в это же время происходит включение выключателя Q4, то на выходе ТТ 8 появится сигнал, достаточный для срабатывания элемента ОДНОВИБРАТОР 10. Сигнал с ОДНОВИБРАТОРА 10 поступит на второй вход элемента И 7 и на вход элемента ИЛИ 11. Наличие двух входных сигналов на И 7 приведет к появлению сигнала на его выходе, который поступит в РУ 13 и обеспечит появление в нем информации о включении выключателя Q4 пункта АВР. В РУ 13 будет присутствовать информация о том, что произошло успешное включение резерва.

Если же по окончании выдержки времени срабатывания пункта АВР не происходит включение выключателя Q4, то на шинах трансформатора резервного источника питания Т2 не будет наблюдаться броска тока, т.е. ток будет оставаться неизменным. При этом не работает ДТКЗ 8 и ОДНОВИБРАТОР 10. Это обеспечит отсутствие входных сигналов на элементах И 7, ИЛИ 11 и наличие выходного сигнала на элементе НЕ 12, который поступит на второй вход элемента И 6. Наличие двух входных сигналов на элементе И 6 в данной ситуации приведет к появлению его выходного сигнала, который поступит в РУ 13, где появится информация об отказе включения выключателя Q4 пункта АВР.

Выводы. Таким образом, устройства, реализованные по рассмотренной структурной схеме, позволят своевременно получать информацию на подстанции об успешном включении или отказе включения пункта АВР в кольцевой сети.

Библиографический список

1. Фомин, И. Н. Особенности эксплуатации воздушных линий электропередачи / И. Н. Фомин, Р. П. Беликов // Ресурсосберегающие технологии при хранении и переработке сельскохозяйственной продукции : материалы XV Всерос. (с междунар. участием) науч.-практ. семинара ; Орел, 17 июня 2021 года. – Орел : Изд-во «Картуш», 2021. – С. 160 – 163.

2. Identification power line sections with increased-electricity losses using sensors with Wi-Fi technology for data transmission / I. N. Fomin, R. P. Belikov, T. A. Kudinova, A. N. Tsvetkov // E3s Web of Conferences, Prague, Czech Republic,

14–15 мая 2020 года. – Prague, Czech Republic : EDP Sciences, 2020. – V. 178. P. 01083.

3. Fomin, I. Remote monitoring of circuit breakers in partitioned power line / I. Fomin, N. Makhianova, R. Belikov // Proceedings – 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2018, Moscow, 15 – 18 мая 2018 года. – М., 2018. – P. 8728873.

4. Пат. № 2305356 С1 Российская Федерация, МПК H02J 13/00. Способ контроля успешного и неуспешного автоматического повторного включения выключателей в секционированной линии кольцевой сети / Суров Л. Д., Фомин И. Н. ; № 2006118486/09 ; заявл. 29.05.2006 ; опубл. 27.08.2007 ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО ОрелГАУ).

5. Пат. № 2337454 С1 Российская Федерация, МПК H02J 13/00. Способ контроля отключения и отказа автоматического повторного включения секционирующего выключателя в линии кольцевой сети ; № 2007142953/09 ; заявл. 20.11.2007 ; опубл. 27.10.2008 / Суров Л. Д., Фомин И. Н., Греков В. В. ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО ОрелГАУ).

6. Пат. № 2394331 С1 Российская Федерация, МПК H02J 13/00. Способ контроля отключения головного выключателя линии при отказе отключения секционирующего выключателя при его повторном включении на устойчивое короткое замыкание в кольцевой сети : № 2009118084/09 : заявл. 12.05.2009 : опубл. 10.07.2010 / Суров Л. Д., Фомин И. Н., Фомин ; Д. Н. заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО ОрелГАУ).

7. Суров, Л. Д. Контроль срабатывания выключателя сетевого пункта АВР на короткие замыкания в кольцевой сети / Л. Д. Суров, И. Н. Фомин, В. Ф. Шумарин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 3. – С. 18 – 20.

8. Фомин, И. Н. Запрет включения АВР выключателя в кольцевой сети / И. Н. Фомин, Р. П. Беликов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4(67). – С. 93 – 99.

9. Кузнецов, Ю. А. Дистанционный контроль автоматического повторного включения секционирующих выключателей / Ю. А. Кузнецов, Л. Д. Суров, И. Н. Фомин // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 7. – С. 29 – 33.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА AUTODESK REVIT

В. Ю. Хаустов, Е. П. Зацепин

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: vasiliykot69@icloud.com, e-mail: ezats@mail.ru)

В статье исследованы методы анализа цифрового двойника системы электроснабжения, реализованные с использованием программы Autodesk Revit. Рассмотрены особенности построения модели, расчетные зависимости и интеграция с внешними аналитическими модулями. Revit позволяет реализовать параметрическую модель энергетической системы.

Создание цифрового двойника системы электроснабжения в Autodesk Revit предполагает разработку параметрической модели, включающей все элементы электрической сети – кабельные линии и воздушные линии, трансформаторы, распределительные устройства. Основной задачей является формирование взаимосвязанных объектов, которые способны динамически изменять свои параметры при корректировке входных данных. Постановка задачи заключается в минимизации потерь мощности в сети при сохранении требуемого уровня надежности. Представим целевую функцию в виде:

$$F = \min \left(\sum \left(I_i^2 R_i \right) \right),$$

где I_i – ток в i -й линии; R_i – ее активное сопротивление. Ограничениями служат уравнения баланса мощности и условия надежности.

На этапе построения модели цифрового двойника использовались встроенные возможности Revit для моделирования системы. Уравнения состояния модели описываются следующей системой:

Для активного сопротивления:

$$\begin{aligned} U_i &= I_i R_i, \\ I_i, R_i, U_i &= U_i - I_i R_i = 0. \end{aligned}$$

Уравнение фазового состояния для реактивного сопротивления:

$$\begin{aligned} Z_i &= R_i + jX_i, \\ f_i(I_i, Z_i, U_i) &= U_i - I_i Z_i = 0. \end{aligned}$$

Комплексная (полная) мощность на участке:

$$S_i = P_i + jQ_i = U_i I_i.$$

Активная и реактивная мощность через ток:

$$P_i = \operatorname{Re}(S_i) = I_i R_i = |I_i|^2 R_i,$$

$$Q_i = \operatorname{Im}(S_i) = |I_i|^2 X_i.$$

На рисунке 1 представлен график зависимостей активной мощности от реактивной.

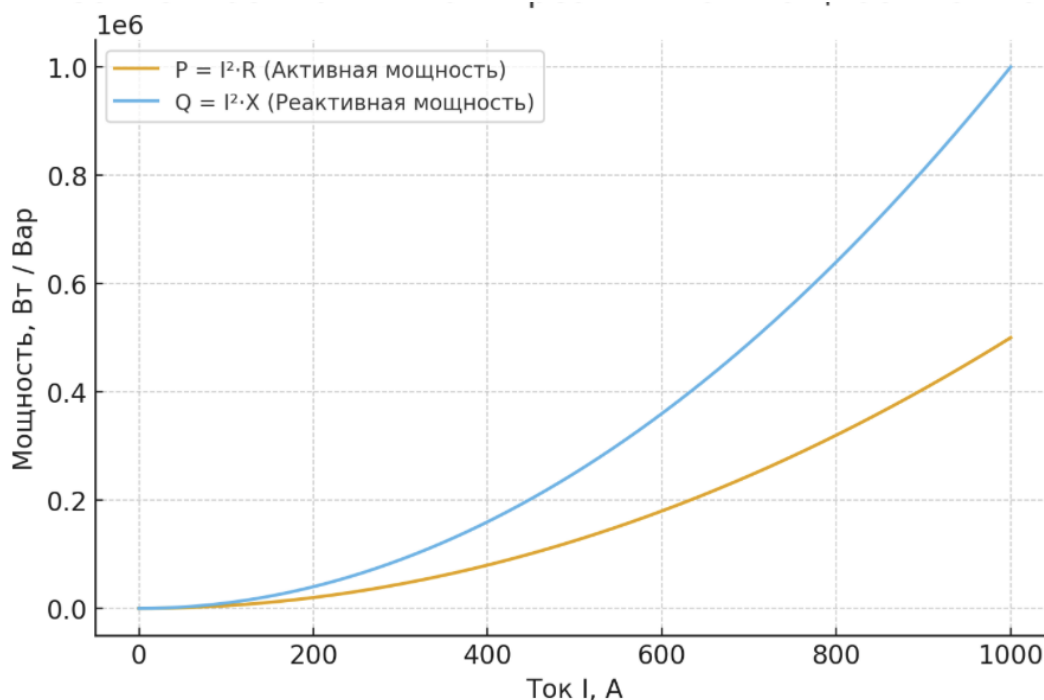


Рис. 1. График зависимостей активной мощности от реактивной

На рисунке 2 представлена примерная модель подстанции 110 кВ.

Для построения цифрового двойника системы электроснабжения в Autodesk Revit необходимо создать параметрическую BIM-модель. Эта модель должна охватывать все компоненты электрической сети, такие как кабели, трансформаторы, распределительные устройства и потребители. Ключевая цель – обеспечить взаимосвязь элементов, позволяющую автоматически обновлять их характеристики при изменении исходных данных. Revit, как BIM-платформа, присваивает каждому элементу модели набор атрибутов, включая электрические, материальные и эксплуатационные свойства. Задача оптимизации сводится к минимизации потерь мощности при одновременном обеспечении необходимой надежности и качества электроснабжения. Целевая функция для этого может быть представлена следующим образом (рис. 2).

Анализ цифрового двойника системы электроснабжения в Autodesk Revit показал, что платформа обладает широкими возможностями для реализации концепции BIM в энергетике.

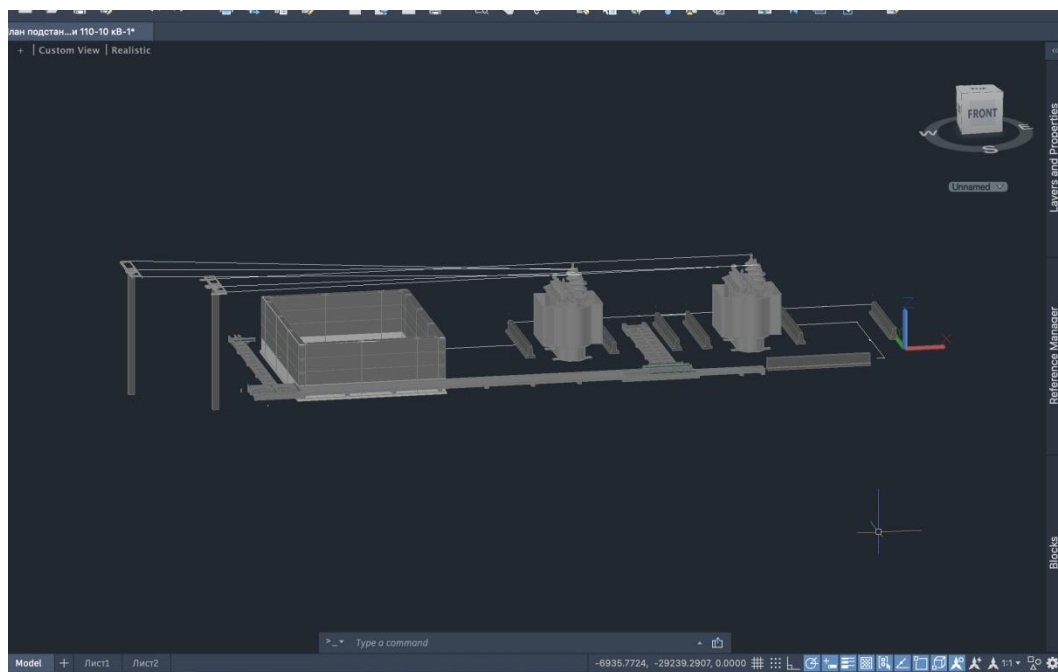


Рис. 2. Примерная модель подстанции 110 кВ

Она позволяет объединить трехмерное моделирование, инженерные расчеты и аналитические функции в едином программном пространстве. Развитие технологий обмена данными между Revit и внешними системами мониторинга создает основу для внедрения интеллектуальных цифровых двойников в практику проектирования и эксплуатации энергетических объектов. Для реализации полноценного цифрового двойника требуется интеграция модели Revit с внешними источниками данных – системами SCADA, IoT-датчиками и аналитическими платформами. Через формат IFC и API Revit осуществляется обмен данными в режиме реального времени. Это позволяет обновлять параметры цифрового двойника на основе фактических измерений. Для начала, чтобы понять, как устроена подстанция, мы будем использовать программу Autodesk Revit. Эта программа широко применяется как в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП), так и для наших задач. Создание цифрового двойника подстанции начинается с детального анализа ее структуры и сбора технических характеристик всех компонентов. Основными источниками информации служат SCADA-системы, устройства релейной защиты и автоматики (РЗА), интеллектуальные счетчики и датчики состояния оборудования. На основе этих данных создается единая база, содержащая как постоянные параметры (номинальные значения оборудования, схема сети), так и переменные (токи, напряжения, температуры, вибрации). Важнейшим аспектом является постоянная синхронизация данных, которая поддерживает модель в актуальном состоянии и позволяет отслеживать любые изменения в оборудовании в реальном времени. Для этого используются протоколы пере-

дачи данных IEC 61850, MQTT и OPC UA. Стандартизация форматов данных также важна для интеграции цифровых двойников разных подстанций в общую систему управления предприятием. В процессе создания модели применяются методы идентификации параметров и математического моделирования, чтобы цифровая модель точно отражала реальное поведение подстанции.

Библиографический список

1. Козлов, Д. В. BIM-технологии в проектировании систем электроснабжения / Д. В. Козлов. – СПб. : Политехника, 2022. – 178 с.
2. Смирнов, Ю. В. Применение Revit для анализа цифровых моделей энергетических объектов / Ю. В. Смирнов // Вестник МЭИ. – 2023. – № 2. – С. 48 – 55.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО РЕСУРСА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов, П. И. Карелин

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: dekan_chti@mail.ru)*

Стремительное развитие измерительных технологий способствует внедрению в различных областях техники измерительных средств, в том числе для проведения измерительных экспериментов в энергетике. Определение параметров и оценка режимов работы энергетических объектов проводятся с проведением соответствующих измерительных экспериментов и с применением современных электронных измерительных средств (ЭИС). Среди таких ЭИС особо значимыми, отличающимися разнообразием выполняемых функций, являются информационно-измерительные системы (ИИС). Достоверность и качество получаемой измерительной информации при этом определяются уровнем метрологических характеристик применяемых ИИС, а в конечном итоге – метрологической надежностью (МН). Под метрологической надежностью понимается свойство средств измерений сохранять свои метрологические характеристики в пределах установленных норм с течением времени в процессе эксплуатации, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Как известно МН ИИС определяется МН аналоговых блоков (АБ), составляющих измерительный канал ИИС.

Метрологическая надежность ИИС закладывается при проектировании АБ ИИС и должна поддерживаться на этапе их эксплуатации с помощью контрольных метрологических проверок. Поэтому проектирование ИИС с достаточной величиной МН, а прежде всего, основного показателя МН – метрологического ресурса (МР) t_p и контроль этого показателя на стадии эксплуатации является важной задачей.

Для решения такой задачи разработан комплексный алгоритм оценки метрологического ресурса при проектировании и эксплуатации АБ ИИС. В основе предлагаемого алгоритма оценки МН АБ ИИС на стадии проектирования положен метод аналитико-вероятностного прогнозирования [1], использующий математические модели нестационарных случайных процессов изменения во времени метрологических характеристик проектируемых АБ. При этом достижение требуемого показателя МН может быть реализовано схмотехнической оптимизацией разрабатываемого АБ ИИС [2]. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

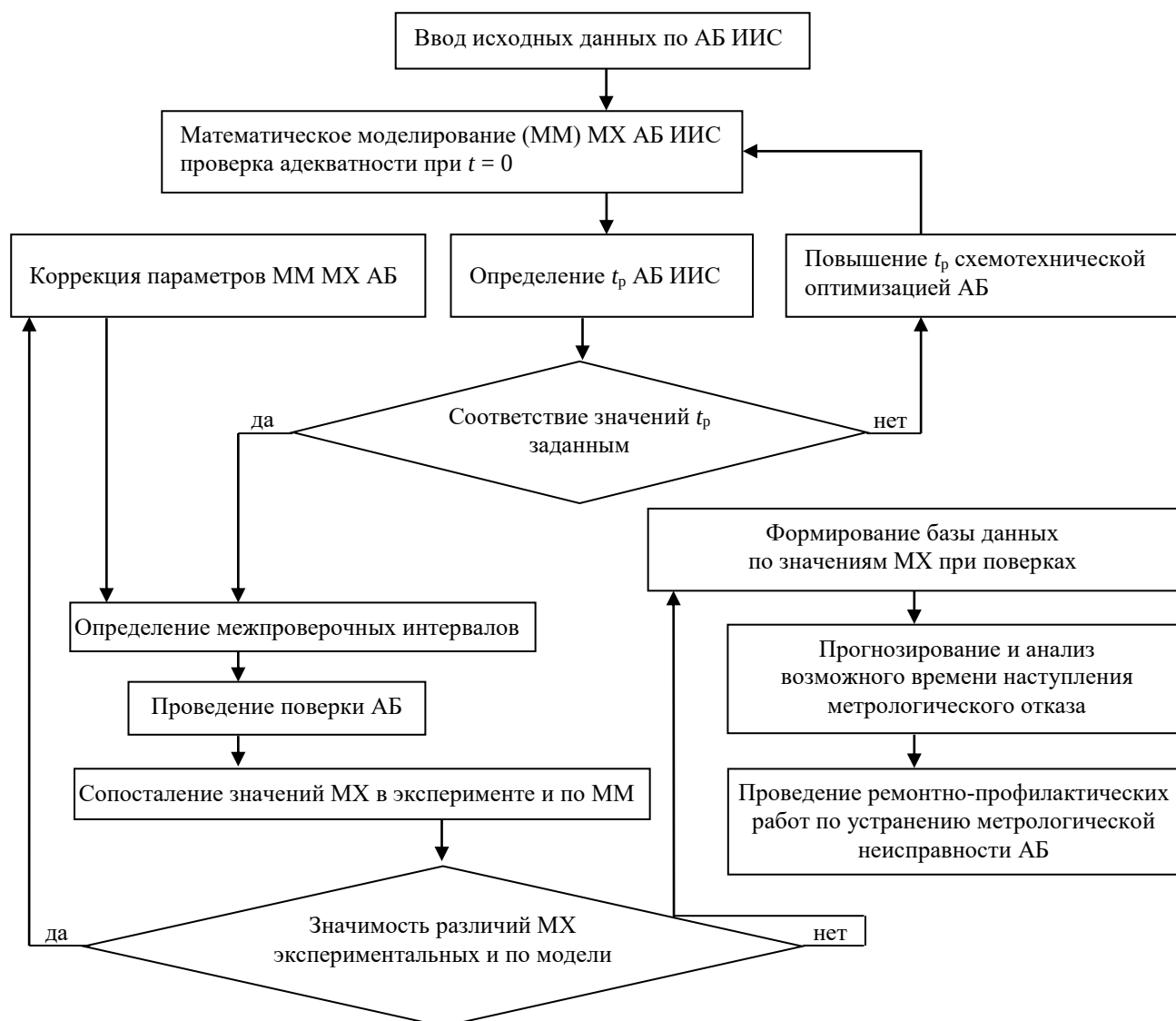


Рис. 1. Блок-схема комплексного алгоритма оценки МН при проектировании АБ ИИС

Особую ответственность в реализации предлагаемого алгоритма представляет этап построения ММ МХ проектируемого АБ, так как такая модель в дальнейшем используется для корректного определения выбранного показателя МН. Для обеспечения достоверных значений МР, создаваемая на этапе проектирования ММ, должна быть адекватна рассматриваемому объекту, т.е. АБ. Как следует из [1], ММ изменения во времени МХ представляет собой совокупность аналитических зависимостей для функций изменения во времени МХ и функций, определяющих границы возможного отклонения МХ от математического ожидания и может быть представлена выражением:

$$\begin{cases} M_S(t) \\ \psi_{\pm\sigma}(t) = M_S(t) \pm 3\sigma(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $M_S(t)$ – значение математического ожидания метрологической характеристики S в произвольный момент времени t , $\sigma(t)$ – среднеквадратическое отклонение метрологической характеристики в произвольный момент времени t .

Адекватность ММ изменения во времени МХ АБ может быть определена с помощью критериев Стьюдента и Фишера [3].

Адекватная ММ в дальнейшем может быть использована как для определения искомого показателя МН, так и для расчета межповерочных интервалов.

В предложенном алгоритме (рис. 1) реализуется коррекция построенной на этапе проектирования ММ МХ по данным метрологических проверок.

Коррекция ММ осуществляется введением в построенную на этапе проектирования математическую модель изменения во времени МХ АБ корректирующих коэффициентов. Введение таких коэффициентов сводит к минимально допустимым значениям значимость различий между расчетом МХ по модели и по результатам поверочных метрологических испытаний. Общий алгоритм коррекции представлен в [1].

Сформированная на этапе эксплуатации база данных по метрологическому уровню исследуемого АБ позволяет дать рекомендации по проведению ремонтно-профилактических работ АБ, либо по замене исследуемого блока в структуре ИИС, применяемой в измерительном эксперименте на объектах энергетики.

Библиографический список

1. Чернышова, Т. И. Применение методов математического моделирования при оценке метрологической надежности блока аналого-цифрового преобразователя / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносков // Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2017. – С. 589 – 593.

2. Отхман, Набиль Заки Сабир. Повышение показателей метрологической надежности при проектировании информационно-измерительных систем / Н. З. С. Отхман, В. И. Полухин, Т. И. Чернышова // Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2011. – С. 365 – 369.

3. Трофимова, Е. А. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие для вузов / Е. А. Трофимова, Н. В. Кисляк, Д. В. Гилев – Е. : Высшая школа, 2018. – 162 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ АНАЛОГОВЫХ БЛОКОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов, Н. И. Магомедов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: islam.magomedov1975@gmail.com)*

Проведение измерительного эксперимента является важной задачей при реализации технологических процессов в различных отраслях производства. Проведение достоверных и точных измерений технологических параметров актуально и для таких ответственных объектов, как объекты энергетики. Оперативность и точность измерений в таких случаях существенно повышаются с использованием в качестве измерительного средства информационно-измерительной системы (ИИС). Создание качественных ИИС является важнейшей задачей на этапе их проектирования.

Ключевой задачей проектирования ИИС является обеспечение не только требуемых метрологических характеристик в начальный момент времени, но и сохранение их в установленных пределах в течение всего жизненного цикла. Проблема метрологической надежности (МН) рассматривается на уровне аналоговых блоков (АБ), в частности, аналоговых компонентов измерительных каналов, которые оказывают определяющее влияние на метрологические характеристики системы в целом. Для количественной оценки МН используются такие показатели, как вероятность метрологической исправности, метрологический ресурс и вероятность метрологического отказа.

Классическая теория надежности, как известно, не учитывает неизбежный временной дрейф параметров элементной базы, что приводит к несоответствию реального метрологического ресурса проектируемым значениям. Слож-

ность проблемы усугубляется тем, что для средств измерений неприменимы фундаментальные допущения классической теории надежности – стационарность потока отказов и независимость отказов элементов. Более 80% отказов средств измерений носят постепенный метрологический характер и обусловлены нестационарными случайными процессами старения, протекающими на молекулярном уровне.

Анализ методов оценки МН АБ ИИС на этапе проектирования позволяет сделать вывод о целесообразности использования для решения задачи оценки МН математического моделирования изменения во времени метрологических характеристик (МХ) АБ ИИС с использованием аппарата аналитико-вероятностного прогнозирования [1]. Метод основан на последовательном составлении математической модели функционирования АБ, математической модели МХ блока и математической модели изменения во времени МХ проектируемого АБ. При этом основой для построения математической модели временного изменения МХ, представляющей собой нестационарный случайный процесс с монотонно изменяющимися во времени математическим ожиданием и дисперсией МХ служат априорные знания о процессах изменения во времени параметров составляющей АБ элементной базы, входящей в математическую модель МХ. Экстраполяция построенной математической модели изменения во времени МХ на область будущих значений времени эксплуатации позволит дать вероятностную оценку МН АБ. Значения показателей МН могут корректироваться по мере получения данных метрологических проверок, проводимых на стадии эксплуатации. Однако уже полученные на этапе проектирования значения МН служат основой для определения метрологического уровня разрабатываемого АБ в структуре ИИС.

Полученные в результате прогнозирования значения показателей МН определяют уровень их соответствия требуемым для проектируемого АБ значениям [2]. Если уровень рассчитанных показателей МН не соответствует требованиям, то необходимо на этапе проектирования перейти к решению задачи увеличения этих показателей. На рисунке 1 представлена схема общего алгоритма повышения МН АБ ИИС.

Особое значение при проектировании АБ ИИС имеет показатель вероятности метрологического отказа в начальный момент времени ($t = 0$). Хотя традиционно считается, что в начале эксплуатации устройство гарантированно соответствует метрологическим характеристикам. В реальности уже в момент $t = 0$ существует ненулевая вероятность метрологического отказа, обусловленная технологическим разбросом параметров элементной базы.

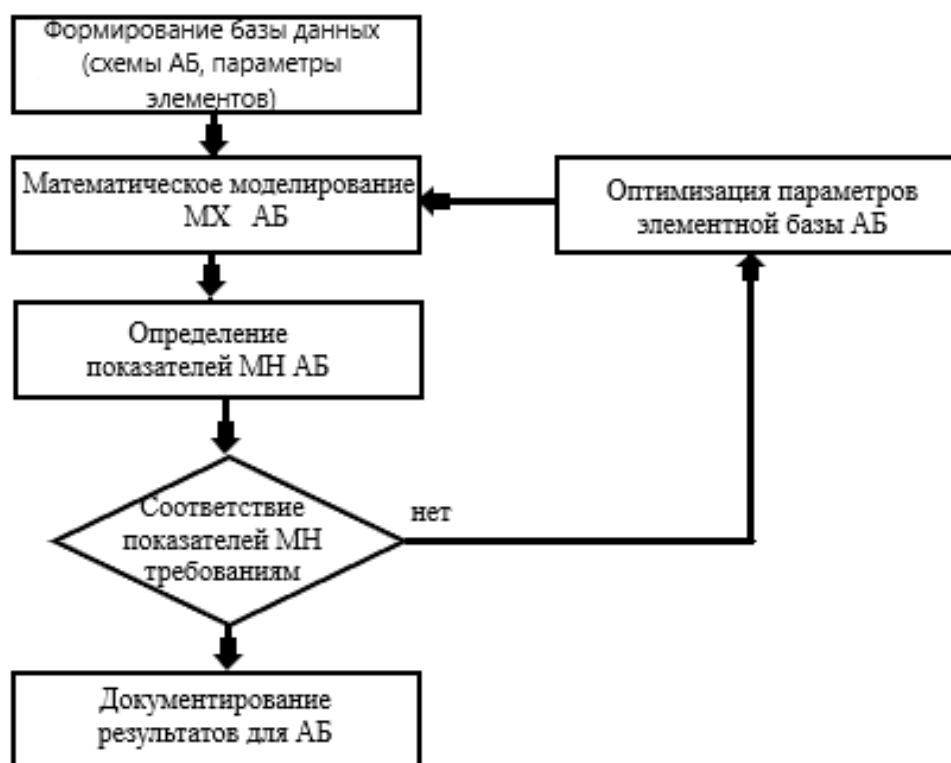


Рис. 1. Схема общего алгоритма повышения МН АБ ИИС

Рассмотрим достаточно важную для измерительного средства, в том числе и для АБ ИИС, задачу определения минимально возможных значений вероятности метрологического отказа, путем подбора номиналов элементов, обеспечивающих минимальное значение выбранного показателя МН:

$$P_{\text{отк}}(t) = P\{\delta / t > \delta_{\text{доп}}\} = \min, \quad (1)$$

$$\text{при } \delta(t, \vec{\varphi}) = \text{var}, y(t, \vec{\varphi}) \in A,$$

где $P_{\text{отк}}(t)$ – вероятность метрологического отказа; $\delta_{\text{доп}}$ – допустимое значение исследуемой метрологической характеристики (чаще всего погрешностей); t – время; $\vec{\varphi}$ – вектор внешних влияющих воздействий; $y(t, \vec{\varphi})$ – совокупность выходных характеристик ИИС; A – область работоспособности.

Эта задача решается комплексным подходом, включающим не только обеспечение требуемых значений выбранного показателя в начальный момент времени и учет процессов старения элементной базы в последующий момент времени эксплуатации. Для этого в исследуемом блоке определяются элементы, подлежащие изменению. Выбор осуществляется следующим образом.

Определяется степень влияния комплектующей блок элементной базы на исследуемую метрологическую характеристику. Степень влияния параметра каждого элемента на величину метрологической характеристики оценивается по величине нормируемой частной производной вида $\vec{G}(\varepsilon_j)$:

$$G(\varepsilon_j) = \frac{\vec{G}(\varepsilon_j)\sigma_{\varepsilon_j}}{\sqrt{\sum \vec{G}^2(\varepsilon_j)\sigma^2}}, \quad j=1, \dots, n, \quad (2)$$

где $\vec{G}(\varepsilon_j)$ – значения частных производных, вычисленных по номинальным значениям параметров j -го комплектующего элемента блока; ε_j – параметры комплектующих элементов блока; σ_{ε_j} – среднеквадратичное отклонение параметра j -го комплектующего элемента блока.

Осуществляется выбор элементов, подлежащих замене, по величине нормируемой частной производной вида $\vec{G}(\varepsilon_j)$.

Затем осуществляется ранжирование элементов по абсолютному значению $G(\varepsilon_j)$. Выделяются элементы, имеющие максимальное значение нормируемой частной производной $G(\varepsilon_j)$.

Выбранные элементы служат основой для поиска оптимального значения выбранного критерия при условии сохранения работоспособности схемы проектируемого аналогового блока.

Формулировка задачи оптимизации в рамках этого подхода сводится к минимизации вероятности метрологического отказа при заданных конструктивных и схемотехнических ограничениях.

Решение данной задачи осуществляется с помощью итерационных процедур параметрической оптимизации, таких, как методы случайного поиска, метод Розенброка или сопряженных направлений. Эти методы позволяют варьировать номиналы элементов в схеме, находить набор параметров, при котором обеспечивается необходимое значение выбранного показателя МН. Предварительные исследования показали, что для рассматриваемой задачи целесообразно использовать метод случайного поиска [3].

С использованием выбранного метода параметрической оптимизации можно решить задачу вида (1) для всех АБ, составляющих измерительный канал ИИС. В таком случае величина вероятности метрологического отказа для измерительного канала (ИК) ИИС рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{отк}_{\text{ИК}}}(t) = \min \{ P_{\text{отк}_i}(t) \}, \quad i=1, \dots, k,$$

где $P_{\text{отк}_{\text{ИК}}}(t)$ – вероятность метрологического отказа ИК ИИС; $P_{\text{отк}_i}(t)$ – значение среднего показателя МН для i -го АБ; k – число АБ в структуре ИК ИИС.

Таким образом, предлагаемый алгоритм поиска оптимальных параметров элементной базы позволит на этапе проектирования обеспечить требуемое значение выбранного показателя МН как отдельного АБ, так и для ИК и ИИС в целом.

Библиографический список

1. Чернышова, Т. И. Математическое моделирование метрологических характеристик при оценке метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская, Р. Ю. Курносов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 209 – 215.
2. Чернышова, Т. И. Применение методов математического моделирования при оценке метрологической надежности блока аналого-цифрового преобразователя / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 589 – 594.
3. Автоматизация схмотехнического проектирования : учебное пособие для вузов / В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин, А. И. Бутко и др. ; под ред. В. Н. Ильина. – М. : Радио и связь, 1987. – 368 с.

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, ВЕСОВЫХ СООТНОШЕНИЙ СТРУКТУРНЫХ ЕДИНИЦ АФРИКАНСКОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ НЕЙРОБИОЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПЛАНЕТАРНОЙ ПОДЗЕМНО-ПОДВОДНОЙ МНОГОУРОВНЕВОЙ НЕЙРОЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПЛАНЕТЫ ЗЕМЛЯ ВЫСШЕЙ КАТЕГОРИИ НАДЕЖНОСТИ С ЧЕТЫРЬМЯ НЕЗАВИСИМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ НА 2025 год И ДОЛГОСРОЧНУЮ ПЕРСПЕКТИВУ ДО 2530 года. КЛЮЧ К АФРИКЕ

**В. П. Шарупич^{1, 2}, П. В. Шарупич², С. В. Шарупич²,
Гиамфи Ассале Эме Сезер¹, С. С. Шарупич²**

¹ *Орловский государственный аграрный университет
имени Н. В. Парахина, Орел, Россия
(e-mail: patent48@mail.ru)*

² *Общество с ограниченной ответственностью «Патент», Орел, Россия
(e-mail: tssharpich@yandex.ru)*

Президент России В. В. Путин на саммите Россия – Африка заявил, что Россия будет укреплять сотрудничество со странами Африки, Азии и Латинской Америки в области энергетики, сельского хозяйства, промышленности, образования и культуры [2].

Это увеличение продолжительности жизни, повышение энерговооруженности, подготовка кадров для ключевых отраслей [1 – 5].

Ключевым направлением являются 62 структурные единицы Африканской континентальной нейробиоэнергосистемы планетарной подземно-подводной многоуровневой энергосистемы планеты Земля высшей категории надежности на базе отраслевых роутеров-генераторов. При этом особую важность представляют технико-биологические характеристики и весовые соотношения структурных единиц 62 республиканских нейробиоэнергосистем.

Нейробиоэнергосистема – это совокупность биологических объектов (людей) генерирующих, передающих и потребляющих систем, нейроэнергочипов (отраслевых роутеров-генераторов), **все элементы которых на планете могут быть включены в единую нейробиоэнергосистему**. В данной связи индивидуальность нужна в роли некоего реле (ствола), чтобы потоки энергий, информации и биообъекты не пересекались (не сталкивались). Искусственная нейробиоэнергосистема может успешно работать только в случае полного соответствия естественной нейробиоэнергосистеме планеты Земля.

Цель. Анализ технико-биологических характеристик, весовых соотношений структурных единиц африканской континентальной нейробиоэнергосистемы планетарной подземно-подводной многоуровневой нейроэнергосистемы планеты Земля высшей категории надежности с четырьмя независимыми источниками энергии на базе отраслевых роутеров-генераторов на 2025 год и долгосрочную перспективу до 2530 года.

Задачи:

1. Строительство Африканской континентальной нейроэнергосистемы.
2. Определение технико-биологических, технико-экономических характеристик, весовых соотношений 62 республиканских нейробиоэнергосистем Африканской континентальной нейробиоэнергосистемы [1 – 5].
3. Разработать континентальный нейробиоключ к Африке.
4. Анализ структурных единиц Африканской континентальной нейроэнергосистемы, в том числе структурных единиц республиканских, региональных, окружных, районных, муниципальных, коммунных.

Выполнение поставленных задач по исследованиям и строительству Африканской континентальной нейроэнергосистемы осуществляется в соответствии с планетарным научно-практическим направлением: «Нейронная сеть армирования антивандальных динамико-биологических 746-фазных отраслевых роутеров-генераторов для подключения внутренних локальных сетей на 696 абонентов и внешних локальных сетей на 8 абонентов».

Выводы

1. Россия строит Африканскую подземно-подводную многоуровневую нейроэнергосистему из 62 структурных единиц высшей категории надежности с 4-мя независимыми источниками энергии, мощность генерирующих источников которой в долгосрочной перспективе на 2530 год составляет 769,3 ТВт, что решает задачи увеличения энерговооруженности, продолжительности жизни, подготовки кадров для ключевых отраслей государств Африки.

2. Разработана методика определения технико-биологических и технико-экономических показателей и весовых соотношений республиканских нейроэнергосистем Африканской континентальной нейроэнергосистемы планетарной подземно-подводной многоуровневой нейроэнергосистемы.

Библиографический список

1. Континентальные нейроэнергосистемы планетарной подземно-подводной нейроэнергосистемы планеты Земля высшей категории надежности с четырьмя независимыми источниками энергии. Методические положения / В. П. Шарупич, П. В. Шарупич, С. В. Шарупич, Т. С. Шарупич // Интеллектуальные системы в аграрном и строительном комплексе : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. 03–04 декабря 2024 г. – Орел : Изд-во Орловский ГАУ, 2024. – Т. 2. – С. 372 – 377.

2. Путин В. В. Саммит «Россия – Африка». Санкт-Петербург 27–28 июля 2023 г.

3. Методология расчета социальной экологичности, надежности электроснабжения, увеличения продолжительности жизни человека и развития территорий в системе электроснабжения типа «Андреевский крест» / В. П. Шарупич, С. В. Шарупич, П. В. Шарупич и др. // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2. – № 8. – С. 35 – 40.

4. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах.

5. Шарупич, В. П. Бессмертие : учебник для ВУЗов / В. П. Шарупич. – Орел : Патент-Град-РИЦ. – 2008. – Т. 1. – 892 с.

КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗРЯДНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ДЕФЕКТОВ МАСЛОПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИМ ДАННЫМ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И AUTOML

В. А. Шеломенцев, Я. А. Шеломенцев

*Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
(e-mail: shelomentseva72@mail.ru, y.a.shelomentsev@mail.ru)*

Надежная работа силовых трансформаторов требует своевременной диагностики зарождающихся дефектов. Деградация трансформаторного масла и ненормальные режимы эксплуатации являются одними из основных причин отказов оборудования. Состав масла выступает индикатором технического состояния трансформатора, позволяя судить о состоянии изоляционных материалов и внутренних узлов. В предыдущей работе разработана система поддержки принятия решений (СППР) для комплексной оценки состояния трансформаторов на основе совокупности диагностических параметров, включая результаты хроматографического анализа растворенных газов (ХАРГ), что повысило объективность мониторинга и точность прогноза остаточного ресурса оборудования. Однако интегральный индекс технического состояния, используемый в СППР, не раскрывает причины газообразования и природу развивающихся повреждений.

Существующие методики интерпретации ХАРГ, включая международный стандарт МЭК 60599 [1] и диаграммы Дюваля, широко применяются, но нередко дают разночтения при анализе одной и той же пробы масла. В литературе отмечены случаи расхождения диагнозов при использовании различных правил и схем интерпретации. Это ограничивает достоверность традиционных подходов и подчеркивает необходимость более углубленного анализа газовых данных. Современные методы искусственного интеллекта демонстрируют преимущество по точности интерпретации результатов ХАРГ по сравнению с жесткими правилами стандартов. Среди них используются нейро-нечеткие алгоритмы, а также модели глубокого обучения и ансамблевые методы, что подтверждает перспективность применения машинного обучения для повышения надежности диагностирования дефектов.

В ранее выполненном исследовании [2] была разработана система поддержки принятия решений с интегральным индексом технического состояния трансформатора на основе комплекса диагностических параметров, включая данные ХАРГ. Такой подход обеспечивал объективную оценку состояния и

прогноз остаточного ресурса оборудования. Однако он не позволял идентифицировать конкретные причины дефектообразования. В настоящем исследовании реализован следующий этап: построена модель интеллектуальной диагностики типа дефекта на основе ХАРГ. Это дополняет СППР, расширяя ее функциональность за счет распознавания характера повреждений трансформатора.

Для анализа использованы данные ХАРГ, включающие концентрации водорода (H_2), метана (CH_4), этана (C_2H_6), этилена (C_2H_4), ацетилена (C_2H_2), а также суммарное содержание горючих газов ΣHC (Sum of Hydrocarbon Gases) [1, 3]. Эти компоненты служат основными индикаторами дефектов маслonaполненного оборудования, согласно [1]. Для нормализации масштабов применено логарифмирование концентраций, а также рассчитаны диагностические отношения $R_1 - R_3$ по стандарту МЭК 60599, учитывающие пропорции ключевых газов. Таким образом сформировано признаковое пространство, включающее исходные и инженерные параметры.

Перед обучением моделей выполнена очистка выборки: удалены выбросы, дубликаты и заполнены пропуски. Все числовые признаки стандартизированы. Получено 796 наблюдений с метками классов дефектов, сформированных по международной классификации.

Целевая переменная представляет собой тип дефекта, определенный на основе экспертного анализа ХАРГ и сопутствующих данных. Всего выделено шесть категорий повреждений (табл. 1), отражающих различные физико-химические процессы в трансформаторе.

1. Классификация основных типов дефектов трансформатора по данным ХАРГ

Класс	Тип повреждения
PD	Частичный разряд в газовой среде
D1	Низкоэнергетический разряд
D2	Высокоэнергетический разряд
T1	Низкотемпературный тепловой дефект
T2	Среднетемпературный тепловой дефект
T3	Высокотемпературный тепловой дефект

Распределение классов в выборке близко к сбалансированному (от 88 до 191 наблюдений на каждый класс), что позволило обучать модели без использования специальных методов балансировки.

Для задачи многоклассовой классификации дефектов трансформаторов были протестированы различные алгоритмы машинного обучения: ансамбли решающих деревьев (Random Forest, Extra Trees), градиентный бустинг (CatBoost), метод опорных векторов (SVC), логистическая регрессия, а также несколько базовых методов (к-ближайших соседей, наивный байес). Обучение проводилось на расширенном наборе признаков, включающем исходные концентрации, логарифмы и диагностические отношения газов. Для обеспечения корректности результатов использовались стратифицированное разбиение выборки (80/20) и к-блочная перекрестная проверка.

Все модели реализованы с использованием библиотек scikit-learn и CatBoost. Их качество оценивалось по стандартным метрикам, некоторые из них – это общая точность классификации (Accuracy), макроусредненной F_1 -мере (Macro- F_1) и др. Наилучшие результаты показали ансамблевые методы, особенно Random Forest, превосходящий другие алгоритмы по совокупности показателей. Сводные метрики представлены в табл. 2.

2. Сводные итоги сравнения работы различных моделей классификации

Наименование модели	Общая точность классификации, %	Макроусредненная F_1 -мера
Random Forest (случ. лес)	84	0,82
Extra Trees	82	0,80
CatBoost (градиентный бустинг)	80	0,78
SVC (SVM с нелинейным ядром)	73	0,70
Логистическая регрессия	68	0,65

Таким образом, Random Forest показал наилучшие результаты классификации, обеспечив высокую точность и полноту распознавания дефектов. Наибольшую сложность для всех моделей представлял класс D1 (низкоэнергетические разряды), для которого F_1 -мера составила $\approx 0,66 \dots 0,68$, в то время как для остальных классов F_1 превышала 0,8. Это объясняется слабой выраженностью газового состава при D1 по сравнению с более характерными профилями разрядных и тепловых повреждений.

На следующем этапе был применен AutoML-фреймворк FEDOT (ИТМО) для автоматизированного построения модели диагностики по данным ХАРГ. Использован режим «best_quality» с автоподбором гиперпараметров, критерием

оптимизации выступал макроусредненный F_1 -индекс. В процессе эволюционного поиска перебирались различные классификаторы, ансамбли и каскадные структуры. Итоговым решением стал одноэтапный классификатор Random Forest, совпадающий с вручную отобранной моделью. Полученные метрики (Accuracy $\approx 84\%$, $F_1 \approx 0,82$) подтвердили ее эффективность. Таким образом, AutoML воспроизвел выбор эксперта, показав, что более сложные композиции не обеспечивают прироста качества для данной задачи. Полученная модель может быть использована в прикладных диагностических системах без доработки.

Сравнение традиционного и AutoML-подходов подтвердило, что Random Forest является наиболее эффективной моделью для интерпретации ХАРГ при диагностике дефектов трансформатора. Алгоритм показал высокую точность, устойчивость к вариациям данных и воспроизводимость результатов. Его способность учитывать нелинейные зависимости и взаимодействия признаков обеспечивает надежное распознавание как разрядных, так и тепловых дефектов. Встроенные механизмы регуляризации и усреднения повышают устойчивость модели к шуму и выбросам. Превосходство Random Forest над линейными и сложными ансамблями делает его оптимальным выбором для практического применения в системах диагностики.

Проведенное исследование подтвердило целесообразность перехода от интегральной оценки технического состояния трансформатора к интеллектуальной диагностике причин дефектообразования на основе данных ХАРГ. Предложенная модель обеспечивает автоматическую идентификацию типа повреждения на ранней стадии и дополняет ранее разработанную СППР [2], формируя более информативный контур принятия решений.

Практический эффект заключается в повышении объективности диагностики и снижении влияния человеческого фактора при интерпретации газовых показателей. Разработанный классификатор может быть интегрирован в существующие системы мониторинга как модуль вычислительной диагностики, поддерживающий переход к риск-ориентированному обслуживанию и уменьшение вероятности аварийных отказов.

Дальнейшее развитие работы целесообразно направить на анализ устойчивости модели к редким типам дефектов, исследование влияния различных преобразований признаков, автоматизированный подбор гиперпараметров и расширение объема обучающих данных. Это позволит повысить точность классификации и обеспечить более глубокое понимание механизмов дефектообразования.

Библиографический список

1. МЭК 60599:2022. Электрооборудование маслonaполненное в условиях эксплуатации. Руководство по интерпретации результатов анализа растворенных и свободных газов. – Женева : Международная электротехническая комиссия, 2022. – 80 с.
2. Разработка системы поддержки принятия решений для оценки технического состояния силовых трансформаторов / В. А. Шеломенцев, И. С. Сухачев, С. В. Сидоров и др. // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336, № 6. – С. 120 – 135.

СТРУКТУРА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ КООРДИНАТ ТС НА БАЗЕ ФАЗОВОГО УГЛОМЕРА

А. Н. Шитов, Д. П. Шпилев, С. Н. Данилов

*Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов
(e-mail: sashashitov70@gmail.com; dimkashpi1@gmail.com; plabz@mail.ru)*

В настоящее время на автодорогах необходим эффективный мониторинг трафика в диапазоне, сигналы которого мало зависят от погодных условий и времени суток [1]. Имеющиеся средства (например «ИСКРА-1» различных модификаций) имеют рабочую частоту излучения $24,15 \pm 0,1$ ГГц ($\lambda \approx 1,2$ см). Они позволяют измерять скорость движения, но не предназначены для оценивания координат ТС на ограниченном участке местности. Дальность действия такого измерителя примерно 300 м. Допускаемая абсолютная погрешность измерения скорости ± 2 км/ч. Так как точность измерения скорости зависит от длительности сигнала [2] – время измерения скорости около 1 с.

В РФ сертифицированы три диапазона для частот радаров транспортной инспекции [3]: X – диапазон (рабочая частота 10.525 ГГц); K – диапазон (несущая частота 24.150 ГГц); L – диапазон (рабочая частота 700...1000 нм). Перспективные диапазоны Ka и Ku пока не сертифицированы.

В работе [4] показано, что особенностью применения фазового метода на ограниченной, близко расположенной по отношению к измерителю площади, например, территории перекрестка дорог, территории аэродрома является изменяющаяся степень нелинейности и крутизны дискриминационной характеристики (ДХ) измерителя (рис. 1) в зависимости от дальности Д до наблюдаемой радиометки (РМ). При этом следует учитывать, что измерение расстояния малой величины затруднено из-за сложности оценки задержки сигнала в прие-

мопередатчике радиометки. Оно заметно отличается в разных радиометках и нестабильно даже в одной и той же радиометке. Рассмотрим методы оценки дальности до РМ.

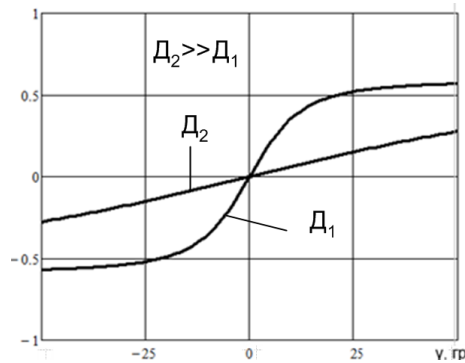


Рис. 1

В начале остановимся на общем подходе к оценке точности измерения. Кроме непостоянства задержки на точность измерения влияет также отношение сигнал/шум и вид сигнала, в первую очередь его спектр. Рассмотрим вторую производную по задержке во времени $t_{\text{оп}} - t_3$ функции неопределенности (ФН) зондирующего сигнала $\psi_{s_0}(\xi)$. Ее можно получают из общего выражения для ФН [2]:

$$\dot{\psi}_s(\tau, \nu) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}^*(f) \dot{S}(f - \nu) \exp\{j2\pi f\tau\} df,$$

где $\tau = t_{\text{оп}} - t_3$, $\dot{S}$ – комплексная огибающая спектра сигнала. Произведя нормировку и взяв вторую производную получим:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \dot{\psi}_{s_0}(\tau, \nu)}{d \cdot t_{\text{оп}}^2} &= \frac{(j \cdot 2\pi)^2}{E_0} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}^*(f) \dot{S}(f - \nu) f^2 \exp\{j \cdot 2\pi f\tau\} df \Bigg|_{\substack{\nu=0 \\ t_{\text{оп}}=t_3}} = \\ &= -4\pi^2 \int_{-\infty}^{\infty} |\dot{S}(f)|^2 f^2 df = -\Delta f_{\text{СПск}}. \end{aligned}$$

Откуда дисперсия погрешности измерения времени задержки равна

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{q^2 \Delta f_{\text{СПск}}^2},$$

где $q = \sqrt{\frac{2E}{N_0}}$ – отношение сигнал/шум; E – энергия сигнала; N_0 – спектральная плотность мощности шума. Тогда дисперсия погрешности измерения расстояния будет равна $\sigma_d^2 = \left(\frac{c}{2}\right)^2 \sigma_t^2$, а среднеквадратическое значение погрешности

измерения дальности равно $\sigma_d = \frac{c}{2g\Delta f_{\text{СПск}}}$, из чего следует, что чем шире спек-
неквадратический спектр сигнала, тем выше точность измерения дальности.

Известны классические методы оценки дальности [3 – 6]. Это амплитуд-
ный, частотный и фазовый методы. Широко используемый амплитудный метод –
это импульсный метод измерения. Он очень удобен во многих случаях приме-
нения, но его важный недостаток – невозможность измерения малых дально-
стей. Пока излучается зондирующий сигнал приемник закрыт. Для того, чтобы
сократить мертвую зону, а в рассматриваемом случае ее длина составляет вели-
чину от единиц до десятков метров, нужны зондирующие импульсы длительно-
стью 10...100 нс. Это можно обеспечить применяя сверхширокополосные сиг-
нала, что сильно усложняет систему.

Частотный метод эффективен при работе с отраженным сигналом (часто
используется в высотомерах). Недостатки дальномеров с частотной модуляцией:

- необходимость использования либо двух антенн, либо сложного
устройства для разделения излучаемых и принимаемых сигналов;
- ухудшение чувствительности приемника вследствие просачивания
в приемный тракт через антенну излучения передатчика, подверженного слу-
чайным изменениям;
- высокие требования к линейности изменения частоты [7].

Такие же недостатки присущи и фазовому методу, кроме того необходи-
мо еще учитывать то, что очень мал диапазон однозначного измерения.

Таким образом, рассматриваемый фазовый метод оценки угловых коор-
динат на близко расположенной площади требует разработки нового метода
оценивания дальности до объекта наблюдения.

Библиографический список

1. Сухарев, Н. В. Система слежения за автомобильным транспортом
на базе беспилотных летательных аппаратов с применением технологии радио-
частотной идентификации и камер инфракрасного диапазона / Н. В. Сухарев // *Автоматика на транспорте*. – 2023 – Т. 9, № 2. – С. 141 – 152.
2. Данилов, С. Н. Радиолокационные и радионавигационные системы :
учебное пособие / С. Н. Данилов, А. В. Иванов. – Вологда : Инфра-Инженерия,
2025. – 136 с.
3. URL : <https://i-teh.com/article/vidy-politseyskikh-radarov-i-ikh-rabochie-chastoty/> (дата обращения: 11.11.20215).
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2025661221 Российская Федерация. Программа оценки зависимости точно-

сти фазового пеленгатора от расстояния до источника излучения / С. Н. Данилов, А. Н. Шитов, Н. А. Логвинов и др. ; заявл. 25.04.2025 ; опубл. 30.04.2025.

5. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / И. В. Князев, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – М., 2013. – № 9. – С. 60 – 63.

6. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

7. Чернышова, Т. И. Оценка достоверности прогнозирования метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 532 – 537.

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ФАЗОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ КООРДИНАТ ТС НА БАЗЕ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

А. Н. Шитов, Д. П. Шпилев, С. Н. Данилов

*Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов
(e-mail: sashashitov70@gmail.com; dimkashpi1@gmail.com; plabz@mail.ru)*

В настоящее время на автодорогах часто возникают сценарии, не поддающиеся контролю со стороны органов инспекции. Одна из основных причин – мониторинг трафика в основном в оптическом диапазоне. Ранее отмечалось [1 – 3], что эти средства плохо работают в условиях загрязнения (иногда умышленного) автомобильных номеров, малой освещенности особенно в ночное время, плотного потока движения. Решением этих проблем может стать технология оценки координат транспортных средств (ТС) на основе радиометок (РМ). В этой статье рассматриваются особенности применения фазового метода оценивания координат ТС на основе технологии РМ. Метод основан на сравнении фаз сигналов в нескольких точках пространства. По сравнению с амплитудным, фазовый метод может обеспечить высокую точность и чувствительностью к принимаемому сигналу во всех вышеперечисленных условиях. Основным недостатком фазового метода пеленгации является высокая неоднозначность измерения [4, 5], но этот недостаток можно преодолеть, в частности, используя двухбазовую антенну или измерение разности фаз модулирующих сигналов [6, 7].

Особенностью применения фазового метода на ограниченной, близко расположенной по отношению к измерителю площади, например: территория перекрестка дорог, внутренняя территория перемещения транспорта предприя-

тия, территория аэродрома, – является изменяющаяся степень нелинейности и крутизны дискриминационной характеристики (ДХ) измерителя (рис. 1, 2).

Так как пеленгуемый объект (ПО) находится на не очень большом расстоянии от антенн, то разность расстояний A_1 -ПО и A_2 -ПО зависит от величины дистанции 0-ПО, а, следовательно, и величина измеренного на основе разности фаз угла γ будет зависеть от этой дистанции.

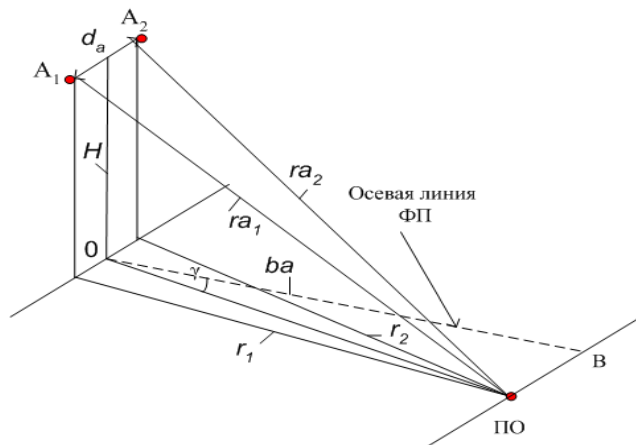


Рис. 1. Положение ПО относительно измерителя

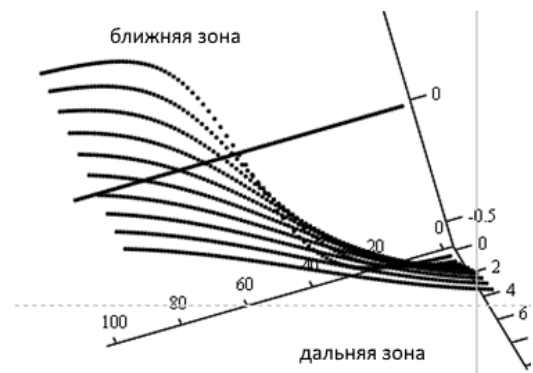


Рис. 2. ДХ в зависимости от угла и удаленности объекта

На рисунке 3, а показаны: изменение величины выходного сигнала дискриминатора в зависимости от угла (ось абсцисс) и неизвестной удаленности объекта в пределах ограниченной площадки длиной 10 м, находящейся в 1 м от измерителя при разnose антенн на 0,1 м и длине волны измерительного сигнала 5 м; на рис. 3, б – погрешность в зависимости от угла и удаленности объекта при тех же условиях.

На рисунке 4 показана зависимость максимальной погрешности оценки [8] угла от длины волны λ измерительного сигнала (при разnose антенн на 0,1 м), а на рис. 5 зависимость максимальной погрешности оценки угла от длины волны измерительного сигнала (при разnose антенн на 0,5 м). При моделировании на учитывались какие-либо меры по устранению неоднозначности, поэтому при определенном соотношении λ и da появлялась область неоднозначности измерения. Величина погрешности обусловлена незнанием при измерении расстояния измеритель-радиометка. Учитывая, что на дальней границе участка расположения радиометки дискриминационная характеристика практически линейна можно значительно повысить точность оценки угла удаляя антенны измерителя на достаточное расстояние от ближней границы. В рассматриваемом случае это расстояние составило десятки метров.

На рисунке 6 показана зависимость максимальной погрешности оценки угла от разноса антенн при длине волны измерительного сигнала 1 м. А также область неоднозначности измерения.

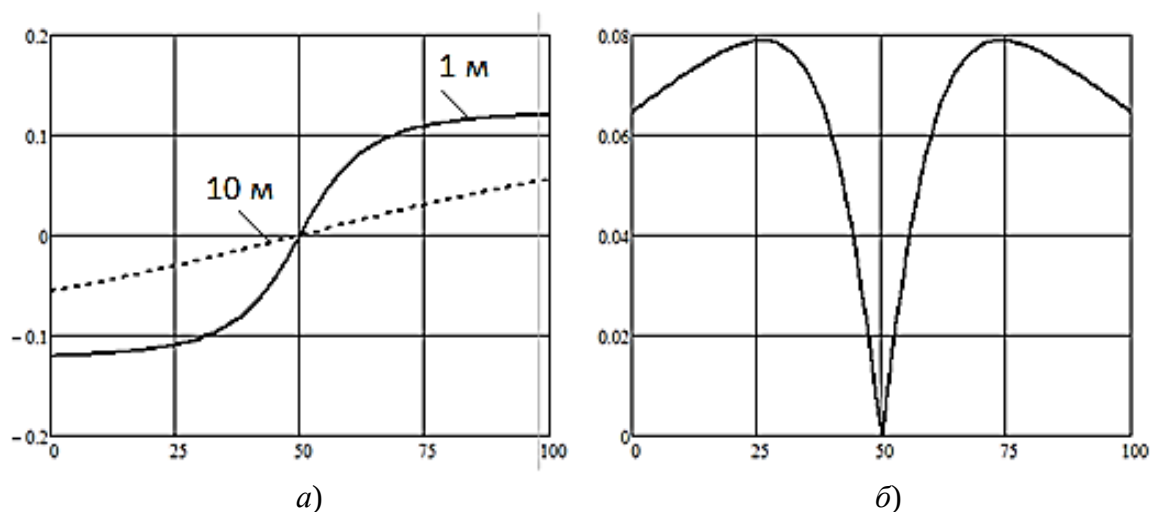


Рис. 3. Дискриминационная характеристика и погрешность оценивания угла

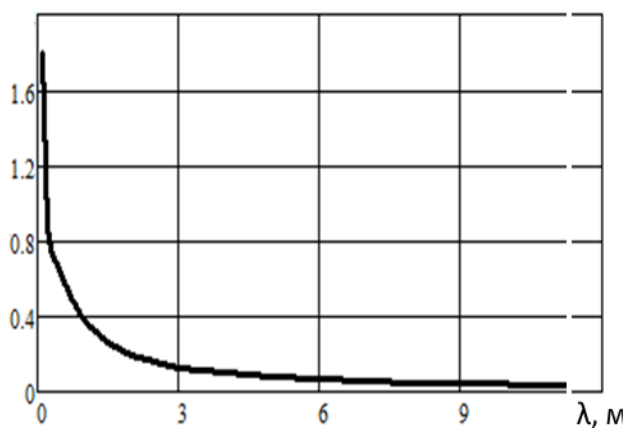


Рис. 4. Зависимость максимальной погрешности оценки угла от длины волны при величине da 0,1 м

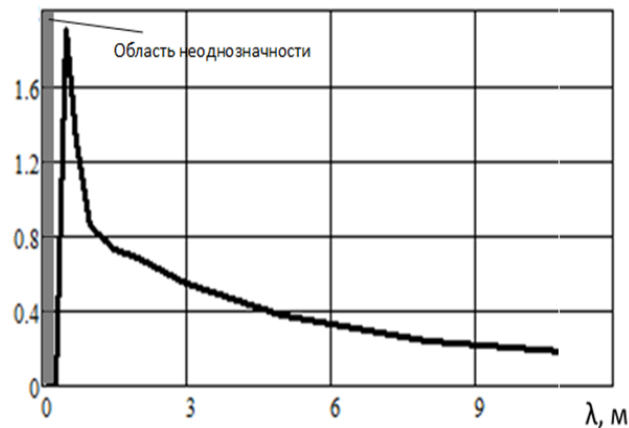


Рис. 5. Зависимость максимальной погрешности оценки угла от длины волны при величине da 0,5 м

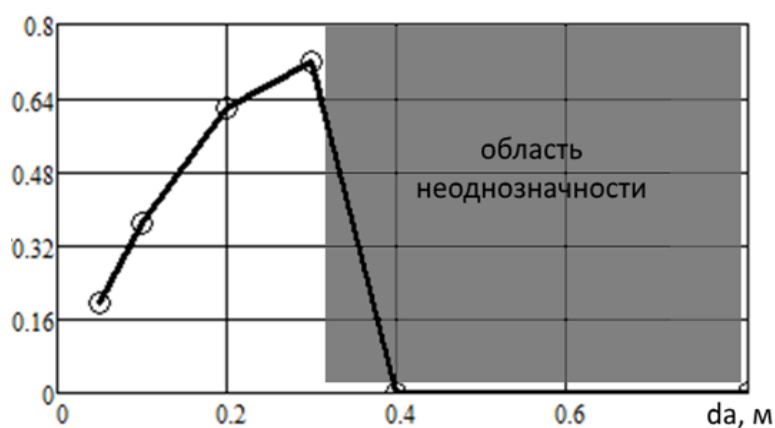


Рис. 6. Зависимость максимальной погрешности оценки угла от разнosa антенн при длине волны измерительного сигнала 1 м

Таким образом, для обеспечения точности при измерении угла фазовым методом необходимо располагать антенны измерителя на достаточно большом расстоянии от контролируемой области или, если это не представляется воз-

возможным, производить измерение расстояния измеритель-радиометка. При этом следует учитывать, что измерение расстояния малой величины импульсным методом затруднено из-за сложности оценки задержки сигнала в приемопередатчике радиометки. Оно заметно отличается в разных радиометках и нестабильно даже в одной и той же радиометке.

Библиографический список

1. Сухарев, Н. В. Система слежения за автомобильным транспортом на базе беспилотных летательных аппаратов с применением технологии радиочастотной идентификации и камер инфракрасного диапазона / Н. В. Сухарев // Автоматика на транспорте. – 2023 – Т. 9, № 2. – С. 141 – 152.
2. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.
3. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112
4. Synthesis of an Algorithm for Angle Measurement Channel of the Information-Measuring System of a Maneuvering Aircraft Given its Dynamic and Kinematic Characteristics / Yu. N. Panasyuk, A. P. Pudovkin, S. N. Danilov // 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA. – 2019. – P. 73 – 76.
5. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.
6. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / И. В. Князев, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.
7. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
8. Чернышова, Т. И. Оценка достоверности прогнозирования метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 532 – 537.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

ЦИФРОВАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА КАК ИНСТРУМЕНТ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ

А. Б. Амангелдин, А. Р. Гусманова

*Западно-Казахстанский аграрно-технический университет
имени Жангир хана, Уральск, Казахстан
(e-mail: aisgus23@mail.ru)*

Современная система образования претерпевает значительные изменения под влиянием цифровых технологий. Цифровая трансформация стала неотъемлемой частью развития образовательных процессов, охватывая все уровни – от школьного до университетского. Внедрение цифровых решений позволяет адаптировать обучение к индивидуальным потребностям обучающихся, повышать качество преподавания и расширять доступ к образовательным ресурсам.

Образование в эпоху цифровизации становится гибким, интерактивным и персонализированным. Если ранее обучение было ограничено пространством аудитории и временем занятий, то сегодня цифровые технологии создают условия для обучения в любое время и из любого места. В результате происходит формирование новой модели образовательной среды, где главную роль играют информационные ресурсы, онлайн-коммуникация и умение работать с цифровыми инструментами.

Цифровая трансформация образования проявляется в активном внедрении электронных образовательных платформ, таких как Moodle, Google Classroom, Microsoft Teams, Coursera и OpenEdu. Эти системы обеспечивают дистанционное взаимодействие между преподавателем и студентом, способствуют автоматизации учебного процесса и позволяют вести контроль успеваемости в режиме реального времени.

Особое место в цифровом образовании занимает использование технологий искусственного интеллекта. Алгоритмы машинного обучения позволяют анализировать данные об успеваемости студентов, выявлять трудности и формировать индивидуальные образовательные траектории. Это делает процесс обучения более гибким и результативным.

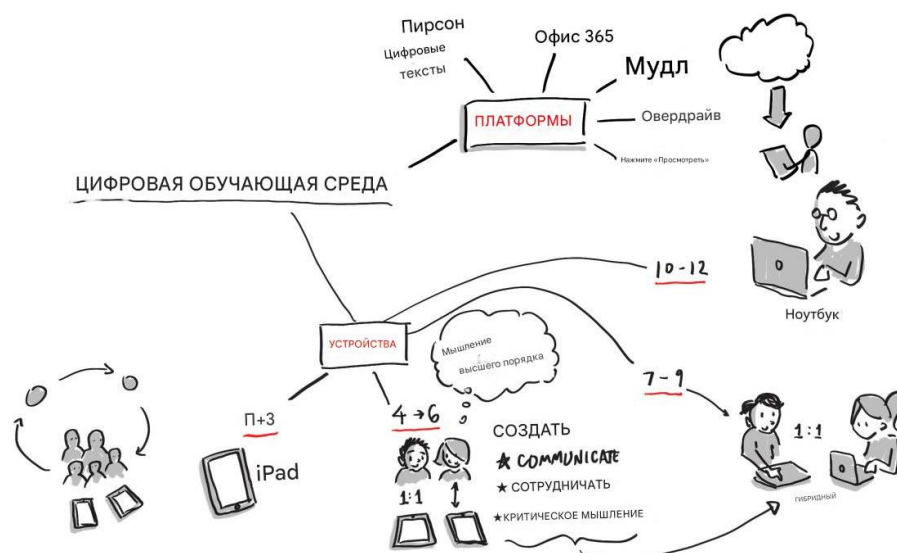


Рис. 1. Электронная образовательная среда

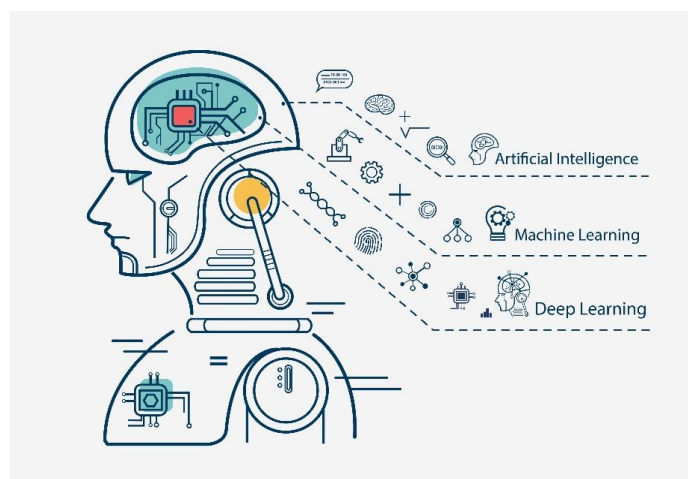


Рис. 2. Применение искусственного интеллекта для адаптивного обучения

Важным направлением является применение технологий больших данных (Big Data), которые позволяют собирать и анализировать огромные объемы информации о поведении обучающихся и результатах их работы. Такая аналитика помогает образовательным организациям принимать обоснованные управленческие решения, прогнозировать академическую успеваемость и повышать эффективность преподавания.

Технологии виртуальной и дополненной реальности создают новые формы взаимодействия с учебным материалом. Виртуальные лаборатории и симуляции позволяют проводить практические занятия в безопасной цифровой среде, повышая интерес к предмету и глубину усвоения знаний.

Технологии виртуальной и дополненной реальности создают новые формы взаимодействия с учебным материалом. Виртуальные лаборатории и симуляции позволяют проводить практические занятия в безопасной цифровой среде, повышая интерес к предмету и глубину усвоения знаний.

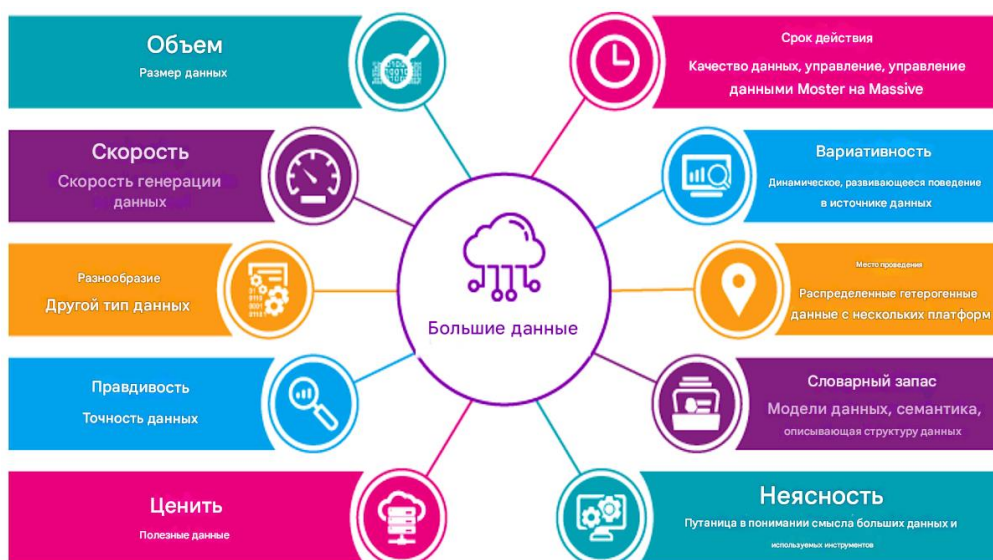


Рис. 3. Использование VR- и AR-технологий в учебном процессе

Развитие концепции «умной школы» (Smart School) является важным этапом цифровизации. В такой образовательной экосистеме интегрируются электронные дневники, онлайн-библиотеки, цифровые ресурсы и интеллектуальные системы анализа данных. Это обеспечивает прозрачность учебного процесса и позволяет учащимся самостоятельно управлять собственным развитием.

Преимущества и вызовы цифровой трансформации

Цифровизация образования способствует формированию новых компетенций и навыков, необходимых в современном обществе. Она обеспечивает доступность знаний, развитие креативности и критического мышления. Однако, наряду с преимуществами, цифровая трансформация порождает и определенные проблемы. Среди них – цифровое неравенство, недостаточная подготовка педагогов, вопросы кибербезопасности и защита персональных данных обучающихся.

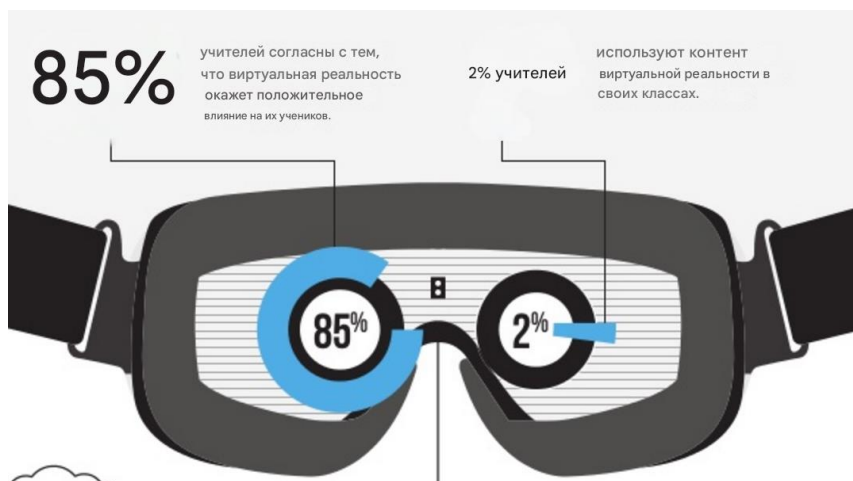


Рис. 4. Применение VR- и AR-технологий в обучении

Для успешного внедрения цифровых технологий в образовательную систему требуется комплексный подход, включающий повышение квалификации педагогических кадров, развитие инфраструктуры и создание единого цифрового пространства, обеспечивающего взаимодействие между всеми участниками образовательного процесса.

Библиографический список

1. Григорьев, И. П. Цифровизация образования: новые возможности и вызовы / И. П. Григорьев // Педагогика и психология. – 2023. – № 4. – С. 10 – 18.
2. Петрова, Е. А. Информационные технологии в системе образования / Е. А. Петрова // Цифровая экономика. – 2022. – № 3. – С. 25 – 31.
3. Смирнов, Д. С. Интеллектуальные системы и их роль в образовательном процессе / Д. С. Смирнов // Инновации в образовании. – 2023. – № 6. – С. 44 – 52.
4. Николаева, Л. В. Big Data в управлении учебным процессом / Л. В. Николаева // Образовательные технологии. – 2022. – № 5. – С. 17 – 23.
5. Сергеев, А. В. Концепция умной школы в цифровой экосистеме / А. В. Сергеев // Информационные технологии и образование. – 2023. – № 1. – С. 12 – 20.

ВИРТУАЛЬНЫЕ СТЕНДОВЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ КАК ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

К. С. Гамбург, И. В. Уварова

*Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»,
Старый Оскол, Россия
(e-mail: irauv@yandex.ru, ksgam@mail.ru)*

Известно, что на каждом этапе своего развития общество вырабатывает свои воззрения на понимание механизмов обучения и воспитания людей, воплощаемые в той или иной образовательной парадигме. В свое время промышленная революция «требовала мужчин и женщин, готовых работать до изнеможения на машинах или в конторах» (Э. Тоффлер), чем и вызвала к жизни массовое образование, основы которого заложил еще в XVII веке А. Я. Коменский. Сегодня смена ведущего типа работника, который «более

независим, более изобретателен, более самостоятелен» (Г. Л. Ильин) обусловлена изменением характера производства. Это и потребовало смены образовательной парадигмы.

При рассмотрении сущности моделей обучения, используемых в современном профессиональном образовании: бихевиориально-технологического направления; компьютерного и проблемного обучения; теории поэтапного формирования умственных действий; концепции проективного образования; контекстного обучения, нами было отмечено, в частности, что достоинством проблемного обучения является организация активного взаимодействия субъектов образовательного процесса с проблемным содержанием обучения, а один из недостатков – значительное время на самостоятельное усвоение учебного материала. Исследование Р. Мэйджера, направленное на сокращение этого времени, показало, что общим принципом работы учащихся является принцип «от простого целого к более сложному целому». Этот принцип включен нами в число принципов разработки и осуществления ВСЛР.

Кроме того, большим потенциалом обладает теория контекстного обучения, основанная на принципах: психолого-педагогического обеспечения личностного включения студента в учебную деятельность; моделирования в учебной деятельности студентов целостного содержания, форм и условий профессиональной деятельности специалистов; проблемности содержания обучения и процесса его развертывания в образовательном процессе; адекватности форм организации учебной деятельности студентов целям и содержанию образования; ведущей роли межличностного взаимодействия и диалогического общения субъектов образовательного процесса; педагогически обоснованного сочетания для достижения конкретных целей обучения и воспитания как новых, так и традиционных технологий; единства обучения и воспитания личности профессионала; командной работы студентов; открытости по отношению к педагогическим технологиям, разработанным в рамках других теорий и подходов (А. А. Вербицкий).

Педагогические технологии контекстного обучения проектируются на основе этих принципов, исходя из: целей и содержания обучения; условий, в которых протекает образовательный процесс; контингента обучающихся; направлений профессиональной подготовки студентов; предпочтений и творчества преподавателя. При этом процесс трансформации учебной деятельности в профессиональную, обретения необходимых компетенций отслеживается и оценивается не только преподавателем, но и самим студентом по четким и понятным критериям. Это способствует личностной активности обучающего-

ся, его заинтересованному участию в становлении себя как специалиста. Главным становится не передача знаний, а развитие с опорой на них способностей студентов овладевать целостной профессиональной деятельностью. Исходя из теории контекстного обучения, мы и стремились осмыслить возможности виртуальных стендовых лабораторных работ (ВСЛР).

Термин «виртуальный» введен в название таких работ, чтобы отразить фундаментальную особенность труда современного инженера – управление автоматизированными процессами наукоемких производств осуществляется им в информационном пространстве в *виртуальном* режиме. Этот термин появился во второй половине XX века в нескольких областях науки и техники. Крюгер и др. видят в виртуальной реальности «замену миру реальному, но не более, чем это делает телескоп или кино». Есть и ряд других толкований – от киберкланов (Фольц) до психо-мистических (Ховард). В России сложились два основных направления исследований виртуальности. Ряд московских авторов (С. Э. Ермаков и др.) кладут в основу понятия «виртуальность» психологизм. Петербургские философы осмысливают данное понятие по трем направлениям: техническому осмыслению артефакта (А. И. Воронов и др.); компьютерному сайетизму (М. Б. Игнатьев и др.); психо-мистическому осмыслению (С. Н. Иконникова и др.).

Наибольший интерес для нас представляет техническое осмысление артефакта, потому что виртуальность в этом осмыслении направлена на позитивное решение различных проблем, в том числе в образовании.

В нашем исследовании ВСЛР – это многофункциональное моделирование управления автоматизированными технологическими процессами, протекающими в реальном времени, и исследуемыми в режиме on-line в виртуальном пространстве.

С самого начала ВСЛР предназначались для студентов, обучающихся по очной, очно-заочной, заочной и дистанционной формам. В нашей стране еще с конца прошлого века дистанционное образование (ДО) признано одной из перспективных форм непрерывного образования студентов и взрослых.

Одни авторы считают, что ДО должно быть основано на сетевой технологии (Е. И. Казакова и др.), другие, что в нем нужно предусматривать субъект-субъектное общение (В. А. Болотов и др.). Таким образом, в мировой практике наметились две стратегии: информационно-технократическая и основанная на кейс-технологии.

При использовании последней, даже при отдаленности от вуза, обучающиеся работают в тесном контакте с преподавателем и друг с другом.

Щенников С. А. считает, что кейс-технология есть сочетание очных и информационных возможностей взаимодействия, с чем мы полностью согласны.

Главный источник создания технологичной инновационной образовательной среды – компьютеризация обучения в сочетании с лучшими традиционными дидактическими принципами (А. А. Андреев, И. И. Дзегеленок и др.). Исследуемая кейс-технология ВСЛР и является научно-обоснованным сочетанием образовательных инноваций и традиций.

Виртуальная лаборатория представляет собой ряд стендов, связанных с контроллером семейства Simatic S7, управляющий сигнал на который подается с компьютера напрямую или через сервер (в зависимости от расстояния и формы обучения). Стенды оборудованы двигателями, преобразователями, аппаратурой контроля и защиты современных типов. В контроллер обучающимися устанавливается, «по поводу» ВСЛР, программа, написанная так же «по поводу» ВСЛР студентами на языке Step-7, соответствующая заданию. Визуализация WinCC, разработанная в рамках курсового и(или) дипломного проектирования (опять «по поводу» ВСЛР), позволяет выполняющему лабораторный практикум наблюдать за поведением исследуемого устройства; реагировать на изменения, происходящие под влиянием как активных, так и реактивных возмущающих воздействий; снимать показания приборов в режиме «on-line»; строить характеристики с помощью прикладных пакетов, например, MathCAD, MathLab и др. теперь уже «в процессе» ВСЛР. Компонировка оборудования и функциональные возможности ВСЛР наиболее приближены к существующим автоматизированным технологическим процессам. Это позволяет решать многие, как известные, так и возникающие по мере освоения информационных технологий, образовательные задачи.

Одна из проблем сетевой технологии (В. Ф. Горнеев и др.) заключается в том, что в этом случае моделирование изучаемого физического, психологического или технического процесса происходит только с помощью компьютера. Любые погрешности в управлении и(или) в самом процессе в этом случае легко устраняются студентом нажатием на «delete», что закрепляет у него неверное представление о возможных реальных последствиях профессиональных ошибок. Это – опасное привыкание к виртуальной среде. ВСЛР же позволяют, буквально кончиками пальцев «почувствовать» правильность или ошибочность проделанной работы, самому «увидеть» реальный результат своего управления процессом в виртуальной среде, программирования этого процесса, наладки сложной современной техники и т.п., привыкая на реальном оборудовании к работе в киберпространстве с реальными технологическими процессами.

Еще одна весьма важная проблема обычной компьютеризации – сужение групповых коммуникативных каналов (А. А. Калмыков и др.). Эта проблема при работе «в процессе» ВСЛР действительно остается, но, так как работник должен принимать решения зачастую самостоятельно, то ВСЛР превращает проблему в способ приобретения узкопрофессиональных навыков. При работе «по поводу» ВСЛР она вообще снимается и становится положительным аспектом формирования навыков интерактивного социального взаимодействия, так как проектирование новых видов ВСЛР, их обслуживание и эксплуатация выполняются при тесном взаимодействии студентов разных специальностей.

Следующая проблема – невозможность личного общения по невербальным каналам. Об этом недостатке сетевой технологии говорят многие отечественные и зарубежные педагоги. Но так как ВСЛР является кейс-технологией, то мониторинг полученной информации и усвоенных знаний проводится преподавателем при любой форме обучения только при очной встрече, что устраняет подобный негатив.

ВСЛР работают при выполнении следующих дидактических условий:

1. Наглядность обучения, обеспеченная использованием различных видов удобной для восприятия информации.
2. Оптимальное сочетание методов обучения для накопления опыта, востребованного в будущем на производстве.
3. Включение в процесс обучения аналогов современных сложных производств и моделирование управления реальными производственными ситуациями в режиме «on-line» в информационном пространстве.
4. Обеспечение творческого включения студентов в учебный процесс.
5. Четкая логика чередования и содержательной взаимосвязи дисциплин учебного плана для усиления динамики овладения средствами собственно учебной, квазипрофессиональной и учебно-профессиональной деятельности студентов социально-профессиональными компетентностями.
6. Использование виртуальной реальности, построенной с учетом познавательных возможностей обучающихся, – интерактивной социальной единицы без пространственных ограничений.
7. Ориентирование будущих специалистов на непрерывное образование, сознательное развитие себя в ходе осуществления профессионального труда, перманентные поиски новой профессиональной информации.
8. Формирование команд проекта из студентов старших курсов различных технических специальностей развивает у членов команды как личную, так и коллективную ответственность за выработанное решение (в зависимости от степени участия).

9. Оснащение и функции ВСЛР позволяют реализовать направленный и «циклический» (Ю. Г. Татур), замкнутый информационный процесс.
10. Субъектно-объектная схема заменяется субъектно-субъектной.

Библиографический список

1. Вербицкий, А. А. Психолого-педагогические основы образования взрослых: формы лекции в системе контекстного обучения / А. А. Вербицкий // Новые знания. – М. : Педагогика, 2002. – Вып. 4. – С. 7 – 11.
2. Ильин, Г. Л. Философия образования / Г. Л. Ильин. – М. : Вузовская книга, 2002. – 223 с.
3. Тоффлер, О. Будущее труда / О. Тоффлер // Новая технократическая волна на Западе. – М. : Прогресс, 1986. – С. 25 – 275.

ТАБЛЕТНИЦА ДЛЯ СЛАБОВИДЯЩИХ С БУДИЛЬНИКОМ

Е. П. Евстигнеева, М. А. Любавина

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: elizavetaevsti@gmail.com)*

Современные тенденции технологического прогресса оказывают существенное воздействие на различные аспекты человеческой деятельности, охватывая широкий спектр отраслей, включая медицинское обслуживание и социальную поддержку уязвимых слоев населения [1, 2]. В рамках проектной деятельности на кафедре «Биомедицинская техника» в настоящее время нами разрабатывается исследовательский проект автоматизированной таблетницы для пациентов с нарушениями визуального восприятия, оборудованной системой временного отсчета, который демонстрирует уникальный подход к решению актуальной проблемы регуляризации приема фармацевтических препаратов.

Данный инновационный продукт отличается высоким уровнем потенциала для последующего усовершенствования существующих стандартов оказания медицинской помощи, становясь неотъемлемым компонентом формирующейся парадигмы цифрового здравоохранения. Ключевым направлением научных изысканий выступает оптимизация доступности фармакотерапии и сопутствующих медицинских сервисов для категории граждан с инвалидностью по зрению путем интеграции прогрессивных технических решений, среди которых особое значение приобретает предложенная интеллектуальная таблетница.

Автоматизированная таблетница представляет собой сложное техническое устройство, предназначенное для надежного хранения, точной дозировки и оптимального распределения лекарственных веществ согласно предписанной схеме. Структурная композиция изделия включает многокомпонентный корпус, состоящий из трех функциональных зон, каждая из которых оснащена отдельными ячейками, соответствующими определенным периодам суточного цикла (рис. 1).

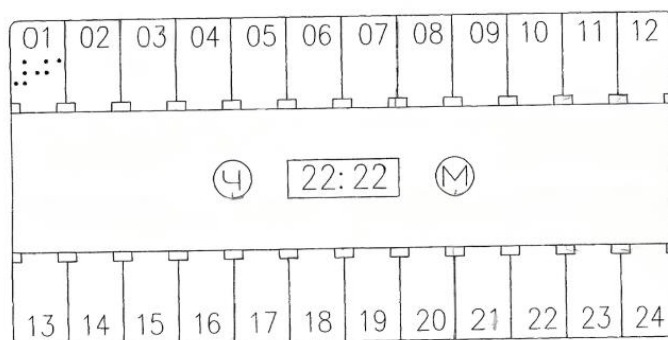


Рис. 1. Прототип таблетницы с будильником

Конструктивная особенность устройства представлена интегрированным хронометрическим таймером, функционирующим согласно принципам аналогового механического устройства типа классического будильника. Интерфейс ручного ввода служит для точной настройки временного интервала подачи акустических сигналов. Интегрированный голосовой ассистент осуществляет вербальное информирование пациента относительно момента приема фармакологических препаратов, сопровождая сообщение указанием точного хронологического периода приема (рис. 2).

Концептуально значимое преимущество данного устройства состоит в оснащении уникальными тактильно-чувствительными индикаторами, выполненными методом рельефно-точечного шрифта Брайля, что обеспечивает пациентам возможность с абсолютной сенсорной точностью определять пространственное расположение и содержательное наполнение каждой ячейки посредством пальцевой стимуляции поверхности корпуса (рис. 3).

Представленная работа иллюстрирует эволюцию инженерных подходов в медицине, демонстрируя огромный потенциал информационных технологий для оптимизации профилактической медицины и повышения качества оказываемой медицинской помощи гражданам с проблемами зрения. Автоматизированная таблетница воплощает идеи современного технического проектирования, сочетая высокие стандарты эргономичности, функциональности и надежности, создавая надежную основу для эффективного мониторинга состояния здоровья и формирования здорового образа жизни в условиях растущих технологических изменений.

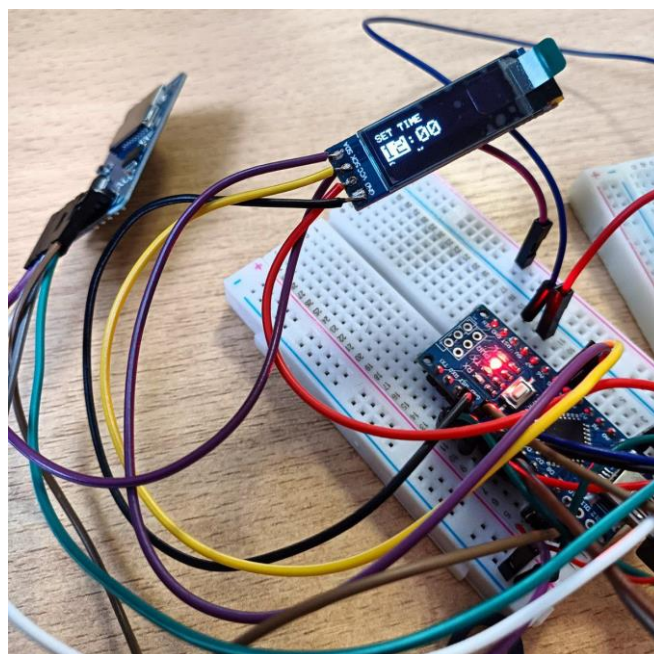


Рис. 2. Будильник на Arduino

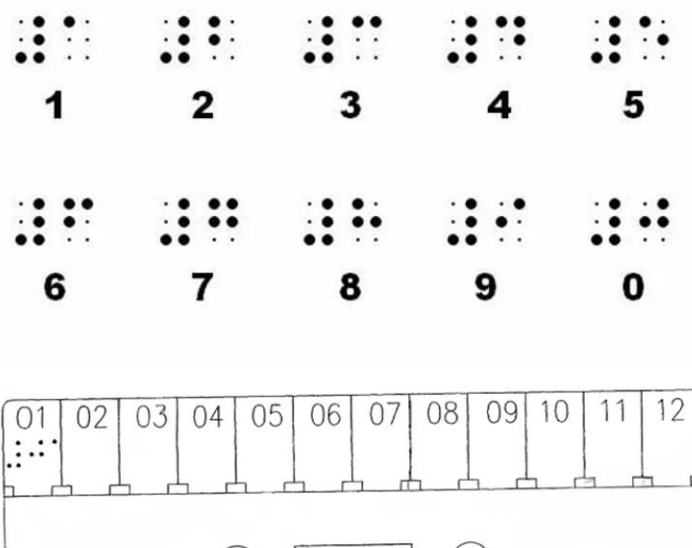


Рис. 3. Обозначение ячеек

Библиографический список

1. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 553 – 561.
2. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ОБУЧАЮЩЕГО МАКЕТА УМНЫХ ОЧКОВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С НАРУШЕНИЕМ СЛУХА

А. В. Кузнецова, И. Э. Петров, С. В. Фролов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: irinka.dro@yandex.ru)*

Разработка умных очков для лиц с нарушениями слуха является актуальной задачей ввиду способности данной технологии значительно улучшать качество жизни пользователей. Подобные устройства обеспечивают визуальное представление важной акустической информации, облегчают общение и повышают эффективность взаимодействия с окружающей средой. Постоянно увеличивающееся количество людей с потерей слуха формирует стабильный интерес к подобным инновационным решениям, придавая проекту социальную значимость и повышая его привлекательность с коммерческой точки зрения. Современные технологические возможности позволяют реализовать идею эффективно и доступно, создавая новые перспективы для поддержки тех, кому необходима помощь [1].

Конструкция устройства включает плату микроконтроллера, дисплейный модуль RSI 0.96" с OLED-экранами, Bluetooth-модуль и микрофонный усилитель. Программная составляющая представлена приложением на платформе Android, которое обеспечивает связь с сервером Yandex Cloud.

Звуковая информация воспринимается микрофоном и передается посредством Bluetooth в мобильное приложение, где голосовая речь распознается и конвертируется в текстовую форму благодаря Yandex SpeechKit API. Полученный текст отправляется обратно на микроконтроллер через Bluetooth и выводится на экран OLED-дисплея.

Предлагаемый макет умных очков предназначен для образовательных целей и ориентирован на развитие у студентов практических компетенций в области электроники, программирования, разработки аппаратных решений, мобильных приложений и управления проектами.

Прототип макета умных очков для людей с нарушением слуха представлен на рис. 1.

Обучение студентов, работающих с макетом смарт-очков, начинается с освоения архитектурных особенностей микроконтроллеров, позволяющих разобраться в базовых принципах их функционирования и особенностях низкоуровневого программирования. Они осваивают среду разработки Arduino IDE, знакомятся с организацией структуры программ и методами взаимодействия с оборудованием.

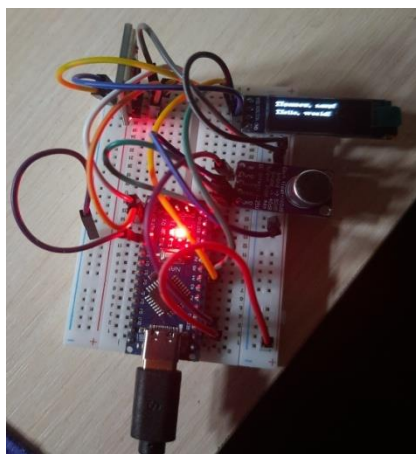


Рис. 1. Прототип макета умных очков для людей с нарушением слуха

Кроме того, учащиеся получают опыт написания кода непосредственно для устройств, применяя языки программирования C/C++, Python, оптимизированные для микроконтроллерных платформ. Этап интеграции периферийных элементов включает приобретение практических навыков монтажа, настройки аппаратуры и пайки.

Далее уделяется внимание обработке сигналов, поступающих от датчиков и модуля Bluetooth, включая их предварительную фильтрацию и последующую обработку. Изучение методов передачи данных внутри системы осуществляется путем ознакомления с протоколами BLE, UART, I²C и SPI, обеспечивающими эффективную коммуникацию между элементами конструкции.

Освоение основ функционирования микрофонных усилителей, подавления шума и выделения значимых составляющих сигнала, цифровую обработку акустической информации, а также алгоритм предобработки звуковых сигналов составляет важную часть учебного процесса. Учащиеся ознакомятся с ключевыми схемами усиления и фильтрации звука, необходимыми для высококачественной регистрации окружающих звуков, научатся очищать аудиопоток от посторонних шумов и помех, выделять значимую составляющую звучания, готовящуюся к дальнейшему анализу, а также приобретут умения создавать программное обеспечение для предварительной обработки аудиоданных перед отправкой на удаленный сервер для интерпретации [2].

Завершающим этапом проекта станет разработка мобильных приложений и интеграция облачных технологий. Будущие специалисты получают знания о функционировании современного инструментария и фреймворков для Android-разработки, особенностях настроек сервера и базы данных для хранения информации, эффективного обслуживания запросов и осуществления потокового анализа речевых сигналов и синтеза голосовых сообщений.

Помимо этого, важно овладеть механизмами связи смартфона с устройством посредством Bluetooth, реализовать технологию распознавания речи и преобразование текста в речь непосредственно в мобильном приложении.

Сейчас осуществляется разработка прототипа смарт-очков для людей с недостатком слуха, ведется отладка результатов транскрибирования речи с помощью облачной технологии SpeechKit. За счет постоянной калибровки модели, обучения ее на специализированных наборах данных с разнообразием голосов, улучшения качества микрофонов и алгоритмов фильтрации шума, а также благодаря оптимизации сетевых запросов, использованию локальных моделей, созданию резервных решений на случай нестабильного интернет-подключения получается достичь более высокой точности распознавания речи.

Проектируемое устройство умных очков для лиц с нарушениями слуха представляет собой новаторское решение, повышающее доступность и комфорт общения среди целевых пользователей. Реализация данного проекта способствует формированию ключевых компетенций студентов в области цифровой инженерии, разработке программного обеспечения и внедрении облачных решений.

Библиографический список

1. Development Of Augmented Reality Based Smart Glasses for Assistance of Deaf People / S. S. Ramachandran, U. Karni, A. K. Veeraraghavan, K. Sivaraman // Journal “ResearchGate”. – 2020. – P. 130 – 137.

2. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ». – 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗРЕЛОСТИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ РЕСУРСОВ, КУЛЬТУРЫ И ТЕХНОЛОГИЙ

О. Е. Лямин, А. С. Комоликов

*Липецкий государственный технический университет (ЛГТУ), Липецк, Россия
(e-mail: oleglyamin795e6f@gmail.com)*

Современная электроэнергетика переживает глубокую цифровую трансформацию, обусловленную внедрением интеллектуальных сетей, систем предиктивной аналитики для мониторинга оборудования и технологий цифровых двойников. Эти изменения кардинально меняют требования к профессиональ-

ным компетенциям инженерных кадров, востребованных энергетическими компаниями, такими как ПАО «Россети». В то же время, образовательные программы высших учебных заведений зачастую не успевают адаптироваться к таким темпам технологического развития, что приводит к значительному разрыву между навыками, полученными студентами, и реальными потребностями отрасли. Эта проблема является актуальной и имеет стратегическое значение для устойчивого развития энергетического сектора.

Новизна настоящего исследования заключается в разработке теоретической модели модернизации образовательного процесса, которая напрямую связывает ключевые цифровые тренды отрасли с конкретными изменениями в содержании и методах преподавания. В отличие от общих рассуждений о важности цифровизации образования, предлагаемая модель фокусируется на электроэнергетическом профиле и базируется на анализе требований работодателей – ведущих компаний отрасли.

Целью работы является создание научно обоснованной модели для трансформации образовательных технологий в технических вузах, подготовка специалистов по которой будет соответствовать вызовам цифровой энергетики.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать основные направления цифровой трансформации в электроэнергетике;
2. Определить ключевые цифровые компетенции, необходимые будущим инженерам;
3. Разобрать структуру модели, интегрирующей новые отраслевые технологии в образовательный процесс;
4. Сформулировать рекомендации по практическому применению модели для кафедр электроэнергетического профиля.

Таким образом, решаемой в докладе проблемой является несоответствие современных образовательных программ быстрому развитию цифровых технологий в электроэнергетике и, как следствие, недостаточная подготовленность выпускников к работе в условиях цифровой трансформации отрасли.

Технологии исследования проблемы основаны на системном анализе современных вызовов электроэнергетики и их проекции на образовательный процесс. Ключевым направлением цифровой трансформации, определяющим содержание новой модели, является переход от реагирования к прогнозированию, что реализуется через предиктивную аналитику и цифровые двойники энергообъектов. Эти технологии требуют от инженеров-электриков не только глубоких технических знаний, но и компетенций в области анализа данных, работы с программным обеспечением для моделирования и принятия решений на основе виртуальных симуляций.

Для формализации процесса адаптации образовательной программы была разработана теоретическая модель, описывающая зависимость уровня подготовки выпускника (K_v) от двух основных факторов: степени интеграции отраслевых технологий в учебный план ($T_{отр}$) и эффективности используемых педагогических методов ($M_{пед}$). Эта зависимость может быть выражена математической формулой:

$$K_v = \alpha T_{отр} + \beta M_{пед},$$

где α и β – весовые коэффициенты, отражающие относительное влияние каждого фактора. Предполагается, что при высоком уровне $T_{отр}$ значение β возрастает, так как эффективность передачи сложных цифровых компетенций напрямую зависит от выбора активных и практико-ориентированных методов обучения (проектное обучение, тематические исследования, имитационные игры).

На основе этой модели был проведен анализ соответствия между ключевыми цифровыми трендами отрасли и необходимыми изменениями в образовательной программе. Результаты представлены в табл. 1.

1. Соответствие отраслевых технологий и элементов образовательного процесса

Отраслевая технология	Учебный модуль / дисциплина	Педагогический метод
Цифровой двойник подстанции	«Цифровое моделирование энергообъектов»	Проектная работа на базе ПО, предоставляемого ПАО «Россети»
Системы предиктивной аналитики	«Анализ данных в электроэнергетике»	Тематические исследования по реальным данным о состоянии оборудования
Интеллектуальные сети	«Управление распределенной генерацией»	Имитационная игра по балансировке нагрузки

Полученные результаты демонстрируют, что модернизация образования должна быть комплексной и включать три взаимосвязанных блока: обновление содержания дисциплин, внедрение новых методов преподавания и установление прочных партнерских связей с работодателями для доступа к реальным платформам и данным.

На основании проведенного анализа и разработанной теоретической модели можно сделать следующие выводы.

Прежде всего, цифровая трансформация образовательных технологий в электроэнергетике не может быть достигнута путем простого добавления

новых тем в учебный план. Ключевым условием успеха является синергия трех компонентов: актуального содержания, основанного на реальных отраслевых технологиях; практико-ориентированных педагогических методов; тесного взаимодействия с работодателями – такими как ПАО «Россети».

Дальнейшие исследования в данном направлении должны быть направлены на эмпирическую проверку предложенной модели. Необходимо разработать методики количественной оценки коэффициентов α и β , а также провести пилотные проекты внедрения новых учебных модулей в рамках партнерства с энергетическими компаниями для сбора данных об эффективности обучения.

Практическая ценность данной работы заключается в том, что предложенная модель может служить руководством для кафедр электроэнергетического профиля при разработке стратегии развития образовательных программ, обеспечивая выпуск специалистов, готовых к работе в условиях современной цифровой энергетики.

Библиографический список

1. Цифровая трансформация ПАО «Россети» : доклад на заседании Правления. – М., 2023. – 32 с.
2. Кобелев, А. В. Развитие цифровых компетенций студентов технического вуза в процессе обучения / А. В. Кобелев // Изв. высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2024. – № 3. – С. 45 – 52.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

А. С. Макаров

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: 89188566@mail.ru)*

Актуальность генераторов с внешним возбуждением (ГВВ) в радиопередающей аппаратуре обусловлена тем, что их энергоэффективность влияет на массо-габаритные показатели, тепловыделение и автономность систем связи. Растущие требования к спектральной чистоте и КПД требуют точной оптимизации режимов ГВВ, а также балансировки выходной мощности, КПД и коэффициента усиления в зависимости от назначения устройства.

Анализ нагрузочных характеристик критически важен: он позволяет прогнозировать поведение ГВВ при изменении нагрузки, избегать перегрузок и обеспечивать заданные параметры с учетом реальных допусков элементов.

Новизна заключается в: систематизации подходов к оптимизации ГВВ через R_n ; анализ связей R_n с P_1 , η , K_p ; обоснование выбора режима по приоритетному критерию (мощность/КПД/усиление).

Цель исследования: разработать методический подход к выбору оптимального режима ГВВ на основе нагрузочных характеристик и критериев энергоэффективности.

Задачи исследования

1. Изучить зависимость параметров ГВВ (токи, напряжения, мощности) от R_n .
2. Построить и проанализировать нагрузочные характеристики (токи, напряжения, энергетические показатели).
3. Определить границы недонапряженного, критического и перенапряженного режимов.
4. Найти оптимальные R_n для максимизации P_1 , η , K_p .
5. Разработать рекомендации по выбору режима ГВВ в зависимости от целевого критерия.

Решаемая проблема

Проблема: **отсутствие унифицированного алгоритма выбора режима ГВВ**, обеспечивающего: требуемый баланс между выходной мощностью, КПД и коэффициентом усиления, устойчивость к отклонениям нагрузки, минимизацию потерь и рисков перегрузки.

Существующие методики часто фокусируются на отдельном критерии (например, максимизации P_1), не учитывая комплексную взаимосвязь параметров и специфику применения.

Для оптимизации режима ГВВ максимизируют один из параметров – выходную мощность, КПД или коэффициент усиления мощности – с сохранением остальных в допустимых пределах.

На режим ГВВ влияют угол отсечки, питающие напряжения, U_e и R_n причем R_n (эквивалентное сопротивление выходной колебательной системы) – главный параметр оптимизации.

Зависимость ключевых энергетических параметров (P_1 , η , K_p) от R_n выражается в соответствующих расчетных формулах:

$$\eta_{\max} = \frac{P_{1\max}}{P_0} = \frac{0,51 I_{k1\max} U_{k\max}}{E_k I_{k0}}; \quad (1)$$

$$P = 0,51 I_{\text{вых}}^2 R_n; \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{0,51 I_{\text{ВЫХ}}^2 R_{\text{н}}}{P_0}; \quad (3)$$

$$K_p = \frac{P}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{0,51 I_{\text{ВЫХ}}^2 R_{\text{н}}}{P_{\text{ВХ}}}. \quad (4)$$

Сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$ – ключевой параметр эффективности ГВВ: его оптимизация обеспечивает баланс выходной мощности, КПД и коэффициента усиления. При типовом расчете ГВВ ($U_{\text{е}} = \text{const}$, $\Theta = \text{const}$, стабильные напряжения $R_{\text{н}}$ – основной оптимизируемый параметр (эквивалентное сопротивление выходного контура). Нагрузочные характеристики строят по динамическим характеристикам генератора (токи и напряжения при изменении $R_{\text{н}}$). Их графики приведены: для токов и напряжений – на рис. 1, для энергетических параметров – на рис. 2.

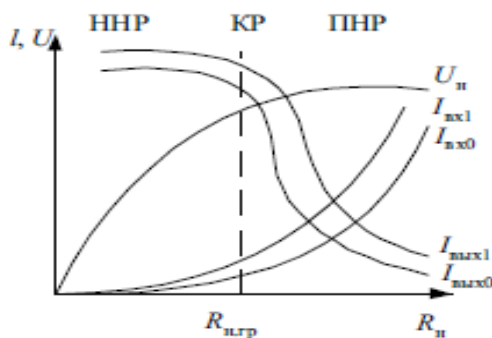


Рис. 1. Нагрузочные характеристики для токов и напряжений

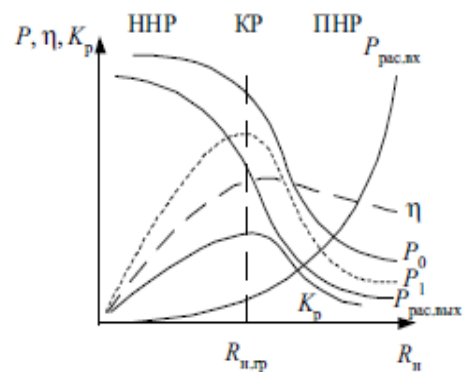


Рис. 2. Нагрузочные характеристики для энергетических параметров

Пунктирная линия через точку $R_{\text{н.гр}}$ (критический режим) разделяет недо-напряженный и перенапряженный режимы. При росте $R_{\text{н}}$ от нуля токи $I_{\text{ВЫХ}0}$ и $I_{\text{ВЫХ}1}$ сначала медленно снижаются, а после критического режима – резко падают (из-за перераспределения токов АЭ). Напряжение $U_{\text{н}}$ быстро растет в ННР и медленно в ПНР (следствие роста $U_{\text{н}}$ и поведения $I_{\text{ВЫХ}1}$). Мощность первой гармоники $P_1 = 0,5 U_{\text{н}} I_{\text{ВЫХ}1}$ максимальна при $R_{\text{н}} = R_{\text{н.гр}}$:

- слева от точки P_1 растет за счет $U_{\text{н}}$ ($I_{\text{ВЫХ}1}$ почти не меняется);
- справа P_1 падает из-за резкого снижения $I_{\text{ВЫХ}1}$ (при почти постоянном $U_{\text{н}}$).
- Кривая потребляемой мощности P_0 повторяет ход $I_{\text{ВЫХ}0}$, поскольку $P_0 = E_k I_{\text{ВЫХ}0}$ при $E_k = \text{const}$.
- Графики мощностей рассеяния ($P_{\text{б}}$ и $P_{\text{рас.вх}}$) следуют кривым $I_{\text{ВХ}0}$ и $I_{\text{ВЫХ}0}$.

- Коэффициент усиления мощности K_p максимален в критическом режиме, а КПД (η) – в слабоперенапряженном.

Таким образом, оптимальным режимом ГВВ по критериям максимума выходной полезной мощности P_1 и коэффициента усиления K_p является критический режим. Оптимальным режимом по критерию максимума η является слабоперенапряженный.

В ходе исследования:

- доказана **доминирующая роль** R_n как параметра оптимизации ГВВ;
- построены и интерпретированы **нагрузочные характеристики** для токов, напряжений и энергетических показателей;
- определены **критерии перехода** между режимами (недонапряженный $\rightarrow$ критический $\rightarrow$ перенапряженный);
- показано, что:
 - **критический режим** оптимален для максимизации P_1 и K_p ;
 - **слабоперенапряженный режим** обеспечивает максимальный КПД η ;
- разработаны **рекомендации** по выбору режима в зависимости от назначения устройства.

Выводы

1. Зависимость параметров от R_n :

- при увеличении R_n от нуля токи $I_{\text{вых}0}$ и $I_{\text{вых}1}$ сначала медленно снижаются, затем резко падают после критического режима;
- напряжение U_n растет быстро в недонапряженном режиме и медленно в перенапряженном.

2. Нагрузочные характеристики:

- позволяют визуализировать изменение P_1 , η , K_p при варьировании R_n ;
- подтверждают наличие экстремумов для каждого критерия оптимизации.

3. Границы режимов:

- критический режим соответствует $R_n = R_{n.\text{гр}}$ (точка максимума P_1);
- недонапряженный режим – слева от $R_{n.\text{гр}}$, перенапряженный – справа.

4. Оптимальные значения R_n :

- для P_1 и K_p : $R_n = R_{n.\text{гр}}$ (критический режим);
- для η : $R_n > R_{n.\text{гр}}$ (слабоперенапряженный режим).

5. Рекомендации по выбору режима:

- мощные передатчики: критический режим ($R_n = R_{n.\text{гр}}$);
- портативная аппаратура: слабоперенапряженный режим (максимум η);
- усилительные каскады: критический режим (максимум K_p).

Направления дальнейших исследований

1. **Моделирование переходных процессов** при скачкообразном изменении R_n (имитация рассогласования антенны).
2. **Исследование влияния нестабильности питающих напряжений** (E_k , U_b) на нагрузочные характеристики.
3. **Оптимизация многокаскадных ГВВ** с учетом взаимного влияния режимов.
4. **Разработка адаптивных систем управления** R_n для автоматической подстройки под изменяющуюся нагрузку.
5. **Экспериментальная верификация** теоретических выводов на макетах ГВВ с различными типами активных элементов (транзисторы, лампы).
6. **Анализ нелинейных искажений** в разных режимах работы и методы их компенсации.

Рекомендации для применения результатов

1. **При проектировании радиопередатчиков:**
 - использовать нагрузочные характеристики для выбора R_n исходя из приоритетного критерия (мощность/КПД/усиление);
 - закладывать запас по R_n для компенсации отклонений параметров элементов.
2. **При настройке ГВВ:**
 - контролировать ток покоя $I_{\text{вых}0}$ для идентификации режима (недонапряженный/критический/перенапряженный);
 - измерять КПД и выходную мощность при варьировании R_n для нахождения оптимума.
3. **Для повышения надежности:**
 - избегать работы в области резкого спада $I_{\text{вых}1}$ (глубокий перенапряженный режим);
 - предусмотреть защиту от перегрузки по току при снижении R_n .
4. **В образовательных целях:**
 - включить анализ нагрузочных характеристик в курсы по радиопередающим устройствам;
 - использовать приведенные зависимости для лабораторных работ по исследованию режимов ГВВ.

Библиографический список

1. Павлов, Б. А. Генераторы с внешним возбуждением : учебное пособие / Б. А. Павлов, Л. Д. Вилесов, В. Н. Филатов. – СПб. : СПбГУАП, 2003. – 28 с.

2. Грошев, Г. А. Транзисторные генераторы с внешним возбуждением : учебное пособие / Г. А. Грошев. – Калининград : Изд-во БГАРФ, 2009. – 85 с.

3. Бочаров, М. И. Устройства генерирования и формирования сигналов. Основы теории и расчета генераторов с внешним возбуждением : учебное пособие / М. И. Бочаров. – Воронеж, 2017.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

А. С. Макаров

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: 89188566@mail.ru)*

Актуальность темы обусловлена растущим спросом на эффективные решения в области радиосвязи, особенно в декаметровом диапазоне, который применяется в важных сферах: радиовещании, навигации, научных исследованиях и системах связи. Современные требования к повышению мощности, КПД, линейности и надежности МКУМ (многоканальных усилительных модулей) делают их проектирование сложной инженерной задачей. Развитие технологий, таких как DPD (цифровое предискажение) и высокоэффективные транзисторы, открывает новые возможности, но требует глубокого анализа и оптимизации.

Новизна работы заключается в систематизации современных подходов к проектированию МКУМ, включая выбор архитектуры, компонентов, систем охлаждения и управления. Особое внимание уделено проблемам линейности, электромагнитной совместимости (ЭМС) и методам их решения, что отражает актуальные тренды в радиотехнике. Также отмечается потенциал гибридных архитектур и инновационных технологий для повышения эффективности систем.

Цель исследования – разработать рекомендации по созданию МКУМ с высокой мощностью, КПД и минимальным уровнем побочных излучений в декаметровом диапазоне, учитывая современные технологические возможности и требования к надежности.

Задачи исследования:

1. Проанализировать существующие архитектуры МКУМ и определить их преимущества и недостатки.

2. Изучить влияние активных и пассивных компонентов на эффективность МКУМ.

3. Исследовать методы повышения линейности усилителей и их применимость в МКУМ.

4. Оценить роль систем охлаждения и управления в обеспечении стабильной работы МКУМ.

5. Рассмотреть требования к ЭМС и способы их реализации.

6. Сформулировать рекомендации по оптимизации проектирования МКУМ с учетом современных технологий.

Решаемая проблема – несоответствие между растущими требованиями к МКУМ (высокая мощность, линейность, надежность) и сложностью их реализации из-за ограничений в компонентах, системах охлаждения и управления. Необходимо найти баланс между этими параметрами для создания эффективных решений.

Итог: проведенный анализ показал, что современные технологии позволяют создавать МКУМ с улучшенными характеристиками, но требуют комплексного подхода к проектированию, включая выбор архитектуры, компонентов, систем охлаждения и управления. Особое внимание следует уделять линейности усилителей и соблюдению требований ЭМС.

Декаметровый диапазон применяется в радиосвязи, вещании, навигации и научных исследованиях. Для одновременной передачи нескольких сигналов нужны МКУМ – сложные радиоэлектронные системы, требующие продуманного проектирования.

Существуют различные архитектуры МКУМ, выбор которых зависит от конкретных требований к системе, таких как количество каналов, выходная мощность на канал, требования к линейности и частотному диапазону. Основные типы архитектур:

- Параллельная – отдельные усилители на канал.
- Матричная – маршрутизация сигналов через коммутационную матрицу. Гибкость, но сложность управления и дополнительные потери.
- Общая оконечная – один мощный усилитель для суммы сигналов + фильтры на выходе. Эффективность, но требования к линейности и риск интермодуляции.
- Гибридная – комбинация архитектур.

Эффективность, линейность и надежность МКУМ напрямую зависят от используемых активных и пассивных компонентов.

- **Активные компоненты** (MOSFET, LDMOS). LDMOS предпочтительнее благодаря линейности и эффективности при высокой мощности.

- **Пассивные компоненты** – требуются элементы с минимальными потерями, высокой добротностью (Q), низкими ESL и ESR (для SMD).

- **Согласующие и фильтрующие цепи.** Обеспечивают передачу мощности и подавление побочных излучений.

Высокая мощность, рассеиваемая активными компонентами, требует эффективной системы охлаждения для поддержания стабильной температуры транзисторов и предотвращения их перегрева. Наиболее часто используются: **воздушное** – экономично, но ограничено по эффективности, **жидкостное** – эффективнее, но сложнее и дороже, **тепловые трубки** – высокая эффективность и компактность за счет фазового перехода жидкости.

МКУМ требует сложной системы управления и защиты для обеспечения надежной и стабильной работы. Система управления может включать: регулировку усиления по каналам, мониторинг температуры, тока и напряжения, защиту от высокого КСВ (коэффициента стоячей волны), автоматическую регулировку смещения транзисторов.

Линейность усилителя является критически важным параметром для МКУМ, особенно при использовании нескольких сигналов одновременно. Нелинейность усилителя приводит к возникновению продуктов интермодуляции (IMD), которые могут создавать помехи другим каналам или устройствам. Для улучшения линейности используют различные методы:

- работу в классах A/AB (высокая линейность, низкая эффективность);
- предискажение (аналоговое/цифровое, DPD);
- обратную связь для коррекции нелинейности.

МКУМ должны соответствовать строгим требованиям по ЭМС, чтобы не создавать помехи другим устройствам и не подвергаться воздействию внешних электромагнитных полей. Для обеспечения ЭМС используются: экранирование корпуса, фильтрация на входе/выходе, правильное заземление.

Создание эффективного МКУМ требует: оптимального выбора архитектуры и компонентов, продуманной системы охлаждения и управления, учета требований к линейности, ЭМС и надежности.

Современные технологии (DPD, высокоэффективные транзисторы) позволяют создавать МКУМ с высокой мощностью, КПД и минимальным уровнем побочных излучений, расширяя применение декаметрового диапазона.

Выводы:

- Гибридные архитектуры МКУМ сочетают преимущества различных подходов и могут быть перспективными для сложных задач.
- Использование LDMOS-транзисторов и современных систем охлаждения (тепловые трубки) повышает эффективность и надежность.
- Методы предискажения (DPD) и обратная связь эффективны для улучшения линейности.

- Соблюдение требований ЭМС через экранирование, фильтрацию и правильное заземление критично для стабильной работы.
- Дальнейшее развитие технологий (например, в области материалов и микроэлектроники) откроет новые возможности для оптимизации МКУМ.

Направления дальнейших исследований:

1. Изучение влияния новых материалов (например, широкополосных пассивных компонентов) на характеристики МКУМ.
2. Исследование методов снижения потерь в коммутационных матрицах для матричных архитектур.
3. Анализ перспектив интеграции МКУМ с системами когнитивной радиосвязи для гибкого использования частотного ресурса.

Рекомендации для применения результатов:

- Использовать полученные данные при проектировании МКУМ для радиовещательных станций, навигационных систем и научных проектов.
- Учитывать требования ЭМС на этапе проектирования для предотвращения проблем на поздних стадиях разработки.
- Сотрудничать с производителями компонентов для адаптации решений под конкретные задачи.
- Проводить регулярные испытания и мониторинг параметров МКУМ в реальных условиях эксплуатации для верификации теоретических расчетов.

Библиографический список

1. Пикосекундная импульсная техника / В. Н. Ильюшенко, Б. И. Авдоchenko, В. Ю. Баранов и др. ; под ред. В. Н. Ильюшенко. – М. : Энергоатомиздат, 1993. – 368 с.
2. Проектирование радиопередатчиков / В. В. Шахгильдян, М. С. Шумилин, В. Б. Козырев и др. ; под ред. В. В. Шахгильдяна. – М. : Радио и связь, 2000. – 656 с.
3. Устройства сложения и распределения мощностей высокочастотных колебаний / В. В. Заенцев, В. М. Катушкина, С. Е. Лондон, З. И. Модель ; под ред. З. И. Моделя. – М. : Сов. радио, 1980. – 296 с.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Д. Д. Миржанулы, М. А. Сапаргалиев

*Западно-Казахстанский аграрно-технический университет
имени Жангир хана, Уральск, Казахстан
(e-mail: marlen.armanuly@mail.ru)*

Фундаментальным элементом в изучении цифровизации образовательного процесса в контексте цифровизации является современный подход к изучению этапов формирования цифровизации образования в Российской Федерации. В последнее десятилетие наблюдается тенденция к оснащению учебных заведений современными технологиями: компьютерами, планшетными панелями, использованию Интернета в учебных заведениях для доступа к информационному контенту, учебным материалам, переводу библиотек на онлайн-платформы. Студенты могут прослушивать учебный материал, не выходя из дома через Интернет. Создаются электронные ресурсы, с помощью которых студент может найти подробную информацию для занятий с преподавателем (Андрющенко и др., 2020). Профессия учителя начинает меняться в сторону использования новых методов и технологий для проведения занятий. Ведь цифровизация подразумевает самостоятельное изучение материала, а учитель будет выступать в роли помощника, куратора, к которому можно в любой момент обратиться за помощью. В то же время для повышения эффективности, продуктивности и результативности цифровизации образования были сформированы следующие элементы.

1. Создание единой образовательной среды.
2. Подключение образовательных организаций к высокоскоростному Интернету и локальным сетям WI-FI.
3. Предоставление серверов.
4. Установка интерактивных панелей в классах для проведения семинаров.
5. Предоставление ноутбуков/компьютеров для учителей.
6. Функционирование электронного журнала и библиотеки.
7. Функционирование электронного журнала и библиотеки.

Эти проекты представляют собой создание безопасной цифровой образовательной среды, обеспечивающей высокое качество и доступность образования всех видов и уровней, то есть развитие цифрового образования как основы для развития цифровизации. «Цифровая образовательная среда» обеспечивает

безопасную цифровую образовательную среду к 2024 году как центр цифровой трансформации образования, с помощью которой будет осуществляться организационная, управленческая, методологическая, аналитическая и экспертная деятельность профилей цифровых компетенций для студентов, преподавателей и административного персонала, индивидуальные планы обучения с правильным учетом результатов прохождения онлайн-курсов. Оптимизация деятельности образовательных учреждений, перевод отчетов об их деятельности в электронный формат и его автоматическое формирование, формирование федеральной информационной сервисной платформы «цифровая образовательная среда» и ее постоянное наполнение образовательным контентом.

Цифровизация образования подразумевает трансформацию, интеграцию образовательных технологий на всех этапах образовательного процесса: обучение, воспитание, методическая интеграция, профориентация, а также цифровые инструменты и сервисы для создания образовательного контента. Цифровая образовательная среда предполагает использование целого набора различных цифровых инструментов для работы. На интернет-порталах можно создавать и искать инструменты для создания голограмм и инфографики, образовательных карт, кроме того, необходимые инструменты для создания викторин – интеллектуальных игр для студентов, кроссвордов, викторин и веб-квестов, интеллектуальных карт, видеоконференций. В связи с вышеуказанными условиями в анализе данной статьи выделяются следующие основные задачи. Во-первых, наиболее эффективное использование современной ИТ-инфраструктуры для повышения качества образовательного процесса. Во-вторых, внедрение информационных технологий в образовательный процесс, повышение уровня ИКТ-компетентности преподавательского состава, создание новых форм образовательного контента. В-третьих, определение наиболее эффективных методов обучения студентов в рамках традиционного и дистанционного обучения. В-четвертых, постепенный переход от бумажных книг, журналов, тетрадей к цифровым носителям. В-пятых, повышение квалификации и навыков преподавателей и студентов, а также уровня надлежащей способности работать с информационными технологиями. В качестве основного метода исследования была выбрана модель соотношения эффективности традиционного и дистанционного образования по динамике роста успеваемости учащихся. Рассмотрим расширение образовательных возможностей для учащихся с помощью дистанционного обучения в современных условиях. Дистанционное образование открывает широкие возможности для образования и профессионального развития различных категорий граждан. При дистанционном обучении студентам предоставляется возможность самостоятельно получать необхо-

димые знания, используя различные информационные ресурсы, предоставляемые современными информационными технологиями. Проведение чатов и форумов, видео- и телеконференций, а также возможность консультироваться с преподавателями посредством компьютерной связи делают взаимодействие студентов с преподавателями гораздо более интенсивным, чем в традиционной форме обучения.

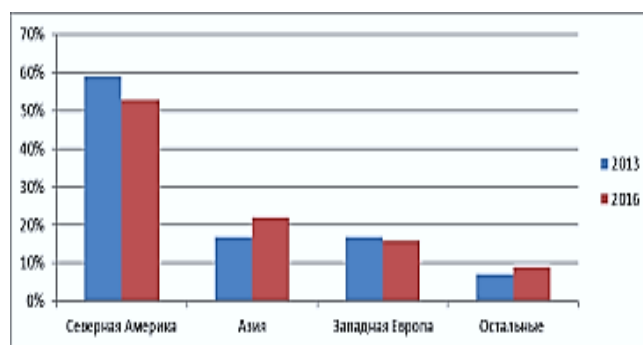


Рис. 1. Динамика роста числа студентов в традиционном и дистанционном обучении

В качестве основного метода исследования была выбрана модель соотношения эффективности традиционного и дистанционного образования по динамике роста успеваемости студентов. Исследование было основано на опросе студентов. Таким образом, был представлен выбор между традиционным образованием и дистанционным обучением, среди которых необходимо было выбрать наиболее продуктивный, эффективный подход, соответствующий тенденциям современного общества. Данные описаны и представлены на рис. 1 и 2. Всего в опросе приняли участие 60 человек, данные представлены на рис. 1. Из них 33 человека проголосовали «за» традиционное образование, что составляет 55% в процентном отношении, 25 человек проголосовали «за» дистанционное обучение, что составляет 42% в процентном отношении, и, наконец, 2 человека затруднились дать ответ, что составляет 3% в процентном отношении.

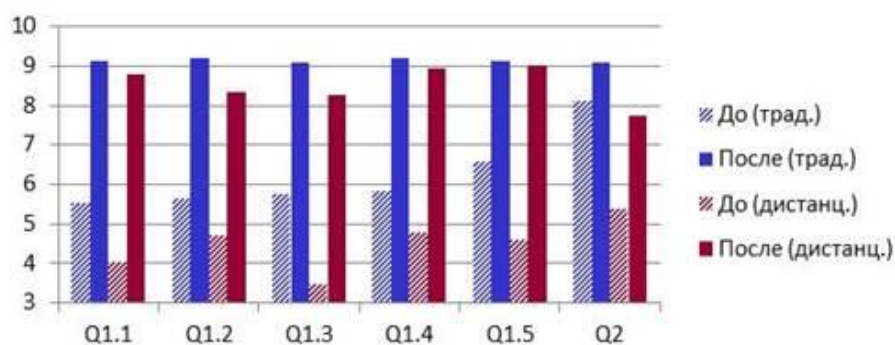


Рис. 2. Соотношение традиционного и дистанционного обучения среди респондентов

Очевидно, что преимущества перевешивают недостатки. Для продуктивности развития цифровизации необходимо обеспечить научно-методическую поддержку внедрения и оценки эффективности проектно-ориентированной модели управления обучением. А также управления образовательным процессом, научной и коммерческой деятельностью в университете. В ходе исследования авторы обнаружили закономерность, что технологии не предназначены для замены преподавателя, а скорее идея заключается в создании учебной среды, которая позволит переключить организацию образовательного процесса на сотрудничество и продуктивную учебную деятельность вместе со студентом и преподавателем. Сегодня мы находимся на начальном этапе внедрения образовательных технологий. Процесс внедрения – это очень сложный и многогранный процесс, требующий большого терпения и настойчивости, но в конечном итоге, технологии могут открыть дверь к новым опытам, открытиям, способам обучения и сотрудничества. Таким образом, эти информационные технологии, которые станут одним из основных аспектов образовательного процесса, смогут повысить общий уровень образования и грамотности населения и общества в целом.

Библиографический список

1. Цифровизация образовательного процесса и современные технологии обучения / Л. Андрющенко и др. – 2020.
2. Дистанционное обучение как инструмент современной образовательной среды / А. Безлюдный и др. – 2020.
3. Дистанционное образование: сущность, формы и перспективы применения / Л. Казак и др. – 2019.

РОЛЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИННОВАЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Е. Л. Рыжова

*Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия
(e-mail: elena-astanovskaja@rambler.ru)*

Скорость развития технологий и изменения внешней среды привели к цифровой трансформации в энергетике и вышли на первый план. Цифровые технологии быстро меняют облик энергетической отрасли, поэтому образова-

тельные программы должны постоянно обновляться, чтобы соответствовать этим изменениям. Мы живем в реальности, где все больше задач решается с использованием искусственного интеллекта: цифровые двойники (Digital Twins), большие данные (Big Data), облачные платформы, блокчейн-технологии, предиктивная аналитика и Интернет вещей (IoT) становятся привычными инструментами. Главный вызов теперь заключается не в самом факте цифровизации, а в скорости и эффективности ее внедрения. Для его решения необходимы квалифицированные специалисты, способные быстро обучаться и легко адаптироваться к внешним вызовам. Важность подготовки квалифицированных кадров, способных работать с новыми технологиями и адаптироваться к быстро меняющимся условиям, особенно остро чувствуется сейчас, когда необходимо не только внедрять инновации, но и замещать зарубежные решения, обеспечивая технологическую независимость. Ключевые специальности, которые сегодня крайне востребованы в энергетике: специалисты по облачным технологиям и искусственному интеллекту, инженеры-энергетики, специалисты по автоматизации, релейной защите и автоматике, профессионалы, которые понимают как работают цифровые системы управления энергетическими объектами и могут их эффективно внедрять и эксплуатировать, специалисты по кибербезопасности предприятий энергетики, системные инженеры интеллектуальных энергосетей, обеспечивающие надежное и эффективное электроснабжение. Необходимо развивать образовательные программы, ориентированные на подготовку кадров для цифровой энергетики, а также создавать возможности для переквалификации и повышения квалификации уже работающих специалистов [1].

Цифровизация не просто модернизирует традиционные методы обучения, но и радикально повышает его эффективность, делая акцент на практических навыках и индивидуальном подходе. Переход от пассивных лекций к интерактивным технологиям действительно позволяет студентам «погружаться» в профессию еще на этапе обучения. Дистанционное и гибридное обучение с применением платформ для видеоконференций, доступ к электронным ресурсам и онлайн-курсам не только сохраняют взаимодействие между преподавателем и обучающимися, но и развивает навыки удаленной работы, когда студенты могут участвовать в симуляциях эксплуатации энергосистем в любое время и в любом месте, самостоятельно углубляться в темы, такие как управление интеллектуальными сетями или кибербезопасность. Это способствует формированию навыков самообучения, необходимых в быстро меняющейся отрасли. Использование искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения может анализировать данные о прогрессе обучающихся и предлагать индивидуальные

рекомендации по улучшению их результатов. Применение для организации учебного процесса системы управления обучением (LMS) не только предоставляют доступ к материалам, но и позволяют преподавателям мониторить успеваемость обучающихся в реальном времени, что это особенно важно в энергетике: студенты могут отрабатывать сценарии аварий в энергосетях, а преподаватели – корректировать программы на основе данных о пробелах в знаниях. С помощью технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) создаются виртуальные лаборатории, где будущие инженеры могут «разбирать» турбины или моделировать в виртуальной среде кибератаки на энергосеть без риска для реального оборудования. Использование VR/AR-технологий в энергетическом образовании упрощают понимание сложных концепций и процессов за счет визуализации в трехмерном пространстве, предоставляют возможность безопасной отработки навыков в опасных или сложных ситуациях, например, ремонт оборудования под высоким напряжением, позволяют создавать персонализированные образовательные программы с учетом индивидуальных потребностей и способностей каждого студента, делают образование доступным для людей с ограниченными возможностями или для тех, кто проживает в отдаленных районах, развивают критическое мышление, навыки решения проблем и умения применять полученные знания на практике. Виртуальные тренажеры для операторов энергоблоков позволяют отрабатывать действия в различных режимах работы оборудования, в том числе при возникновении аварийных ситуаций. Симуляторы для проектирования и анализа энергосистем дают возможность студентам создавать и анализировать модели энергосистем, изучать их поведение в различных условиях. Интерактивные курсы по кибербезопасности знакомят обучающихся с основными угрозами в сфере энергетики и учат методам защиты от кибератак.

Сотрудничество вузов и энергетических компаний позволит усовершенствовать программы подготовки профессиональных кадров и будет способствовать развитию отрасли. Совместные лаборатории, стажировки и дуальное обучение, когда студенты чередуют теорию с практикой, позволяют интегрировать реальные тренды: от блокчейна для учета энергии до ИИ для оптимизации сетей. Например, создание цифровых двойников в лабораторных условиях помогает студентам понимать, как предиктивная аналитика предотвращает сбои в реальных энергосистемах. Такие игровые элементы или симуляции не только снижают разрыв между теорией и практикой, но и мотивируют студентов, делают их обучение увлекательным, повышая вовлеченность. Цифровизация дает свободу: студенты планируют график занятий, выбирают темп и стиль (визуальный, аудиальный, практический) обучения. В итоге, выпускники

выходят не просто с дипломом, а с портфолио реальных проектов. Однако, чтобы это работало, нужны инвестиции в инфраструктуру и подготовку преподавателей, а также возможность обеспечить равный доступ к технологиям в регионах и стандартизацию программ [2].

Использование потенциала цифровых образовательных платформ (ЦОП) в трансформации энергетического образования может улучшить подготовку кадров. ЦОП действуют как централизованное хранилище теоретических и практических знаний, охватывающих все аспекты энергетики. Это устраняет разрозненность информации и обеспечивает единый стандарт обучения. Интерактивный формат подачи материала (видео, симуляции, интерактивные задания) повышает вовлеченность студентов и способствует лучшему усвоению материала. Возможность адаптации учебных материалов и методик под индивидуальные потребности и компетенции студентов позволяет выявить сильные и слабые стороны каждого из них, стимулировать развитие творческого потенциала обучающихся. ЦОП предоставляют инструменты для оценки уровня владения компетенциями как в процессе обучения, так и после его завершения. Это позволяет энергетическим компаниям оценивать готовность выпускников к работе, планировать программы повышения квалификации и переподготовки персонала на основе выявленных потребностей, отслеживать эффективность обучения и вносить коррективы в учебные программы. Интерактивные симуляторы для организации виртуальных стажировок на энергетических объектах позволяют студентам и сотрудникам отрабатывать навыки работы в различных ситуациях, принимать решения и видеть последствия своих действий. Это повышает уровень вовлеченности персонала и развивает необходимые компетенции. Для успешного внедрения ЦОП необходимо обеспечить удобный и понятный интерфейс платформы, разработанный с учетом специфики энергетической отрасли, техническую поддержку пользователей, согласованность учебных программ с потребностями энергетических компаний, подготовку преподавателей к использованию новых технологий [2].

Совместные усилия отраслевых компаний и учебных заведений, применение новых методов обучения специалистов могут привести к заметным сдвигам в подготовке квалифицированных кадров. По оценке работодателей, дефицит именно в качественных профессиональных кадрах, так как приходится переучивать выпускников вузов в течение двух-трех лет, несмотря на определенные трудности и издержки, связанные с этим процессом. Поэтому необходима трансформация образовательного процесса, при которой налаживается сотрудничество энергетических предприятий с профильными вузами. Только

так можно будет «вырастить» по-настоящему нужных специалистов. В свою очередь, учебные заведения обеспечат студентам производственную практику и трудоустройство.

Библиографический список

1. Кадровый заряд для цифровой энергетики [Электронный ресурс] // Энергетика и промышленность России. – № 9-10. – 2023. – URL : <https://www.eprussia.ru/epr/461-462/4830131.htm> (дата обращения: 08.11.2025).

2. Лебедев, Д. К. Оценка влияния цифровых технологий при эксплуатации объектов электроэнергетики на учебный процесс АЛТГТУ [Электронный ресурс] / Д. К. Лебедев // Вестник науки. – 2024. – № 5(74), Т. 1. – С. 564 – 567. – URL : <https://www.вестник-науки.рф/article/14283> (дата обращения: 08.11.2025).

УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫЙ ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ГИБРИДНОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА С ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОМ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ

М. Слиманоу

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail : slimanou.meriem@gmail.com)*

Современная электроэнергетика характеризуется интенсивным развитием распределенной генерации, интеграцией ВИЭ, появлением комбинированных систем накопления энергии и постепенным внедрением водородных технологий на уровне локальных и региональных энергокомплексов. Одновременно происходит переход к интеллектуальным системам управления и мониторинга, основанным на сборе и аналитической обработке больших массивов эксплуатационных данных. В этих условиях инженер-электроэнергетик становится ключевым субъектом сложной цифровой энергетической среды, а его профессиональный профиль неизбежно включает компетенции в области моделирования, работы с цифровыми платформами, анализа режимов и обеспечения показателей качества электроэнергии. Вместе с тем, традиционные формы лабораторных занятий и учебных практикумов, опирающиеся преимущественно на штатные стенды и фрагментарные модели, уже не обеспечивают достаточного уровня готовности выпускников к решению задач эксплуатации гибридных энергокомплексов.

В отечественных и зарубежных исследованиях все более активно обсуждается потенциал цифровых двойников как инструмента обучения для инже-

нерных направлений подготовки. Показано, что внедрение цифровых двойников технологических объектов в образовательный процесс способствует формированию у студентов целостного представления о структуре производства, логике протекания процессов и системе технологических ограничений, а также развивает навыки работы с цифровыми данными и имитационными моделями [1]. В области электротехники и электропривода накоплен значительный опыт создания виртуальных учебных лабораторий, обеспечивающих безопасное и гибкое проведение лабораторных работ, в том числе в формате дистанционного доступа, с сохранением ключевых дидактических преимуществ очного эксперимента [2]. Однако большинство реализованных решений ориентированы на отдельные установки или узлы (например, технологические агрегаты, электроприводы, преобразователи), тогда как комплексное моделирование взаимодействия ВИЭ, водородных подсистем, частотно-регулируемых нагрузок и распределительных сетей в учебных целях представлено недостаточно; в связи с этим целью настоящей работы является разработка и апробация учебно-тренажерного цифрового двойника такого гибридного энергокомплекса.

Предлагаемый в статье учебно-тренажерный комплекс ориентирован на моделирование гибридного энергокомплекса, включающего фотоэлектрическую и ветроэнергетическую установки, электролизер, водородный резервуар и топливный элемент, звено постоянного тока с преобразовательными устройствами, частотно-регулируемый электропривод насосной установки и фрагмент сельской распределительной сети. Такой объект позволяет, с одной стороны, воспроизвести типичные для сельских и аграрных потребителей режимы электроснабжения с участием ВИЭ, а с другой – ввести студентов в проблематику интеграции водородных технологий, управления накопителями энергии и обеспечения показателей качества электроэнергии в условиях нестабильной генерации. Педагогически значимым является то, что студент получает возможность работать не с изолированными элементами, а с целостной системой, в которой каждое локальное решение (например, выбор уставок электролизера или параметров ЧРП) проявляется в виде изменений в других подсистемах и в общесистемных показателях.

Концепция учебно-тренажерного цифрового двойника исходит из необходимости увязать техническую модель энергокомплекса с целями и результатами обучения в логике компетентностного подхода. Разрабатывая архитектуру цифрового двойника, автор опирался на дидактическую модель, в рамках которой выделяются несколько уровней освоения: от первичного ознакомления с объектом и визуального анализа режимов до самостоятельного проектирования и оптимизации стратегий управления. В качестве предметной основы

используются дисциплины циклов «Электроснабжение», «Электропривод», «Силовая электроника», «Возобновляемые источники энергии»; цифровой двойник выступает в роли интегрирующего учебно-методического ресурса, позволяющего консолидировать ранее усвоенные знания и перенести их в ситуацию комплексного инженерного решения.

Математический аппарат цифрового двойника специально адаптирован к учебным целям. Для основных подсистем применяются инженерно интерпретируемые модели, сохраняющие связь с паспортными характеристиками оборудования и в то же время обеспечивающие приемлемое время вычислений для работы в интерактивном режиме. Модели ФЭУ и ВЭУ реализуют зависимость генерируемой мощности от метеорологических условий, электролизер и топливный элемент описываются с учетом энергетических КПД и ограничений по мощности, водородный резервуар рассматривается как накопитель энергии с переменным состоянием заряда, а частотно-регулируемый электропривод и сеть моделируются с возможностью оценки влияния режимов работы на показатели качества электроэнергии. Такая постановка позволяет студентам, с одной стороны, видеть логику построения инженерных моделей, а с другой – анализировать динамику режимов и оценивать последствия собственных управляющих воздействий.

Программная реализация цифрового двойника включает имитационное ядро, панель визуализации и модуль сопровождения учебного процесса. В интерфейсе оператора используются привычные для будущих инженеров элементы: однолинейная схема с индикацией режимов, временные диаграммы основных параметров, цифровые индикаторы показателей качества электроэнергии и состояния накопителя. Студент имеет возможность задавать профили нагрузки и генерации ВИЭ, инициировать переход к тем или иным сценариям (например, к островному режиму при отключении сети), изменять уставки контроллеров и анализировать последствия своих решений. Важным элементом является автоматизированный сбор «цифрового следа» учебной активности: фиксируются ключевые события, нарушения ограничений, достигнутые значения целевых показателей, что позволяет преподавателю применять более гибкие и прозрачные процедуры оценивания.

Методика включения тренажера в образовательный процесс строится на принципах практико-ориентированного и проблемно-ориентированного обучения. Занятия организуются таким образом, чтобы студенты последовательно переходили от репродуктивных действий (воспроизведение эталонного режима) к продуктивным и частично исследовательским (выбор собственных стратегий управления). Типичное занятие включает краткий инструктаж

по объекту моделирования и интерфейсу, демонстрацию преподавателем базового сценария, групповую работу студентов над заданием и последующее обсуждение результатов. В качестве учебных сценариев используются, в частности, суточный режим работы гибридного комплекса, ситуация резких изменений нагрузки насосной установки и генерации ВИЭ, а также сценарий островного режима при потере связи с сетью. В каждом случае студентам предлагается не только добиться выполнения формальных технических критериев (например, соблюдение допустимых диапазонов напряжения и уровня заполнения водородного резервуара), но и аргументировать выбранную стратегию управления с точки зрения надежности, энергоэффективности и качества электроснабжения потребителя.

Особое внимание уделяется разработке системы оценивания образовательных результатов. Предлагается трехкомпонентная модель, включающая технический, временной и аналитический компоненты. Технический компонент отражает корректность и устойчивость выбранных режимов, временной – скорость достижения приемлемого состояния системы, аналитический – глубину интерпретации полученных результатов, качество вывода и обоснование принятых решений. Подобная схема позволяет оценивать не только итоговый результат, но и процессуальную сторону деятельности студента, что соответствует современным подходам к оцениванию в инженерном образовании.

Пилотное внедрение учебно-тренажерного комплекса в образовательный процесс по направлениям «Электроэнергетика и электротехника» показало его высокую дидактическую эффективность. Анализ обратной связи от студентов и преподавателей свидетельствует о повышении мотивации к изучению дисциплин энергетического профиля, особенно в частях, связанных с ВИЭ и водородными технологиями. Становится заметным сокращение количества типичных ошибок при выполнении расчетных и лабораторных работ, связанных с неверным пониманием роли накопителей, влияния настроек ЧРП на режим сети и ограничений по показателям качества электроэнергии. Отмечается рост самостоятельности и ответственности студентов при принятии инженерных решений: обучающиеся чаще предлагают собственные варианты управления, сравнивают сценарии между собой и способны критически осмысливать компромиссы между надежностью, качеством электроэнергии и экономичностью. В целом можно констатировать, что цифровой двойник выступает в роли ядра современной цифровой образовательной среды по электроэнергетике, дополняя существующие лабораторные установки и расширяя диапазон дидактически значимых ситуаций.

С точки зрения педагогики инженерного образования результаты работы согласуются с выводами авторов, исследующих потенциал цифровых двойников и виртуальных лабораторий как средств формирования профессиональных компетенций [1, 2], но уточняют их применительно к контексту сложных гибридных энергосистем. Научная новизна и практическая значимость разработанного комплекса заключаются в том, что он позволяет в учебном формате проигрывать режимы, близкие к будущей профессиональной деятельности выпускников, и тем самым выступает одним из инструментов цифровой трансформации инженерного образования в области электроэнергетики, обеспечивая более плавный переход от учебной среды к реальной практике. Дальнейшее развитие исследования видится в расширении банка учебных сценариев за счет включения аспектов кибербезопасности, надежности коммуникационной инфраструктуры, а также в интеграции тренажера с платформами дистанционного обучения и системами автоматизированного оценивания, что позволит еще более полно использовать потенциал цифровых технологий в подготовке инженеров-электроэнергетиков.

Библиографический список

1. Использование цифрового двойника для обучения студентов металлургического профиля / В. Н. Баранов, А. И. Безруких, И. Л. Константинов и др. // Высшее образование в России. – 2022. – Т. 31, № 2. – С. 135 – 148.
2. Рассудов, Л. Н. Открытая виртуальная учебная лаборатория исследования электрического привода / Л. Н. Рассудов, А. А. Корунец // Вестник МЭИ. – 2024. – № 1. – С. 21 – 27.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРВИСОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИИ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

И. В. Уварова, К. С. Гамбург

*Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСИС»,
Старый Оскол, Россия
(e-mail: irauv@yandex.ru, ksgam@mail.ru)*

Совмещение работы и учебы большинством студентов дневного обучения, неоднородность подготовки выпускников школ и колледжей, поступающих в вузы, длительные перерывы в обучении заставляют искать новые подхо-

ды к реализации индивидуализации образовательного процесса, проектированию индивидуальных образовательных маршрутов студентов.

С появлением дистанционного образования и использованием его элементов в дневной, вечерней и заочной формах обучения в еще большей мере выявляется необходимость проектирования индивидуальных образовательных траекторий. Дистанционное образование – организация учебного процесса, основанная на принципе самостоятельного обучения студента, при котором обучаемому существенная часть учебного материала предоставляется с помощью современных информационных технологий и средств компьютерных телекоммуникаций. Использование технологий на основе искусственного интеллекта меняет систему высшего образования, открывая беспрецедентные возможности для всех участников образовательного процесса. Интеллектуальные системы уже сегодня анализируют успеваемость миллионов обучающихся, автоматизируют рутинные задачи преподавателей и адаптируют учебный материал под индивидуальные потребности каждого студента. Данные о внедрении ИИ в образовании говорит о 30%-ном повышении эффективности обучения и 40%-ном снижении административной нагрузки на преподавателей. Цифровая трансформация образования – не просто тренд, а насущная необходимость для подготовки специалистов, способных развиваться в экономике будущего. Для реализации структуры, обеспечивающей эффективное функционирование модели дистанционного образования, необходимо методическое обеспечение – тесты, методики, рекомендации по технологии обучения с учетом дидактических и психологических аспектов.

Тест принято определять как систему заданий определенного содержания, специфической формы, позволяющую качественно и эффективно измерить уровень и оценить подготовленность учащихся, контролировать результат усвоения ими в процессе обучения знаний и умений. Оценка знаний, определяемая тестом, должна быть объективной. Объективность может быть достигнута, если обучаемому будут предложены вопросы теста, соответствующие его уровню знаний. В том случае, если задания окажутся сложными, испытуемый не сможет показать свой уровень знаний, и может потерять интерес к продолжению обучения. Легкие вопросы, напротив, создадут впечатление того, что достигнут достаточный уровень знаний по данной дисциплине. То есть тестовая программа должна адаптироваться под конкретного студента.

При составлении такого теста выполняются несколько условий:

- 1) тест должен охватывать весь курс по дисциплине;
- 2) необходимо оценивать сложность вопросов;
- 3) следует подобрать верное количество вопросов;

Первым этапом разработки адаптивного теста является составление базы вопросов. Именно из нее производится выбор заданий, предлагаемых тестируемому. Вопросы охватывают все темы курса по предмету (каждой теме соответствует не менее 10 вопросов). К составлению базы вопросов успешно внедряются технологии на основе генеративного искусственного интеллекта. Для создания тестов с помощью ИИ рекомендуется указать: материал, на основе которого необходимо разработать тест; количество и тип вопросов, количество вариантов, формат, в котором необходимо представить результат [5]. На следующем этапе определяется сложность вопросов, так как более сложный вопрос имеет большую информативность по сравнению с легким. Для этого следует определить весовые коэффициенты вопросов по методу попарных сравнений. Весовые коэффициенты следует брать в интервале $[0; 1]$ [1]. Если интуитивно разбить этот интервал на отрезки, соответствующие «легким», «средним» и «тяжелым» вопросам, то количество таких заданий примерно одинаково.

На вопрос о количестве заданий в тесте ответить однозначно возможно только применительно к конкретному случаю. Рассматривая общие правила тестологии, можно сделать следующие выводы:

1. Большинство тестов содержит по 15 – 20 вопросов. Но в этот объем невозможно уместить весь материал курса по предмету. Поэтому тест должен содержать 50 – 70 вопросов. Верхняя планка определяется тем, что утомление тестируемого может привести к ошибкам при ответах на вопросы, что снизит объективность оценки знаний.

2. Количество вариантов ответов на закрытый вопрос должно быть порядка 4 – 6. Это позволит, с одной стороны, «спрятать» верный ответ, а с другой стороны, – не приведет к ситуации, когда тестируемому будет трудно ориентироваться в многообразии предложенных вариантов.

3. Время тестирования должно быть ограничено. Это не позволит испытуемому пройти тест исключительно с помощью учебной литературы или сторонних подсказок. Для ответа на один простой закрытый вопрос достаточно 10...15 с.

Модель тестирования является адаптивной [2] – сложность заданий меняется в зависимости от правильности ответов испытуемого. Если обучаемый правильно отвечает на заданное количество вопросов теста (как минимум два, что позволит более адекватно оценивать уровень знаний, чем одно задание, на которое обучаемый может отгадать или случайно забыть ответ), сложность последующих заданий повышается, если неправильно – понижается. Надежность результатов тестирования в данном случае высокая, так как осуществляется приспособление под уровень знаний конкретного обучаемого.

Сначала студенту предлагаются несколько вопросов среднего уровня. В зависимости от количества верных на них ответов, повышается или понижается в той или иной мере планка сложности заданий.

Вопросы в тесте располагаются по темам: первые n вопросов по одной теме и т.д. Это позволяет оценить уровень знаний не только по курсу, но и по отдельным темам. Что, в свою очередь, указывает на пробелы в знаниях отдельных частей курса по предмету.

На выходе теста получаем вектор, состоящий из сложности заданного вопроса и указателя на правильность ответа студента.

Тесты, построенные по вышеописанной модели, являются адаптированными к уровню знаний обучающихся, что позволит не потерять интерес студента к продолжению обучения.

Библиографический список

1. Алексеев, А. Н. К вопросу о повышении достоверности оценки при тестовом контроле / А. Н. Алексеев, Н. И. Волков, Т. А. Майорова // Открытое образование. – 2004. – № 3(44). – С. 27 – 32.
2. Дуплик, С. Модели педагогического тестирования / С. Дуплик // Образовательные технологии. – 2012. – № 4. – С. 125 – 134.
3. Дмитриев, В. И. Прикладная теория информации : учебник для вузов / В. И. Дмитриев. – М. : Высшая школа, 1989. – 319 с.
4. URL : <https://www.perplexity.ai/>
5. URL : <https://giga.chat/>

ПРОЕКТНАЯ РАБОТА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Т. А. Фролова, С. В. Фролов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: frolova2000@gmail.com)*

Процесс управления проектами идет по четкому пути – от начальной точки, называемой инициацией, до окончания вашего проекта, который называется закрытием.

Управление проектом начинается с инициации. Часто это самый короткий, но очень важный этап развития проекта, так как здесь закладываются основы для остальных этапов проекта. На этом этапе необходимо ответить на следующие вопросы.

- Что такое проект?
- Какую проблему я хочу решить с помощью этого проекта?
- Что мне для этого необходимо?
- А какие у меня варианты решения?

Затем вы можете переходить к следующему этапу – этапу планирования. Этап планирования – самый продолжительный и самый важный этап жизненного цикла управления проектом. Составление расписания работы над проектом и оценка стоимости проекта – составляющие этапа планирования. Часто проблемы, возникающие далее в проектах, являются результатом непроработанного этапа планирования. На этом этапе вам нужно будет решить следующие ключевые вопросы:

- Как вы определяете масштаб вашего проекта?
- Какое планирование нужно сделать?
- Какие ресурсы мне нужны?
- Когда это нужно сделать?
- Какова стоимость проекта и каждого этапа?

Если этап планирования успешно проработан и завершен, то вы сможете перейти к выполнению проекта.

Для эффективного выполнения вашего проекта вам нужно будет определить, оценить и разобраться с риском или любой неопределенностью, которая может возникнуть. Кроме того, вам нужно будет стать лидером вашей команды для успешной реализации проекта. Если вы хотите чтобы процесс реализации проекта шел гладко, вам необходимо четко понимать цели и составные части проекта и управлять изменениями, если они возникают. Вовлечение всех участников и постоянная корректировка задач – это неотъемлемая часть реализации проекта.

Важные вопросы для этого этапа реализации проекта:

- Какие риски мне нужно учитывать при управлении проектом?
- Как мне взаимодействовать с заинтересованными сторонами и управлять ими?
- Как лидеру, как мне мотивировать, общаться и руководить своей командой?
- И наконец, правильно ли я делаю проект?

Как только вы почувствуете, что у вас достаточно информации, вы можете переходить к заключительному этапу проекта.

Заключительный этап завершает работу над вашим проектом. Он включает в себя отчет и передачу окончательных результатов заказчикам проекта.

Именно на этом заключительном этапе вы сможете оценить успех достижения результатов вашего проекта. Анализ отзывов о вашем проекте важен для вашего личного развития. Поэтому обязательно надо получать обратную связь от заказчика, пользователей и вашей команды. Любой полученный опыт вы сможете применить в будущих проектах.

Соблюдение четких этапов работы над проектом помогают руководителям проектов тщательно анализировать свои проекты, обдумывать каждый этап по отдельности.

Планирование является неотъемлемой частью успеха проекта. Планирование проекта – это кропотливая работа, требующая тщательной проработки и сбора достаточного количества данных. Подробный план поможет вам избежать неудач при реализации проекта.

Что входит в этап планирования проекта? Мы сосредоточимся на трех ключевых направлениях. Во-первых, это определение и согласование действий, которые надо совершить для успешного завершения проекта. Второй элемент планирования – это календарное планирование проекта. Все действия, которые были признаны необходимыми, должны укладываться в сроки завершения проекта. И, наконец, планирование требует оценки стоимости реализации проекта. Стоимость учитывает время и ресурсы, необходимые для завершения проекта в запланированные сроки. После планирования руководитель проекта должен опираться на этот бюджет и сроки.

Подэтапы этапа планирования:

- определение и согласование задач, необходимых для выполнения в проекте;
- составление графика выполнения задач;
- оценка стоимости проекта и каждого этапа.

Теперь, когда мы рассмотрели некоторые ключевые задачи этапа планирования, давайте обратим внимание на ключевые вопросы этого этапа:

- Какие задачи проекта вы решаете, и какие шаги вы при этом предпринимаете?
- Какое планирование нужно сделать?
- Какие ресурсы мне нужны?
- Когда это нужно сделать?
- Сколько это будет стоить?

Во время планирования проекта вы более детально рассматриваете свой проект и задачи проекта.

Планирование проекта включает в себя составление четкого расписания работы над проектом – выделение ключевых этапов и задач и сроков их выполнения, а также определение бюджета каждой этой задачи. Если мы разложим весь проект на такие мелкие элементы – нам будет проще работать с проектом.

Другим аспектом планирования является обеспечение ресурсами. Необходимо убедиться, что у вас есть возможности и сотрудники для выполнения каждой задачи. Необходимо убедиться, чтобы все участники проекта были настроены на успех. Также важно документировать все этапы планирования – составлять четкий план на бумаге, учитывая то, кто, каким образом и как будет контролировать проект. Верно составленный план проекта – ключ к успешной реализации проекта.

Важная часть управления проектом – это план. Он определяется для всех действующих лиц. Это ориентир для оценки действий по проекту, его целей.

План проекта определяет следующее:

- Пути реализации проекта.
- Расписание действий по проекту – график проекта.
- Бюджет проекта.
- Как будут распределяться ресурсы?
- Как будет происходить контроль над проектом?

План проекта – это своеобразный механизм обратной связи.

Часто руководители проектов не уделяют должного внимания этапу планирования. В результате в ходе реализации проекта неизбежно возникают непредвиденные финансовые или другие сложности, и проект не может быть закончен вовремя. Необходимо разбить проект на составные элементы, это мы обсуждали во время этапа инициации проекта. Получение общего представления о том, что представляет собой проект и рассмотрение того, что должно быть достигнуто во время инициации готовит руководителя проекта к разделению проекта на задачи. Определение количества подзадач проекта – это основа этапа планирования. Каждая подзадача проекта должна иметь цель, которая поможет в реализации проекта.

На этапе планирования, во-первых, проясните цели и задачи, которые необходимо выполнить. Во-вторых, ресурсы, которые потребуются, для решения этих задач. Как только вы определили эти элементы, вам нужно будет определить ограничения – может быть, что-то невозможно выполнить и т.д.

После определения целей и объема работ, у менеджера проекта должно быть понимание того, как проект будет разбит на задачи и подзадачи, которые

нужно будет выполнить. Иерархическая структура работ характеризует общий объем проекта.

Хороший подход к разработке иерархической структуры работ состоит в определении всех ожидаемых результатов проекта, а затем в выделении задач, которые необходимо выполнить. Такая иерархия формируется на этапе планирования проекта и обеспечит основу для руководства проектом. Затем необходимо разработать график выполнения этих задач.

Иерархия должна быть обязательно пересмотрена и доработана после оценки рисков проекта.

Иерархия разрабатывается в соответствии с пошаговым процессом. Чем меньше и более четко обозначен каждый шаг, тем более вероятно успешное завершение каждой крупной задачи в любом проекте будет.

После создания иерархии задач необходимо составить график их выполнения.

Следующая составная часть этапа – планирование. Это составление расписания, или графика работы над проектом. Этот этап описывает время, которое будет потрачено на выполнение задач и подзадач. Чаще всего мы не можем управлять сроками реализации проекта. Время при работе с проектами – это постоянная величина. Другие постоянные величины проекта – это бюджет и качество. Таким образом, время, бюджет и качество проекта всегда остаются неизменными. Если мы пренебрегаем одной из постоянных величин, финальный результат будет неудовлетворительный. График проекта в проектном менеджменте показывает длительность каждой индивидуальной задачи по отношению к длительности всего проекта.

Важно отметить, что разработка графика выполнения проекта может произойти только после завершения всех этих процессов. Почему нам нужно предпринять эти шаги перед разработкой графика? Основная причина этого состоит в том, что менеджеру проекта необходимо собирать и анализировать всю необходимую информацию и очень точно оценивать, сколько времени займет каждое действие. Как только необходимые ресурсы и продолжительность реализации задач прошли оценку, график работы можно передавать команде.

Важно оценивать каждую задачу и выяснять, нужно ли ее выполнение для реализации проекта. Какая цель каждой задачи? Есть ли она в иерархической структуре проекта? После того, как вы определили задачи, они должны быть упорядочены. Некоторые задачи взаимосвязаны, и их надо выявить, что также необходимо учитывать при составлении плана и графика проекта.

Затем вы можете перейти к следующему шагу, который оценивает необходимые ресурсы для выполнения каждой задачи. Эти ресурсы могут включать в себя материалы, людей и оборудование. Оценка ресурсов тесно связана с оценкой продолжительности выполнения каждой задачи. Задача не может быть выполнена вовремя, если не хватает ресурсов. Так ресурсы и время – неразрывные понятия при планировании проектов.

Последний этап тайм-менеджмента – это составление графика. Составление расписания включает в себя обобщение всей информации, которую вы получили ранее на этапе планирования проекта. Вы определили, упорядочили и оценили необходимые ресурсы и продолжительность всех задач. Составленный график необходимо менять несколько раз во время реализации проекта, подстраивая его под появляющиеся требования. Постоянный мониторинг проекта и подстройка задач и графика в зависимости от меняющихся обстоятельств – это ключевой фактор успеха проекта.

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОММУНИКАЦИИ В РАБОТЕ С КОМАНДОЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЕКТА

Т. А. Фролова, С. В. Фролов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: frolova2000@gmail.com)*

Четыре ключевых вопроса, на которые необходимо знать ответы при выполнении проекта:

- Выполняем ли мы все требования проекта?
- Достаточно ли ресурсов?
- Смогу ли я контролировать все этапы реализации проекта?
- Как я буду контролировать качество выполнения проекта?

Руководителю проекта важно быть грамотным лидером и поддерживать тесный контакт с другими участниками процесса. Построение и поддержание открытых и честных отношений с вашей проектной командой и другими участниками процесса облегчат выполнение проекта.

Важно ответить на следующие вопросы. Во-первых, как вы взаимодействуете с заинтересованными сторонами и управляете ими? И, во-вторых, как лидер, как вы могли бы мотивировать, общаться и возглавить свою команду? Тщательно продумайте действия, которые помогут вам, вашей команде и заказчику получать информацию о ходе выполнения проекта.

Руководитель проекта всегда должен быть на связи с командой и с заказчиком. Он должен понимать, что ожидает получить каждый участник проекта. Чтобы эффективно управлять участниками проекта, важно обозначить этих самых участников проекта. Участниками проекта в этом смысле будут все эти люди и организации, которые работают над проектом или каким-либо образом относятся к проекту. Как только мы поймем, кто является участниками проекта, мы можем определить их проблемы и потребности. При этом мы также сможем понять, какую роль они могут играть в результатах проекта. Например, участниками вашего проекта могут являться различные группы людей – клиенты, поставщики, подрядчики и ваша проектная группа.

Участники проекта могут иметь разный уровень заинтересованности в проекте и разную степень влияния на ваш проект. Как менеджеру проекта вам важно попытаться определить их и лучше понять их роли, интересы и потенциальное влияние на ваш проект. Затем необходимо выработать наиболее эффективную стратегию взаимодействия с участниками.

Мы обычно разделяем участников проекта на внутренние и внешние по отношению к проекту. Так кто же внутренние участники проекта? Внутренние участники являются внутренними по отношению к проекту и будут включать вас как руководителя проекта, вашу проектную команду и вашу команду менеджеров, если это крупный проект. Внутренние заинтересованные стороны должны иметь четкие роли, обязанности и нести ответственность за свои задачи. Кто же тогда внешние участники проекта? Внешние участники находятся за пределами проекта или организации и обычно включают конечного пользователя или клиентов, а также поставщиков и подрядчиков. Вовлечение заинтересованных сторон и поддержание отношений с ними может занимать много времени, но, безусловно, оказывает положительное влияние на выполнение вашего проекта.

В крупных компаниях обычно очевидно, кто отвечает за определенные этапы проекта. В небольших же компаниях роли сотрудников размыты, и необходимо потратить время на знакомство с обязанностями сотрудников. Но необходимо еще раз подчеркнуть, что для руководителя проекта очень важно понимать роль каждого участника проекта, поэтому в данном пособии этому вопросу выделен целый раздел.

Лидерские качества менеджера проекта и его умение руководить командой напрямую влияет на успех проекта. Работа в команде – решающий фактор удачного завершения проекта. Одна из ключевых обязанностей менеджера проекта заключается в присвоении членам команды их ролей на этапе исполнения

проекта. Набор нужных навыков, правильная расстановка ролей, поощрение и поддержка команды проекта – это лишь некоторые задачи, которые должен решать руководитель проекта.

Как мы можем управлять командой? Необходимо убедиться, что каждый член команды четко понимает свою роль в проекте и обязанности, которые ему необходимо выполнить в этой роли. Детальная проработка и объяснение ролей уменьшает возможность непонимания сотрудников и определяет, кто выполняет какие задачи в проекте. В более крупных проектах можно создать организационную структуру команды. Вы можете назначить конкретные задачи и обязанности для каждого сотрудника и каждой задачи проекта. Можно расписать общую структуру команды, их обязанности, роли и иерархию (кто кому подчиняется).

Другой способ определения ролей и обязанностей сотрудников – разработка устава команды. Устав команды – это набор документов, в котором описываются цели и задачи команды, ожидаемое поведение и отношения внутри команды, процедуры, которым необходимо следовать. Устав также описывает методы работы и процессы, которые способствуют добросовестным рабочим отношениям. Общее намерение устава – поддержать работу команды на протяжении всего проекта.

Работа с командой включает в себя ответ на следующие вопросы.

1. Наши цели и задачи – что мы делаем?
2. Роли и зоны ответственности – кто делает что?
3. Процедуры – как мы выполняем задачи?
4. Лидерство – как происходит управление командой?
5. Окружающий мир – как мы влияем на окружение?

Эффективное общение служит основой эффективного управления проектами. И неважно, происходит ли это общение лично или по электронной почте. Хорошее общение поддерживает мотивацию команды и дает команде чувство единства и общей цели. Выстраивание хорошо скоординированного коммуникационного процесса или плана помогает прояснить цели, роли, и обязанности. Неэффективное общение резко увеличивает вероятность недопонимания и конфликта, а также снижает веру команды в проект. Итак, какие способы общения эффективно использовать в вашем проекте?

При рассмотрении различных способов связи мы говорим о трех отдельных способах связи.

1. Восходящий способ связи. Менеджер проекта общается с руководителями высшего звена. Здесь ключевые элементы коммуникации включают про-

блемы, риски и ожидания от проекта. Эффективные методы общения – еженедельные отчеты, электронные письма, личные встречи.

2. Боковой канал связи. Именно через этот боковой канал происходит общение менеджеров проекта с клиентами, поставщиками, продавцами и подрядчиками. Общие элементы, обсуждаемые во время этого способа связи, – это потребности в ресурсах, обновления прогресса, бюджеты и вопросы расписания. Лучше всего это делать во время личных встреч, телефонных звонков и переписки по электронной почте.

3. Командный канал связи. Такое общение выделяет незавершенные задачи, подтверждает сроки доставки и планирует общие собрания команды. Желательно проводить плановые встречи со своим коллегами, регулярно обмениваясь устными сообщениями и письмами по электронной почте. Коммуникация напрямую влияет на результативность проекта. Итак, если вы хотите, чтобы ваша команда была высокопроизводительной, у вас должна присутствовать эффективная коммуникация. Только тогда можно ожидать достижения требуемых результатов. Успешные менеджеры проектов обычно обладают отличными коммуникативными навыками, которые включают в себя возможность представлять проблемы, слушать и реагировать на отзывы и способствовать сплочению команды.

Эффективная коммуникация – это поддержание постоянной связи между менеджером проекта, командой проекта и другими участниками проекта. Эффективное общение позволяет обсуждать проблемы и успехи. Руководители проектов должны держать всех участников проекта в курсе происходящего.

Коммуникация по проекту часто бывает довольно сложной, учитывая различные интересы участников и их потенциальное влияние на результаты проекта. Однако существуют способы, которые способствуют улучшению коммуникации. Давайте их кратко рассмотрим. Появление современных технологий, безусловно, стало отличным помощником в создании централизованного доступного хранилища информации для поддержки и улучшения взаимодействия по проекту. Такие ресурсы как Dropbox (рис. 1), OneDrive (рис. 2), Google Disk (рис. 3) или iCloud (рис. 4) позволяют обмениваться документами. Участники проекта, которым выделен доступ к этим ресурсам, смогут просматривать, редактировать, комментировать и утверждать документы в общих файлах, позволяя работать над проектом в режиме реального времени.

Публикация графика проекта и его регулярное обновление – еще один важный инструмент общения. Это простой и эффективный способ отслеживания статуса проекта.

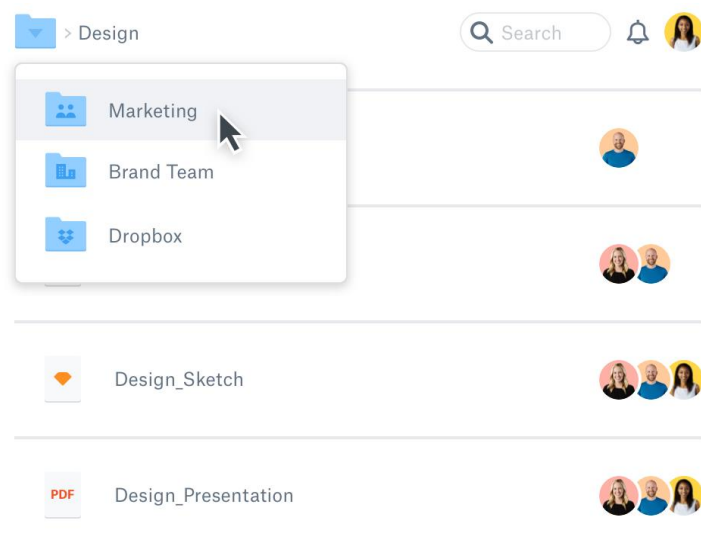


Рис. 1. Пример хранения данных на ресурсе DropBox

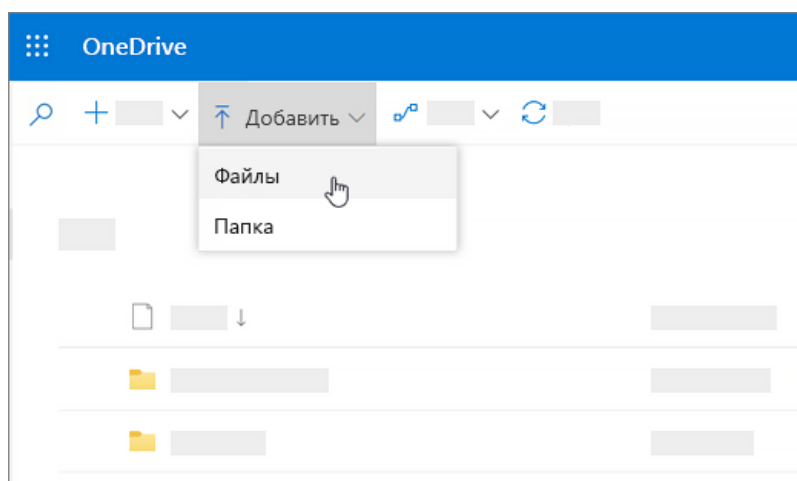


Рис. 2. Пример хранения данных на ресурсе OneDrive

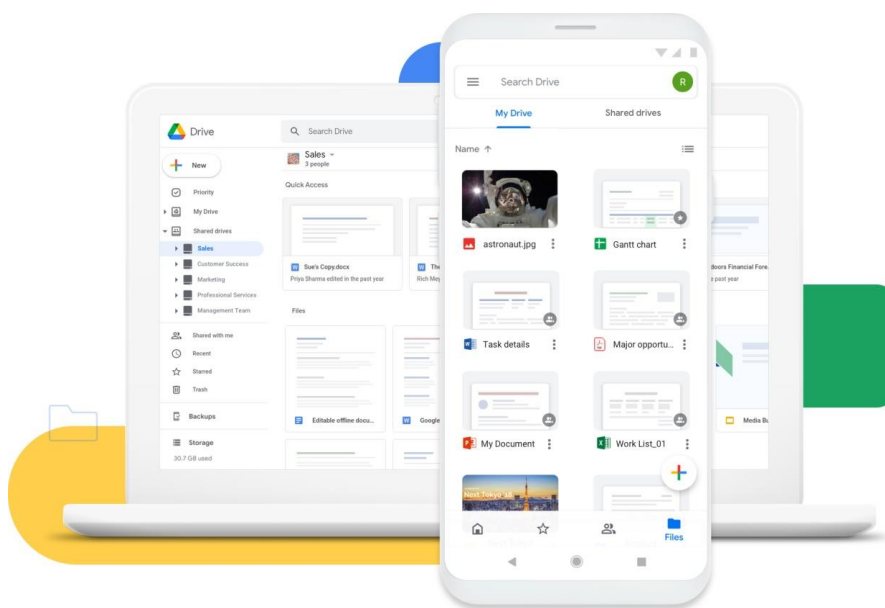


Рис. 3. Пример хранения данных на ресурсе Google Disk



Рис. 4. Пример хранения данных на ресурсе iCloud

Basecamp (рис. 5) – еще один полезный онлайн-инструмент, который помогает пользователям визуализировать расписание и связанные с ним задачи. С точки зрения управления проектом это дает руководителю проекта больший контроль по мониторингу и контролю выполнения запланированных задач.

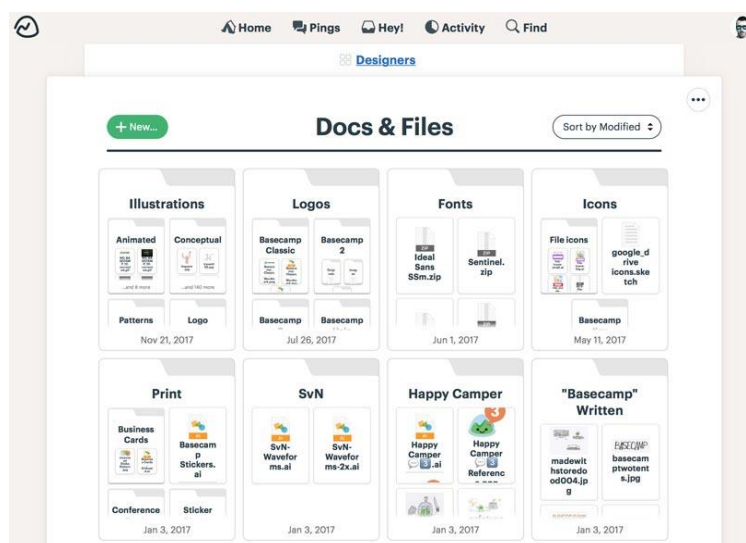


Рис. 5. Примеры интерфейса Basecamp

Это лишь некоторые из инструментов, которые доступны для эффективной коммуникации между участниками проекта. Важно, чтобы вы выбирали инструменты, которые лучше всего подходят для вашего конкретного проекта.

Библиографический список

1. Туккель, И. Л. Управление инновационными проектами : учебник / И. Л. Туккель, А. В. Сурина, Н. Б. Культин. – 2-е изд., доп. СПб. : БХВ-Петербург, 2017. – 416 с.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. Н. Шатекова

Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,

Уральск, Казахстан

(e-mail: kukesa777@mail.ru)

Современная система образования находится в стадии глубоких преобразований, вызванных активным внедрением цифровых технологий. Переход к цифровому обучению становится необходимостью, продиктованной не только технологическим прогрессом, но и социально-экономическими изменениями, которые требуют новых подходов к организации образовательного процесса. Цифровизация образования способствует формированию гибких, адаптивных и доступных моделей обучения, ориентированных на развитие компетенций XXI века. Одним из ключевых направлений этой трансформации выступает использование облачных технологий, предоставляющих широкие возможности для обновления содержания, методов и форм образовательной деятельности.

Актуальность рассматриваемой темы заключается в том, что облачные технологии позволяют создавать единое информационно-образовательное пространство, обеспечивая постоянный доступ к учебным ресурсам и инструментам взаимодействия между участниками образовательного процесса. Новизна исследования состоит в комплексном осмыслении роли облачных сервисов как основы цифровой трансформации образования, способной радикально изменить традиционные модели преподавания и обучения. Цель работы заключается в анализе особенностей внедрения облачных технологий в образовательную среду и выявлении их влияния на повышение качества образовательного процесса. Основная исследуемая проблема связана с недостаточной методической и организационной готовностью образовательных учреждений к эффективному использованию облачных решений, а также с необходимостью формирования цифровых компетенций педагогов и студентов.

Цифровая трансформация образования представляет собой не просто процесс внедрения технологий, а системное изменение всей педагогической экосистемы. Она затрагивает содержание обучения, формы взаимодействия, управление учебным процессом и методологические подходы. Сущность цифровой трансформации заключается в переходе от традиционной передачи знаний к организации активного, интерактивного и индивидуализированного обучения, где цифровые технологии становятся инструментом развития мышления, коммуникации и творческих способностей обучающихся.

Облачные технологии занимают особое место в этом процессе, так как обеспечивают возможность хранения, обработки и совместного использования данных без необходимости установки специализированного программного обеспечения на локальные устройства. Они позволяют преподавателям и студентам взаимодействовать в реальном времени, получать доступ к учебным материалам из любой точки мира, использовать виртуальные лаборатории и платформы для практических занятий. Благодаря этому, образовательный процесс становится более гибким и открытым, что особенно важно для дисциплин, связанных с вычислительной техникой и информационными системами.

Облачные платформы, такие как Google Workspace for Education, Microsoft Azure, AWS Educate и другие, предоставляют образовательным организациям мощные инструменты для создания цифровой инфраструктуры. В технических направлениях они позволяют моделировать сети, создавать виртуальные машины, выполнять вычисления и анализировать данные без необходимости приобретения дорогостоящего оборудования. Такой подход способствует развитию у студентов практических умений и профессиональных компетенций, приближая процесс обучения к условиям реальной цифровой экономики.

Использование облачных технологий способствует переходу к гибким и адаптивным моделям обучения, где каждый студент может самостоятельно выбирать темп освоения материала, получать доступ к индивидуальным заданиям и участвовать в совместных проектах. Благодаря облачным сервисам усиливается исследовательская и проектная деятельность, развиваются навыки сотрудничества, коммуникации и самоорганизации. Для преподавателя облачные технологии становятся инструментом организации эффективного педагогического взаимодействия, позволяющим контролировать результаты обучения, проводить мониторинг активности и осуществлять индивидуальную поддержку студентов.

Методологически исследование цифровой трансформации на основе облачных технологий опирается на системный и аналитический подход, который позволяет рассматривать образовательный процесс как динамичную систему, включающую технические, педагогические и организационные компоненты. Анализ научных публикаций показывает, что облачные технологии значительно повышают доступность образования, способствуют снижению издержек и позволяют расширить образовательное пространство за счет интеграции различных платформ и ресурсов.

Результаты анализа показывают, что внедрение облачных решений положительно влияет на качество образования. Преподаватели получают возможность использовать современные инструменты для организации учебных занятий, проводить дистанционные лабораторные работы, обеспечивать хранение и совместное использование учебных материалов. Студенты, в свою очередь, осваивают цифровые инструменты, развивают самостоятельность и ответ-

ственность за результаты своей деятельности. Вместе с тем, внедрение облачных технологий требует системной подготовки педагогов, совершенствования нормативно-правовой базы и решения вопросов, связанных с информационной безопасностью и защитой персональных данных.

Несмотря на значительные достижения, процесс цифровой трансформации сталкивается с рядом проблем. Основные трудности связаны с неравномерностью технического оснащения образовательных организаций, недостаточной цифровой грамотностью преподавателей и отсутствием единых методических рекомендаций по использованию облачных технологий. В перспективе развитие данного направления должно быть связано с созданием интегрированных образовательных платформ, применением технологий искусственного интеллекта для анализа образовательных данных, разработкой интеллектуальных систем поддержки обучения и построением национальных облачных образовательных экосистем.

Цифровая трансформация образовательного процесса на основе облачных технологий является неотъемлемой частью модернизации современного образования. Облачные решения обеспечивают гибкость, открытость и адаптивность образовательной среды, делают обучение более доступным и эффективным. Их использование способствует развитию цифровых компетенций участников образовательного процесса, улучшает качество коммуникации между преподавателями и студентами, способствует индивидуализации обучения и повышению его практической направленности.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что успешное внедрение облачных технологий требует комплексного подхода, включающего техническое оснащение, подготовку педагогических кадров, методическую поддержку и создание нормативной базы. В дальнейшем исследование может быть направлено на разработку методических моделей использования облачных сервисов в преподавании технических дисциплин, изучение влияния цифровой трансформации на образовательные результаты и разработку рекомендаций по формированию цифровых компетенций у преподавателей и студентов.

Практическая значимость результатов заключается в возможности их применения при проектировании образовательных программ, модернизации учебного процесса и создании цифровых образовательных ресурсов. Таким образом, облачные технологии становятся не просто инструментом поддержки образования, а основой формирования новой образовательной культуры, соответствующей вызовам цифрового общества.

Библиографический список

1. Андреева, Н. В. Цифровая трансформация образования: проблемы и перспективы / Н. В. Андреева // Педагогика и психология образования. – 2023. – № 2. – С. 15 – 22.

2. Власова, Е. А. Облачные технологии в современном образовательном процессе / Е. А. Власова // Информатика и образование. – 2022. – № 10. – С. 45 – 50.
3. Гладкова, М. А. Развитие цифровой образовательной среды на основе облачных технологий / М. А. Гладкова, Т. Н. Кудрявцева // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 6. – С. 134 – 141.
4. Кузнецова, И. С. Использование облачных сервисов в профессиональном образовании / И. С. Кузнецова // Вестник высшей школы. – 2022. – № 3. – С. 72 – 78.
5. Морозова, О. В. Цифровая образовательная среда как инструмент реализации современного образовательного процесса / О. В. Морозова // Образовательные технологии и общество. – 2021. – Т. 24, № 4. – С. 98 – 106.
6. Петрова, Л. Г. Инновационные подходы к обучению в условиях цифровизации / Л. Г. Петрова // Высшее образование в России. – 2023. – № 5. – С. 112 – 118.
7. Сафронова, Е. В. Интеграция облачных сервисов в систему электронного обучения / Е. В. Сафронова // Проблемы современного образования. – 2022. – № 6. – С. 56 – 63.
8. Федорова, Н. И. Формирование цифровых компетенций преподавателя в условиях цифровой трансформации образования / Н. И. Федорова // Педагогическое образование и наука. – 2023. – № 2. – С. 44 – 51.

НАСТАВНИЧЕСТВО В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ ШКОЛЬНИКОВ: РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ЧЕРЕЗ ШКОЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ПРОЕКТЫ

С. Р. Ястребов, А. А. Терехова

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: yastrebov123@list.ru)*

1. Актуальность и цель

- Цель проекта: систематически обучать школьников (10–11 классы) основам электроэнергетики и технических специальностей через совместную разработку научно-проектной деятельности под руководством студента-наставника.
- Актуальность: в условиях спроса на инженерное образование и рост интереса к устойчивым источникам энергии, ранняя коммуникация с научной средой повышает мотивацию, успеваемость и профориентацию учащихся.

- Контекст: проект осуществляется студентами при поддержке МИНОБРНАУКИ и предоставляет участникам дополнительную квалификацию для проведения занятий, а школьникам – возможность реального погружения в научный процесс.

2. Обоснование деятельности наставничества

Что предлагает наставничество: совместная работа над практическими лабораторными проектами по электроэнергетике, освоение инструментов исследования, развитие навыков презентации, критического мышления и командной работы.

3. Влияние на школьников: повышение успеваемости по созданию научных работ, дополнительные баллы и преимущества при поступлении в вузы, более четкое представление о профессии инженера.

4. Влияние на студентов-наставников: развитие педагогических компетенций, владение методиками наставничества, повышение профессиональной привлекательности и квалификации.

5. Методология и организация работы

- Структура проекта: годовая или полугодовая программы научно-проектной деятельности, включающая исследовательскую часть, проектирование экспериментов, анализ данных, подготовку речи/презентаций и участие в профильных мероприятиях.

Этапы работы.

- Инициация: подбор темы проекта, формирование группы, план действий.

- Планирование: расписание занятий, роль студента-наставника, набор методик и материалов, требования к итоговым результатам.

- Реализация: совместная работа над экспериментами, сбор и анализ данных, подготовка проектов и докладов.

- Оценка и заключение: защита проектов, обратная связь, подготовка портфолио достижений ученика и наставника.

- Подходы и инструменты: лабораторные опыты по моделированию энергосистем, симуляционные средства, открытые данные по энергетике, презентационные и коммуникативные тренинги.

- Роли и ответственность: четкое разделение задач между наставником, школьником и куратором кафедры; регулярная фиксация прогресса.

Реализация профориентационных уроков.

- Цель уроков: информировать школьников о направлениях подготовки в энергетических и смежных направлениях, путях поступления в институт и карьерных возможностях.

- Форматы: лекции, мастер-классы, экскурсии на кафедру, встречи с выпускниками и практикующими специалистами.

- Ожидаемые эффекты: повышение информированности о профессии инженера-энергетика, мотивация к выбору профильного образования, развитие навыков самоопределения и планирования карьеры.

6. Оценка эффективности и метрики

Для школьников:

- успеваемость по профильным предметам, участие в олимпиадах и конкурсах;
- поступление в высшее учебное заведение по специальностям энергетики;
- достижения в проектах (количество успешно реализованных тем, защит проектов).

Для наставников:

- развитие педагогических навыков, методов наставничества, качество взаимодействия с учениками.
- получение дополнительной квалификации и соответствующих баллов в рамках программы МИНОБРНАУКИ.
- Методы оценки: портфолио проектов, анкетирование участников и учителей, сравнение до/после участия по успеваемости и мотивации.

7. Практическая значимость и ожидаемые результаты

Вклад в образовательную среду: создание устойчивой модели наставничества, возможность распространения на другие школы и направления в науке.

Перспективы для школьников: ускорение академического и профессионального роста, повышение конкурентоспособности на рынке образования.

Перспективы для студентов-наставников: формирование достойных портфолио и резюме, признание в академической среде.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

<i>К. А. Анохин</i>	
Теплоемкости и показатель адиабаты теплотехнических газов	3
<i>А. В. Архипова, А. В. Иванов</i>	
Системы навигации и управления беспилотными летательными аппаратами.....	7
<i>А. А. Балашов, Т. А. Листопадская</i>	
Моделирование свободной конвекции для определения коэффициента теплоотдачи вертикальной трубы.....	11
<i>И. А. Воликова</i>	
О значении института общественного контроля в системе жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ).....	15
<i>А. Н. Грибков, Н. Г. Буранова</i>	
Особенности построения систем оптимального управления теплоэнергетическими объектами на множестве состояний функционирования.....	19
<i>К. Н. Губарев, О. Н. Попов</i>	
Оценка эффективности замены оборудования при модернизации производства.....	22
<i>Е. А. Дегтярев, О. Н. Попов</i>	
Оценка эффективности парогазовой установки	26
<i>Е. А. Дегтярев, А. А. Шитиков, Н. А. Колядин</i>	
Оценка эффективности строительства собственного источника теплоснабжения промышленного предприятия на основе газопоршневой установки.....	30
<i>К. Б. Дорофеев, В. И. Зацепина</i>	
Эволюция БАВР в условиях цифровой трансформации энергетики.....	35
<i>Н. А. Едренкин, Т. Г. Мануковская</i>	
Тепловые и гидравлические особенности централизованного водоснабжения при подмешивании холодной воды в систему ГВС многоквартирного дома	37
<i>В. А. Ельцова, А. В. Майстренко, Я. В. Ельцов</i>	
Актюаторы: наномодификация композитов и аспекты разработки	41
<i>В. А. Ельцова, Я. В. Ельцов</i>	
Линейные электрогенераторы для систем возобновляемой энергетики.....	44
<i>В. А. Ельцова, А. В. Майстренко, Я. В. Ельцов</i>	
Технология энергоэффективного электронагрева в АПК.....	47
<i>А. А. Иванов, А. В. Иванов</i>	
Влияние погрешности измерения псевдодальности в информационно-измерительной системе на основе СРНС на точность определения координат местоположения.....	51
<i>В. В. Клитинов</i>	
Технологические подходы для очистки и сушки растительного сырья.....	56
<i>Н. Н. Кожухов, А. А. Балашов, Т. А. Листопадская</i>	
Исследование утечек в колодцах тепловой камеры с использованием теории разладки	60
<i>Н. А. Колядин, А. А. Шитиков, О. Н. Попов</i>	
Применение ВІМ-технологий при проектировании инженерных коммуникаций.....	63

<i>И. М. Конобеев, А. А. Балашов</i>	
Исследование влияния реологических свойств жидкого топлива на эффективность работы котельных установок	68
<i>Н. С. Куаныш, И. Б. Иргалиев, К. Т. Куптлеуова</i>	
Влияние цифровых технологий на развитие теплоэнергетических комплексов.....	71
<i>Д. С. Луцков, А. Н. Грибков, А. А. Уютнов</i>	
Имитационное моделирование динамических режимов процесса гидротермальной карбонизации биоотходов	75
<i>Ю. А. Лысов, С. С. Никулин</i>	
Выбор сырья для генерации биогаза.....	78
<i>Ю. А. Лысов, С. С. Никулин</i>	
Оценка биогазового потенциала свекловичного жома	81
<i>М. В. Макаrchук, И. В. Шашков, А. П. Королев</i>	
Поплавковые датчики в цифровых системах мониторинга систем отопления	83
<i>М. В. Макаrchук, И. В. Шашков, А. П. Королев</i>	
Препятствия к цифровизации систем тепловой энергетики.....	85
<i>М. В. Макаrchук, И. В. Шашков, А. П. Королев</i>	
Цифровые двойники в тепловых электроэнергетических системах.....	88
<i>А. А. Махоренко</i>	
Анализ эффективности применения тепловых насосов в системе теплоснабжения жилого дома в г. Тамбове в условиях цифровизации теплоэнергетического комплекса....	91
<i>Д. Д. Миронова</i>	
Цифровые методы и технологии в производственных процессах на примере модернизации системы терморегулирования фазированных антенных решеток	95
<i>Е. М. Николюкина, А. Н. Грибков</i>	
Концепция применения цифровых интеллектуальных технологий в задачах разработки и реализации энергосберегающих мероприятий	99
<i>П. Н. Никулин, С. Ю. Евдокимова</i>	
Современные системы компенсации реактивной мощности с интеллектуальным управлением	103
<i>Д. Ю. Остроухов, В. Н. Чернышов</i>	
Бесконтактный адаптивный СВЧ-метод неразрушающего контроля ТФС строительных материалов и изделий.....	106
<i>К. С. Попов, С. А. Петров</i>	
Влияние внутренней теплоотдачи на общую теплопередачу в конвекторах.....	110
<i>К. С. Попов, И. В. Rogov</i>	
Численное моделирование испытаний по определению тепловой мощности конвекторов....	115
<i>И. С. Простомолотов, С. Д. Лысых</i>	
Разработка энергоэффективной двухступенчатой вакуумной экстракционной установки растительных материалов	119
<i>О. А. Пугина</i>	
Роль атомной энергии в развитии энергетической отрасли в России (к 80-летию атомной промышленности в России)	123
<i>А. А. Рязанцев, Д. С. Филатов, А. Д. Степанов, Н. С. Лакеев</i>	
Исследование теплообмена в капельном потоке при охлаждении воздуха в трубе	128
<i>М. В. Савельев</i>	
Модуль управления антенной с динамическими характеристиками как ключевой элемент цифровой инфраструктуры теплоэнергетического комплекса.....	131

<i>К. В. Скоморохов, З. М. Селиванова</i>	
Применение теплового контроля для повышения качества теплозащитного покрытия объектов в теплоэнергетике	135
<i>Н. О. Сорока, А. В. Гришина</i>	
Использование ИК-метода для контроля качества сырья при производстве сахара	138
<i>Д. Е. Судаков</i>	
Энергоэффективное управление тепловыми режимами автономного тепличного комплекса на основе цифровой модели	142
<i>А. А. Шитиков, Н. А. Колядин</i>	
Применение струйного трансформатора тепла в системах отопления теплиц	144
<i>Р. А. Щеголихин</i>	
Построение математической модели крутящего момента мини-турбины в программном комплексе ANSYS.....	149

Секция 2

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

<i>И. Т. Абдрахманова, А. Н. Ермеккалиева</i>	
Цифровая трансформация систем автоматизации в электроэнергетике: тенденции и перспективы развития	153
<i>И. С. Амангали, А. Р. Гусманова</i>	
Интеллектуальная энергетика: цифровые технологии нового поколения	156
<i>С. В. Артемова, М. А. Кононов, М. А. Каменская, С. М. Лемещенко</i>	
Акустический измеритель объемной концентрации газа	159
<i>А. В. Архипова, К. С. Колодин</i>	
Влияние энергетического потенциала цифровой радиолокационной системы на дальность обнаружения целей	163
<i>Р. П. Беликов, И. Н. Фомин, О. Б. Гладков</i>	
Алгоритм дистанционного контроля успешного АПВ выключателя в распределительной сети	167
<i>П. С. Беляев, В. В. Павлинов</i>	
Повышение эффективности процессов в сфере обращения отходов упаковки Tetra Pak ...	170
<i>А. А. Бурмистрова, В. А. Пилипенко</i>	
Цифровизация и автоматизация диагностики трансформаторных масел, экономический эффект	173
<i>Г. А. Волков</i>	
Цифровые методы обработки прерывания луча в сенсорных инфракрасных клавиатурах	177
<i>Д. А. Гладышев</i>	
Направление цифровизации в электросетевом комплексе: новые средства диагностики оборудования.....	181
<i>А. А. Гордеев</i>	
Применение методов искусственного интеллекта для оптимизации режимов работы систем электроснабжения	183
<i>М. С. Губарев, В. И. Зацепина</i>	
Алгоритм координации РПН и БАРН для повышения надежности электроснабжения в распределительных сетях	186
<i>К. Б. Дорофеев, В. И. Зацепина</i>	
Эволюция быстродействующего автоматического ввода резерва в условиях цифровой трансформации энергетики.....	190

<i>А. А. Дычаковская</i> Архитектура и механизмы обеспечения высокой доступности в виртуализированных кластерных системах	192
<i>М. В. Жестерев, С. А. Синепупов, В. Н. Мещеряков</i> Повышение энергоэффективности многоприводного агрегата для пищевой промышленности	196
<i>Ю. В. Жилкина, Д. А. Воденников</i> Интеллектуальная система цифрового моделирования и нейросетей для подготовки оперативного персонала подстанций к предотвращению аварийных ситуаций	200
<i>Р. Ю. Закурдаев</i> Некоторые принципы перспективной релейной защиты.....	204
<i>В. И. Зацепина, Д. С. Пшеничников, Д. К. Щербаков</i> Расчет пригодности использования теплообменника с жидким аммиаком в качестве аналога системы охлаждения для трансформатора 110/10 кВ	209
<i>С. Н. Зеленов, В. И. Зацепина</i> Интеграция возобновляемых источников в сельские микрогриды	212
<i>Д. Н. Земской, М. А. Каменская, Ж. А. Зарандия, С. В. Артемова</i> Диагностика электрооборудования с использованием информационно-аналитической системы	216
<i>А. В. Зубков, Е. В. Попрядухин, Н. С. Сорокин, А. И. Псарев</i> К вопросу повышения безопасности работы железнодорожных поездов.....	219
<i>И. Е. Иванин, В. Д. Кулешова, Н. С. Сорокин, А. И. Псарев</i> Анализ источников света, применяемых для уличного дорожного освещения, на примере АО «Дорожная служба» по Орловской области.....	223
<i>А. А. Иванов, Н. А. Лежнева, С. Н. Данилов</i> Цифровое обнаружение аномальных измерений сигналов спутниковых радионавигационных систем в навигационных системах транспортных средств	227
<i>М. А. Илясов, Е. А. Майстренко, С. Э. Эктов, А. А. Терехова</i> Система обнаружения хищений электроэнергии	231
<i>Д. А. Ишимов, В. И. Зацепина</i> Электроснабжение на основе Smart Grid.....	234
<i>А. А. Капустин, Р. П. Беликов, И. Н. Фомин</i> Энергоэффективные трансформаторы.....	237
<i>К. А. Кеменов, В. И. Зацепина</i> Сравнение потерь и КПД распределительных трансформаторов с сердечниками из аморфных и электротехнических сталей	242
<i>А. А. Константинов, Ю. Н. Панасюк</i> Исследование влияния энергетических характеристик цифровой радиолокационной станции на дальность обнаружения целей в условиях активных помех	245
<i>К. А. Корабельников, В. А. Знаменский</i> Диагностика неисправностей электродвигателей постоянного тока на основе комплексного анализа вибрационных, температурных и акустических параметров	249
<i>А. Е. Кусенов, М. А. Сапаргалиев</i> Интеграция цифровых методов в систему управления производством в электроэнергетике	252
<i>М. В. Макаrchук, И. В. Шашков, А. П. Королев</i> Объемный заряд в диэлектрике МДП-структуры цифровых приборов	255
<i>М. В. Макаrchук, И. В. Шашков, А. П. Королев</i> Цифровизация зависимости порогового напряжения МДП-структуры от температуры....	259
	437

<i>М. В. Макаrchук, И. В. Шашков, А. П. Королев</i> Электротехнический материал железокарбид кремния для термочувствительного элемента цифрового прибора.....	262
<i>А. С. Мартынов, Е. П. Зацепин</i> Определение состояния изоляции кабельных линий	264
<i>Н. А. Мастеров, В. Н. Мещеряков</i> Исследование электромагнитной совместимости высоковольтного асинхронного привода с многоуровневым преобразователем частоты для реверсивного прокатного стана	269
<i>М. Р. Михайлов, Р. П. Беликов, И. Н. Фомин</i> Способ подключения ответственных потребителей к резервной электростанции	273
<i>А. В. Мордовин, Д. Д. Москвитина, С. П. Москвитин</i> Улучшение точности позиционирования БПЛА в условиях объектов электроэнергетики	278
<i>Н. П. Моторина, Е. В. Тетеревлева, Д. А. Попов</i> К вопросу об оптимизации процессов проектирования внешнего электроснабжения промышленных предприятий	282
<i>Нго Зуи Хань</i> Потенциал беспроводной связи для мониторинга и управления энергосистемами	287
<i>Нгуен Куанг Хиен</i> Имитационное моделирование участка сборки электронных модулей на печатных платах	290
<i>Х. Ч. Нгуен, Е. А. Буракова, Е. Н. Туголуков, А. В. Рухов, Ю. В. Литовка</i> Энергосбережение в процессе синтеза углеродных наноструктур.....	294
<i>Нгуен Туан Ань</i> Применение алгоритма линейного оптимального оценивания для мониторинга электроэнергетических систем	297
<i>А. Н. Николаев, А. С. Ведерников, Н. А. Ведерников</i> Повышение точности прогнозов в электроэнергетике при интеграции возобновляемых источников энергии	300
<i>Р. Д. Олейников, В. И. Зацепина</i> Принципы выбора и применения быстродействующего автоматического ввода резерва на промышленных подстанциях 110/10 кВ	303
<i>А. С. Платонов, Е. А. Майстренко</i> Компьютерное зрение для мониторинга инфраструктуры в электроэнергетике	306
<i>К. А. Позднышева</i> Повышение эксплуатационной надежности электроэнергетических систем на основе методов предиктивной аналитики	309
<i>В. В. Попов</i> Использование беспилотных летательных аппаратов и цифровой RFID-технологии для мониторинга дорожного движения и повышения безопасности движения транспортных средств	311
<i>Е. В. Попрядухин, А. В. Зубков, Н. С. Сорокин, А. И. Псарев</i> Виды генерации электроэнергии в энергетическом комплексе РФ.....	316
<i>Д. А. Рябинчиков, Д. Н. Земской, М. А. Каменская, Ж. А. Зарандия, С. В. Артемова</i> Оптимизация работы электропривода за счет улучшения качества машинного масла в редукторе	319
<i>Д. С. Сергеев, В. И. Зацепина</i> Анализ причин и воздействия гармонических искажений в системах электроснабжения....	324
<i>А. А. Скворцов</i> К оценке коэффициента затухания в металлических стенках равностороннего шестигранного волновода	326

<i>М. Слиманоу</i> Цифровой двойник гибридного электроэнергетического комплекса, состоящего из фотоэлектрической установки, водородного накопителя энергии и частотно-регулируемого электропривода для оросительных насосных станций	331
<i>М. Слиманоу, В. Ф. Калинин</i> Цифровая платформа для мониторинга качества электроэнергии на базе цифрового двойника гибридного комплекса в сельской электросети	335
<i>Д. А. Стеций, В. И. Зацепина</i> Применение систем накопления энергии для сглаживания пиков тяговых нагрузок	339
<i>Д. Е. Судаков</i> Цифровые методы управления электронагрузкой в автономной теплице как модель для задач распределенной энергетики	342
<i>Ю. Н. Татаринцев</i> Повышение эффективности противодействия цифровым системам извлечения информации	344
<i>А. А. Федоров, А. С. Ведерников</i> Подбор методов планирования режимов электроэнергетических систем	347
<i>И. Н. Фомин, Р. П. Беликов, В. И. Зелюкин</i> Мониторинг включения или отказа включения АВР	350
<i>В. Ю. Хаустов, Е. П. Зацепин</i> Анализ эффективности цифрового двойника систем электроснабжения с использованием программного комплекса Autodesk Revit	354
<i>Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов, П. И. Карелин</i> Определение метрологического ресурса при проектировании и эксплуатации измерительных средств энергетических объектов	357
<i>Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов, Н. И. Магомедов</i> Оптимизация параметров элементной базы как метод повышения метрологической надежности аналоговых блоков информационно-измерительных систем на этапе проектирования	360
<i>В. П. Шарупич, П. В. Шарупич, С. В. Шарупич, Гиамфи Ассале Эме Сезер, С. С. Шарупич</i> Анализ технико-биологических характеристик, весовых соотношений структурных единиц Африканской континентальной нейробиоэнергосистемы планетарной подземно-подводной многоуровневой нейроэнергосистемы планеты Земля высшей категории надежности с четырьмя независимыми источниками энергии на 2025 год и долгосрочную перспективу до 2530 года. Ключ к Африке	364
<i>В. А. Шеломенцев, Я. А. Шеломенцев</i> Классификация разрядных и тепловых дефектов маслонаполненных трансформаторов по хроматографическим данным методами машинного обучения и AutoML	367
<i>А. Н. Шитов, Д. П. Шпилев, С. Н. Данилов</i> Структура цифровой системы для оценивания координат ТС на базе фазового угломера ...	371
<i>А. Н. Шитов, Д. П. Шпилев, С. Н. Данилов</i> Цифровая модель фазового измерителя координат ТС на базе радиочастотной идентификации	374

Секция 3

ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

<i>А. Б. Амангелдин, А. Р. Гусманова</i> Цифровая образовательная среда как инструмент системы обучения	378

<i>К. С. Гамбург, И. В. Уварова</i>	
Виртуальные стендовые лабораторные работы как трансформация образовательных технологий в условиях цифровизации	381
<i>Е. П. Евстигнеева, М. А. Любавина</i>	
Таблетница для слабовидящих с будильником.....	386
<i>А. В. Кузнецова, И. Э. Петров, С. В. Фролов</i>	
Особенности разработки обучающего макета умных очков для людей с нарушением слуха	389
<i>О. Е. Лямин, А. С. Комоликов</i>	
Моделирование зрелости цифровой трансформации в высшем образовании: теоретический анализ взаимозависимости ресурсов, культуры и технологий.....	391
<i>А. С. Макаров</i>	
Оптимизация режима работы генератора с внешним возбуждением.....	394
<i>А. С. Макаров</i>	
Принципы построения многоканальных усилителей мощности декаметрового диапазона	399
<i>Д. Д. Миржанулы, М. А. Сапаргалиев</i>	
Цифровая трансформация как фактор развития образовательных технологий	403
<i>Е. Л. Рыжова</i>	
Роль цифровых технологий и инновационных образовательных платформ при подготовке специалистов для энергетической отрасли	406
<i>М. Слиманоу</i>	
Учебно-тренажерный цифровой двойник гибридного энергокомплекса с электролизером для подготовки инженеров.....	410
<i>И. В. Уварова, К. С. Гамбург</i>	
Использование сервисов на основе технологий ИИ при тестировании в системе высшего образования	414
<i>Т. А. Фролова, С. В. Фролов</i>	
Проектная работа в профессиональной деятельности	417
<i>Т. А. Фролова, С. В. Фролов</i>	
Эффективные коммуникации в работе с командой при выполнении проекта	422
<i>А. Н. Шатекова</i>	
Цифровая трансформация образовательного процесса на основе облачных технологий...	428
<i>С. Р. Ястребов, А. А. Терехова</i>	
Наставничество в инженерном образовании школьников: развитие профессиональных компетенций через школьные научные проекты.....	431

Научное электронное издание

**VII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ, МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
И СПЕЦИАЛИСТОВ**

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

СБОРНИК ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Тамбов, 24 декабря 2025 года

Редактирование И. В. Калистратовой, Л. В. Комбарово
Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова
Обложка, упаковка, тиражирование Т. Ю. Зотовой

ISBN 978-5-8265-2981-2



Подписано к использованию 28.01.2026.
Тираж 100 шт. Заказ № 7

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5,
помещение 2, к. 14
Тел. 8(4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru