

# **ЭНЕРГЕТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ: ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ**

## **МАТЕРИАЛЫ**

**II Всероссийской научно-практической  
конференции обучающихся и преподавателей**



**Санкт-Петербург  
2023**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»  
Высшая школа технологии и энергетики

## **МАТЕРИАЛЫ**

**II Всероссийской научно-практической  
конференции обучающихся и преподавателей**

**«ЭНЕРГЕТИКА, УПРАВЛЕНИЕ  
И АВТОМАТИЗАЦИЯ:  
ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ»**

Научное издание

*Под общей редакцией  
директора Института энергетики и автоматизации,  
кандидата технических наук, доцента Т. Ю. Коротковой*

Санкт-Петербург  
2023

УДК 620.9  
ББК 31  
Э 651

### **Редакционная коллегия:**

кандидат технических наук, доцент, директор Института энергетики и автоматизации  
*Т. Ю. Короткова* (Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики);  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей  
*В. В. Барановский* (Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики);  
доктор технических наук, профессор, директор Мегафакультета биотехнологий и низкотемпературных систем  
*И. В. Баранов* (Национальный исследовательский университет ИТМО)

### **Ответственные редакторы:**

старший преподаватель кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей  
*М. С. Липатов* (Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики);  
старший преподаватель кафедры иностранных языков  
*Е. Н. Лашина* (Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики)

Э 651 Материалы II Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем» / Минобрнауки РФ; ФГБОУ ВО «Санкт-Петерб. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна»; сост. М. С. Липатов, Е. Н. Лашина; под общ. ред. Т. Ю. Коротковой. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2023. — 367 с.  
ISBN 978-5-91646-335-4

В настоящем сборнике представлены материалы II Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем», состоявшейся 22 декабря 2022 года в Санкт-Петербурге.

Сборник предназначен для широкого круга читателей, интересующихся научными исследованиями и разработками, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов учебных заведений, а также всех, проявляющих интерес к рассматриваемой проблематике, с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

Материалы представлены в авторской редакции. Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов. Организаторы конференции не несут ответственность перед авторами и/или третьими лицами за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.

*Материалы конференции размещены в научной электронной библиотеке [elibrary.ru](http://elibrary.ru) и зарегистрированы в наукометрической базе РИНЦ (Российский индекс научного цитирования).*

УДК 620.9  
ББК 31

ISBN 978-5-91646-335-4

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2023  
© Коллектив авторов, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Козлов А. А., науч. руководитель Оробинский А. М.</b> (Санкт-Петербург) Применение генераторов с постоянными магнитами в системах автономного электроснабжения промышленных объектов. . . . .	10
<b>Хроль Е. В., Аскарров Р. Р., Франциско О. Ю.</b> (г. Краснодар) Исследование современных MES-систем. . . . .	14
<b>Суслов В. А.</b> (Санкт-Петербург) Оптимальный кажущийся уровень заполнения кипяtilьных труб выпарных аппаратов – надежный показатель эффективности их работы. . . . .	17
<b>Нурлыбаев М. А., Алмазхан Н. А., науч. руководитель Идиатуллов З. Р.</b> (г. Казань) Применение алгоритмов поиска пути для контроля беспилотных летательных аппаратов аэродромного базирования для предотвращения столкновений. . . . .	23
<b>Ширяев А. Д., науч. руководитель Морозов Г. А.</b> (Санкт-Петербург) Оценка экономической эффективности работы ветроэнергетических установок на территории Санкт-Петербурга. . . . .	27
<b>Насибуллин Д. Р.</b> (г. Челябинск) Канонический метод структурного синтеза автоматов. . . . .	34
<b>Никешин В. Г., науч. руководитель Сидельников В. И.</b> (Санкт-Петербург) Искусственный интеллект как главный инструмент автоматизации современного производства. . . . .	39
<b>Белов М. Д., Игошин Я. Е., Козин К. В., науч. руководитель Крючатов В. И.</b> (г. Казань) Технология сварки медью ЭРЭ с печатными платами радиоэлектронных средств. . . . .	44
<b>Антошкина А. Н., Варакина А. В., науч. руководитель Осинцева Н. В.</b> (г. Ишим) Способы повышения энергоэффективности масляных трансформаторов. . . . .	49

<b>Мудзамири А. Г., науч. руководитель Ковалев Е. Н.</b> (Санкт-Петербург) Безударное переключение насосов между преобразователем частоты и сетью. . . . .	53
<b>Приходько Д. И.</b> (Москва) Обзор биологических свойств процесса поражения микропроцессоров ионизирующим излучением. . . . .	58
<b>Мустафин Р. Ф., науч. руководитель Зарипова Р. С.</b> (г. Казань) Разработка программного обеспечения для автоматизации процесса проката автомобилей. . . . .	62
<b>Краснов Н. В., науч. руководитель Шпенст В. А.</b> (Санкт-Петербург) Анализ паразитных явлений, возникающих при эксплуатации карбид- кремниевых полевых транзисторов. . . . .	66
<b>Низамова Л. И., науч. руководитель Масгутова И. С.</b> (г. Салават) ОРС-интерфейс сбора данных с приборов в реальном времени. . . . .	72
<b>Гладышев Н. Н., Ширяев А. Д., Долженко О. А.</b> (Санкт-Петербург) Эффективность регулирования подвода тепловой энергии к системам отопления жилых зданий. . . . .	78
<b>Полякова С. В.</b> (г. Кемерово) Метод анализа статистических данных процесса управления оборудованием. . . . .	82
<b>Журавлева В. В., науч. руководитель Ткаченко А. Л.</b> (г. Калуга) Решение проблем экономики внедрением искусственного интеллекта. . . .	86
<b>Шарифуллин Э. Р., науч. руководитель Марченко А. С.</b> (г. Казань) Применение технологий виртуальной и дополненной реальности в промышленной индустрии 4.0. . . . .	91
<b>Султан Ш., Лопушанский А. М., науч. руководитель Бекенева Я. А.</b> (Санкт-Петербург) Алгоритм повышения эффективности моделей машинного обучения. . . .	94

<b>Мерзлая Д. М., науч. руководитель Кундюков О. А.</b> (Санкт-Петербург)	
Песчаные резервуары для хранения энергии. . . . .	100
<b>Латыпов Р. Р., науч. руководитель Гаврилов С. В.</b> (г. Салават)	
Сравнение современных операционных систем. . . . .	104
<b>Сочеева М. Е., науч. руководитель Стефанова Н. А.</b> (г. Самара)	
Причины и последствия современной эмиграции IT-специалистов из РФ. . . . .	108
<b>Кокосников А. С., Чекунов А. В., науч. руководитель Дятлова Е. П.</b> (Санкт-Петербург)	
Информационные системы, используемые на стадии эксплуатации зданий и сооружений. . . . .	112
<b>Исмагилова Д. А., науч. руководители Левина Т. М., Масгутова И. С.</b> (г. Салават)	
Безопасность и защита баз данных. . . . .	117
<b>Федорук С. С., Рыжиков В. А.</b> (Санкт-Петербург)	
Высококвалифицированное сжигание твердых древесных отходов и отходов сортировки макулатуры, содержащих синтетические полимеры, в котлоагрегате БКЗ-85-13. . . . .	121
<b>Чигрунов Д. Ф., науч. руководитель Муратов Р. М.</b> (г. Казань)	
Разработка многофункциональной системы автоматизированного выращивания зелени. . . . .	128
<b>Иванченко И. Д., Леонов В. А., науч. руководитель Демина М. Ю.</b> (Санкт-Петербург)	
Малые модульные реакторы. . . . .	133
<b>Трошина М. В., Кашапова Л. Р., науч. руководитель Булатова З. А.</b> (г. Салават)	
Моделирование систем с одним прибором и очередью. . . . .	139
<b>Михайлов Р. И., науч. руководитель Муратов Р. М.</b> (г. Казань)	
Метод защиты информационных ресурсов в автоматизированной системе управления производственным процессом предприятия, его разработка и исследование. . . . .	143

<b>Власова В. И., Чередниченко В. С., науч. руководитель Демина М. Ю.</b> (Санкт-Петербург) Ветряные электростанции как альтернатива использования атомных электростанций. . . . .	152
<b>Редина Л. В., Пастухов А. Ю.</b> (Москва, Санкт-Петербург) Теоретические и практические подходы к получению эффективных теплозащитных и теплоизолирующих материалов. . . . .	157
<b>Ерофеева Н. В., науч. руководитель Симченко О. Л.</b> (г. Ижевск) Автоматизированное формирование ведомости объемов работ с использованием BIM-моделей: основные преимущества. . . . .	162
<b>Новикова М. А., Ковалёв Д. А.</b> (Санкт-Петербург) Обзор сведений о кластерном анализе и программных средствах обработки статистических данных. . . . .	169
<b>Богорадников Д. В., науч. руководитель Ершов К. К.</b> (Санкт-Петербург) Применение регулируемого электропривода в объектах альтернативной энергетики. . . . .	177
<b>Чигрунов Д. Ф., Алмазхан Н. А., науч. руководитель Идиатуллов З. Р.</b> (г. Казань) Разработка системы автоматизированного охлаждения внутри корпусов. . . . .	183
<b>Белова М. Ю., науч. руководитель Назаревич С. А.</b> (Санкт-Петербург) Промышленный дизайн как метод управления рисками в процессах организации производства. . . . .	188
<b>Кадырмятов Ю. Р.</b> (г. Казань) Комплекс мероприятий по эффективной диагностике линий электропередачи. . . . .	194
<b>Герт С. А., науч. руководитель Бахтин А. В.</b> (Санкт-Петербург) Программируемые логические контроллеры на базе продукции ОВЕН. . .	198

<b>Абрамова Ю. Г., Афанасьева В. В., науч. руководитель Гатауллин А. М.</b> (г. Казань)	
Метод частичных разрядов для диагностики высоковольтного электрооборудования на цифровых элегазовых подстанциях. . . . .	203
<b>Михайлов М. А., Черных В. Д., науч. руководитель Лерер А. М.</b> (г. Ростов-на-Дону)	
Программное обеспечение для расчета дифракции электромагнитной волны на графеновом цилиндре на языке программирования C++. . . . .	206
<b>Васюхно Н. С., науч. руководитель Ершов К. К.</b> (Санкт-Петербург)	
Сравнительный анализ датчиков измерения скорости. . . . .	212
<b>Головин А. А., Голубничий К. М.</b> (г. Курск)	
Анализ рынка низковольтной аппаратуры в условиях импортозамещения . . . . .	219
<b>Абреев К. А.</b> (г. Казань)	
Вакуумные и элегазовые выключатели как перспектива развития современной высоковольтной энергетики. . . . .	225
<b>Маткурбанов Т. А., Аллаяров М. Р.</b> (г. Ургенч)	
Измерение производительности фотоэлектрического модуля. . . . .	230
<b>Сабанцев А. В., Ионин М. А., Хохрин А. С.</b> (г. Самара)	
К вопросу обеспечения защиты аппаратуры автоблокировки от воздействия тягового тока на железнодорожном транспорте. . . . .	236
<b>Ковалёв Д. А., Шаряков В. А., Шарякова О. Л.</b> (Санкт-Петербург)	
Экономичное регулирование температуры перегретого пара. . . . .	241
<b>Ионин М. А., Сабанцев А. В., Хохрин А. С.</b> (г. Самара)	
К вопросу о применении заземляющих устройств в хозяйстве автоматики и телемеханики. . . . .	248
<b>Дятлова Е. П., Новикова М. А.</b> (Санкт-Петербург)	
Выбор контроллера для систем вентиляции. . . . .	253



<b>Цепелев М. В., науч. руководитель Соколов В. С.</b> (г. Казань)	
Выбор датчика движения для охранной системы умного дома. . . . .	257
<b>Рубцов К. Д., Чинков П. О., науч. руководитель Колмаков О. В.</b> (г. Красноярск)	
Бестрансформаторное питание вторичной нагрузки с использованием суперконденсаторов. . . . .	261
<b>Лазорин Д. С., науч. руководитель Правиков Д. И.</b> (Москва)	
О подходах к обеспечению информационной безопасности цифровых двойников. . . . .	268
<b>Войтов В. В., Лядский Д. Д., Болотов С. В., Захарченков К. В., Потехин В. В.</b> (г. Могилев, Санкт-Петербург)	
Состав и структура программно-аппаратного комплекса контроля эффективности работы оборудования и идентификации персонала. . . . .	273
<b>Кащеев К. О., науч. руководитель Ершов К. К.</b> (Санкт-Петербург)	
Обзор и анализ современных электродвигателей с постоянными магнитами. . . . .	278
<b>Бельман Д. А., Мольц В. С., науч. руководитель Гаранин А. Е.</b> (г. Красноярск)	
Система диагностики и мониторинга, автоматизация диагностирования и контроля устройств сигнализации, централизации и блокировки (АДК-СЦБ), учебный тренажерный комплекс. . . . .	285
<b>Иванова К. Р.</b> (г. Ставрополь)	
Компонентные особенности реализации численных методов в школе в объективизации и абстракции. . . . .	293
<b>Габдуллин Э. Х., Москаленко П. А., Ковалёв Д. А.</b> (Санкт-Петербург)	
Разработка устройства для проверки датчиков тока. . . . .	301
<b>Подкорытов Д. Д.</b> (г. Тюмень)	
Управление энергетическими подсистемами с помощью встроенных систем . . . . .	305

<b>Ларькина Т. С., Лыготчиков В. В.</b> (г. Смоленск) Онтология проектирования систем индукционного нагрева в бытовой кулинарии, сварке и промышленном плавлении: топология преобразователей и систем управления. . . . .	310
<b>Эйтерник А. Ю., науч. руководитель Богданова Н. В.</b> (г. Казань) Особенности автоматизации процесса поверки технических средств измерений. . . . .	319
<b>Киани Э., науч. руководители Злобин В. Г., Хлыновский А. М.</b> (Санкт-Петербург) Анализ уровня развития мембранных технологий в РФ при эксплуатации водоподготовительных установок на ТЭЦ. . . . .	324
<b>Куданов Е. А.</b> (г. Пермь) Анализ текущего состояния и повышение эффективности разработки на примере месторождения Пермского края. . . . .	332
<b>Лесниченко И. Н., науч. руководитель Мухаметжанов Р. Н.</b> (г. Казань) Возобновляемые источники энергии в Татарстане. . . . .	339
<b>Иванов О. О., науч. руководитель Благодарный Н. С.</b> (Санкт-Петербург) Разработка и моделирование системы скалярного квадратичного управления асинхронным двигателем в MATLAB. . . . .	344
<b>Timofeeva E. A., Golubeva V. A.</b> (Saint Petersburg) Building a mathematical model of trade and economic relations of the BRICS countries. . . . .	350
<b>Savin A. S., Academic Advisor Sidelnikov V. I.</b> (Saint Petersburg) Advantages of condition monitoring systems and their role in predictive maintenance. . . . .	359

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

студент **Козлов Артем Александрович**,  
науч. руководитель: канд. пед. наук, доцент  
**Оробинский Алексей Михайлович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема обеспечения надежного, качественного и энергоэффективного электроснабжения промышленных предприятий в условиях импортозамещения. Обоснована актуальность исследования вопросов применения в системах автономного электроснабжения генераторов с возбуждением от постоянных магнитов. Проведен анализ основных задач по разработке генератора для конкретных условий эксплуатации и путей их решения. Предложена структура перспективной электрогенераторной установки на базе синхронного генератора с постоянными магнитами.

**Ключевые слова:** электроснабжение, импортозамещение, генератор с постоянными магнитами; редкоземельные магниты.

## APPLICATION OF GENERATORS WITH PERMANENT MAGNETS IN SYSTEMS OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY OF INDUSTRIAL FACILITIES

Student **Kozlov Artem Alexandrovich**,  
Academic Advisor: PhD in Pedagogy, Associate Professor  
**Orobinsky Alexey Mikhailovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The article deals with the problem of ensuring reliable, high-quality and energy-efficient power supply to industrial enterprises in the conditions of import substitution. The relevance of the study of the issues of the use of generators with the excitation from permanent magnets in autonomous power supply systems is substantiated. The analysis of the main tasks for the development of a generator for specific operating conditions and ways to solve them is carried out. The structure of a promising electric generator set based on a synchronous generator with permanent magnets is proposed.

**Keywords:** power supply, import substitution, generator with permanent magnets; rare earth magnets.

Сегодня для многих российских промышленных объектов, особенно принадлежащих к I или II категории, остается актуальной проблема обеспечения надежного, качественного и энергоэффективного электроснабжения. Эта проблема усугубляется тем, что на многих предприятиях России применяется импортное электроэнергетическое оборудование, ремонт или замена которого в настоящий момент могут быть невозможными. Решение задачи импортозамещения в сфере электроэнергетики заставляет задуматься о выборе наиболее перспективных элементов систем автономного электроснабжения (САЭ). В этой связи в последние десятилетия достаточно большое внимание уделяется применению в САЭ генераторов с возбуждением от постоянных магнитов. Данный класс генераторов обладает лучшими по сравнению с традиционными дизель-генераторами на базе синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением массоэнергетическими показателями, более простой конструкцией, большим сроком службы, надежностью, способностью работать при высоких частотах вращения в тяжелых условиях эксплуатации. Следовательно, исследование вопроса применения генераторов с постоянными магнитами в САЭ промышленных объектов I и II категории является актуальной научно-технической задачей.

Первые генераторы с постоянными магнитами появились в первой половине XX века. Однако долгое время их применение сдерживалось из-за низких удельных характеристик постоянных магнитов. Совершенно новые показатели имеют генераторы на базе высококоэрцитивных магнитов на основе интерметаллических соединений кобальта с редкоземельными элементами. Эти генераторы появляются в начале XXI века. Особенности параметров редкоземельных магнитов являются очень низкое значение магнитной проницаемости и высокое значение коэрцитивной силы по намагниченности от напряженности магнитного поля [1, с. 54]. При этом попытки использования таких постоянных магнитов в электрических машинах традиционной конструкции не приносят желаемого результата, то есть снижения массогабаритных размеров и увеличения КПД. Для эффективного использования необходима специальная конструкция ротора и статора электрической машины. Кроме того, современные магниты позволяют создавать синхронные генераторы с низкими скоростями вращения вала [2, с. 104].

При разработке генератора с постоянными магнитами для конкретных условий эксплуатации необходимо решить сложные задачи регулирования и стабилизация напряжения. Для этого необходимо осуществить [3, с. 34]:

- выбор и изменение внутренних параметров генератора (параметрическую стабилизацию), применение магнитных шунтов, дополнительное насыщение частей магнитопровода, использование специальных стабилизирующих обмоток, механическое перемещение частей магнитопровода относительно друг друга;

- включение внешних стабилизирующих и регулирующих элементов (конденсаторов и дросселей насыщения);

- включение на выходе генератора полупроводниковых ключей, периодически разрывающих внешнюю цепь генератора или периодически закорачивающих его якорную обмотку;
- комбинированное возбуждение от постоянных магнитов и дополнительных обмоток возбуждения (в этом случае классический магнитоэлектрический генератор перерождается в новый класс электрических машин – генераторы комбинированного возбуждения);
- включение на выходе генератора, стабилизированного по напряжению и частоте полупроводникового статического преобразователя.

Схема электрогенераторной установки на базе синхронного генератора с постоянными магнитами (СГПМ) приведена на рисунке 1. В ее состав, кроме СГПМ, входят входной выпрямитель И1, выходной инвертор И2, выходной фильтр Ф, конденсаторная батарея С и регулятор напряжения РН.

Выходным параметром И1 является постоянное напряжение. Использование накопителя энергии в виде конденсаторов позволяет существенно уменьшить провал напряжения генератора, возникающий при подключении электрической нагрузки. И2 преобразует постоянное напряжение в выходное трехфазное напряжение переменного тока.

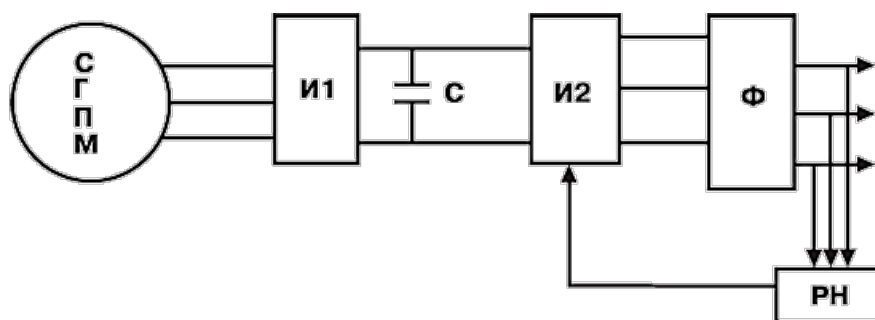


Рисунок 1. Схема электрогенераторной установки с синхронным генератором с постоянными магнитами

Анализ применения подобных генераторов показал, что использование генератора с постоянными магнитами значительно уменьшает вес генератора – почти в два раза [4, с. 121]. На рисунке 2 представлена зависимость веса генераторов от их мощности.

Таким образом, электрические генераторы с постоянными магнитами, обладая достоинствами машин с электровозбуждением, имеют следующие преимущества: высокая надежность; простота конструкции; надежное возбуждение; улучшенные выходные характеристики; малая инерционность при переходных процессах. Использование в синхронных генераторах магнитов с высокими магнитными свойствами на основе NdFeB и SmCo позволяет получить генераторы с лучшими массогабаритными показателями, чем у генераторов с электромагнитным возбуждением [5, с. 233].

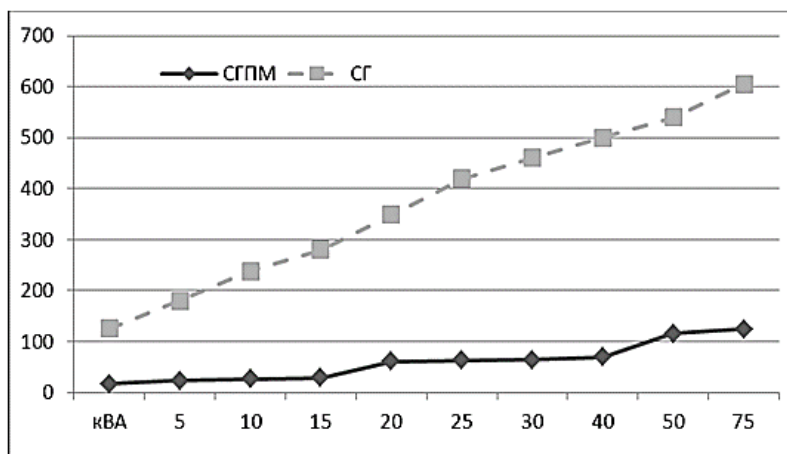


Рисунок 2. Зависимость веса генератора (кг) от его мощности с возбуждением от постоянных магнитов (СГПМ) и электромагнитным возбуждением (СГ)

Генераторы с возбуждением от постоянных магнитов незаменимы при создании автономных систем электроснабжения с использованием ветроэнергетических установок, так как в них отсутствуют скользящие щеточные контакты, недостаточно надежные при вращении, а также нет необходимости в дополнительном источнике питания для возбуждения генератора.

### Список литературы:

1. Тамоян, Г. С. Перспективы применения синхронных генераторов с постоянными магнитами и возвратно-поступательным движением индуктора / Г. С. Тамоян. – М. : Электричество, 2007. – № 11. – С. 54-56. – Текст : непосредственный.
2. Литвинова, В. С. Разработка низкооборотного электрического генератора на неодимовых магнитах для малой ветроэнергетики / В. С. Литвинова. – Текст : непосредственный // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2014. – № 4-2 (50). – С. 103-107.
3. Ситин, Д. А. Магнитные системы синхронных электрических машин с редкоземельными постоянными магнитами и повышенной частотой вращения: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ситин Дмитрий Анатольевич; Московский государственный технический университет «МЭИ». – Москва, 2009. – 145 с. – Текст : непосредственный.
4. Лакутин, Б. В. Нетрадиционные способы производства электроэнергии: учебное пособие / Б. В. Лакутин, М. А. Сурков. – Томск : Изд-во ТПУ, 2018. – 193 с. – Текст : непосредственный.
5. Каримов, Р. Д. Исследование влияния формы постоянных магнитов ротора на индукцию в воздушном зазоре электромеханических преобразователей энергии / Р. Д. Каримов и др. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – Москва, 2015. – № 9. – С. 232-235.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ MES-СИСТЕМ

магистрант **Хроль Екатерина Владимировна**,  
магистрант **Аскарров Родион Романович**,  
канд. экон. наук, доцент **Франциско Ольга Юрьевна**,  
Кубанский государственный аграрный университет,  
г. Краснодар, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе рассмотрены автоматизированные системы управления производством. В результате проведенного анализа выявлены характеристики лучших MES-систем на сегодняшний день.

**Ключевые слова:** программный комплекс, промышленный софт, производственная исполнительная система, ресурсы, интеграция.

## RESEARCH OF MODERN MES SYSTEMS

Master Student **Khrol Ekaterina Vladimirovna**,  
Master Student **Askarov Rodion Romanovich**,  
PhD in Economics, Associate Professor **Francisco Olga Yurievna**,  
Kuban State Agrarian University,  
Krasnodar, Russian Federation

**Abstract.** The paper considers automated production control systems. As a result of the analysis, the characteristics of the best MES systems to date have been identified.

**Keywords:** software package, industrial software, production executive system, resources, integration.

Концепция MES предполагает специальные программные сложные комплексы, предусмотренные с целью постановки вопросов своевременного планирования ресурсов. Одна из основных целей MES – дать технологу инструмент для оперативного управления предприятием.

В российских организациях производства чаще звучит аббревиатура АСОУП, которая представляет собой систему сбора, передачи, обработки и отображения информации о производственных процессах в реальном времени, направленная на обеспечение автоматизации производства. Разработанный стандарт ISA-95 MES предполагает, что система автоматизации производства должна отвечать на следующие вопросы:

- как производить?
- что может быть произведено?
- когда и что производить?
- когда и что было произведено?

Использование систем управления производства в качестве специального промышленного программного обеспечения позволяет значительно повысить фондоотдачу технологического оборудования, тем самым увеличив прибыль предприятия даже при отсутствии дополнительных вложений в производство.

Разработка данных систем стала необходима, когда у ответственных лиц за качество на производстве стали возникать задачи, не решаемые вручную. Автоматизированные системы помогают технологам производства отследить, какие текущие условия на производстве могут быть оптимизированы для повышения производительности производства.

Системы MES требуют интеграции и сбора данных автоматизированных систем управления технологическими процессами, которые используются для контроля и управления оборудованием, используемым в производстве для эффективного функционирования (см. рисунок).



Рисунок. Иерархия использования информационных систем на предприятии

Для выявления некорректных норм на производственном участке технологу требуется проведение хронометража, что часто невозможно из-за износа оборудования. Так, MES позволяет собирать статистику по соблюдению норм. В случае отклонения от технологического процесса ответственному технологу автоматически формируется запрос на исследование причин отклонения. Только при совместном использовании MES и SCADA можно видеть общую картину о состоянии оборудования.

Созданная в Москве ФОБОС применяется на машиностроительных предприятиях крупного и среднего сегмента. Главной задачей определяют внутрицеховое управление и планирование. Для этого используются специальные команды, передаваемые интегрированной ERP-системе.

Разработанная для деревообрабатывающего производства в Орле YSB.Enterprise.Mes показала хорошие результаты и ориентируется на малый и средний бизнес. В систему внедрены разные задачи: формирование портфеля заказов, управление складом, расчет заработной платы.



Программное обеспечение PolyPlan для эффективного оперативно-календарного планирования было создано в Уфе и имеет меньший набор функций, чем предыдущие разработки, но применяется для автоматизированного управления в машиностроении.

Изначально PolyPlan создавалась как рабочий центр для обслуживания ведущих устройств. В процессе работы в систему добавилась возможность составления расписаний перевозки товаров, контроль за работой склада (погрузка-разгрузка), согласование рабочего графика сотрудников. Систему можно применять и для других типов производств на этапе маркетинга.

MES способны поддерживать плановые и организационные составляющие производственных процессов. Так, например, возможно составление детального графика работы с учетом особенностей конкретной организации. При этом обязательно проводится анализ деятельности, формируются необходимые документы: наряды, диаграммы загрузки оборудования, лимитные карты. Следующее достоинство MES-системы – диспетчеризация с учетом разбивки по заказам, серийным номерам продукции, партиям. Также отметим, что в любой момент можно своевременно произвести корректировку, даже при форс-мажорах.

Следовательно, MES-система обеспечивает некие преимущества для повышения доходности, продуктивности и производительности технологических процессов для предприятий. Цены на западное и российское программное обеспечение существенно различаются, что приводит к развитию отечественного софта.

### **Список литературы:**

1. Masko O. N., Gorlenkov D. V. Analysis of the state of automation of material flow control in silicon production // Computing, Telecommunications and Control. 2020. Vol. 13. No. 4. P. 66-77.
2. Краскова, А. А. Оценка финансовых рисков аграрного предприятия по данным отчетности / А. А. Краскова, С. С. Затонская, И. В. Затонская. – Текст : непосредственный // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 113.
3. Лепеш, Г. В. Цифровая трансформация промышленного сектора экономики / Г. В. Лепеш – Текст : непосредственный // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2022. – № 2 (60). – С. 3-15.
4. Стародубцева, Е. Д. Современные подходы к применению концепции "качество 4.0" на предприятиях / Е. Д. Стародубцева – Текст : непосредственный // Петербургский экономический журнал. – 2020. – № 4. – С. 56-64.

© Хроль Е. В., Аскарлов Р. Р., Франциско О. Ю., 2022

## ОПТИМАЛЬНЫЙ КАЖУЩИЙСЯ УРОВЕНЬ ЗАПОЛНЕНИЯ КИПЯТИЛЬНЫХ ТРУБ ВЫПАРНЫХ АППАРАТОВ – НАДЕЖНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ РАБОТЫ

доктор техн. наук, профессор **Сулов Вячеслав Александрович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассмотрен простой и надежный способ контроля эффективности процессов теплообмена и гидродинамики при кипении восходящей двухфазной смеси в трубах выпарных аппаратов целлюлозно-бумажного производства (ЦБП).

**Ключевые слова:** выпарные аппараты, теплоотдача, кипение растворов в условиях восходящей двухфазной смеси, кажущийся уровень, скорость циркуляции.

## OPTIMAL APPARENT FILL LEVEL BOILING PIPES OF EVAPORATORS – A RELIABLE INDICATOR OF THE EFFICIENCY OF THEIR WORK

Doctor of Technical Sciences, Professor **Suslov Vyacheslav Alexandrovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** A simple and reliable method for monitoring the efficiency of heat exchange and hydrodynamics processes during boiling of an ascending two-phase mixture in the pipes of evaporators of pulp and paper industry (PPI) is considered.

**Keywords:** evaporators, heat transfer, boiling of solutions under conditions of an ascending two-phase mixture, apparent level, circulation rate.

Процессы выпаривания получили широкое применение во многих отраслях промышленности. При производстве целлюлозы в схеме оборота химикатов выпарная станция (ВС) является одним из важных звеньев, надежная работа которого лежит в основе производственного цикла. ВС оснащены приборами теплового контроля и средствами автоматизации с весьма сложной схемой регулирования параметров и режимов работы.

Интенсивность теплообмена работающего выпарного аппарата (ВА) определяется значениями основных его режимных параметров: тепловой нагрузки, скорости циркуляции, концентрации раствора и его недогрева до состояния насыщения. Эта зависимость проявляется через механизм формирования и перераспределения по высоте кипящих труб ВА зон с типовыми режимами кипения. Характеристикой перераспределения этих зон

является кажущийся уровень заполнения трубы, наиболее просто измеряемый по показаниям водомерного стекла при установке его на ВА. При этом значения показаний водомерного стекла будут являться функцией всех указанных режимных параметров процесса.

Величина пьезометрического уровня ВА, характеризующая интенсивность его режимов работы определяется уравнением:

$$L_{ур} = \frac{L_{эк} \cdot \rho' + (L_{тр} - L_{эк}) \rho_{см} + \sum \Delta P}{\rho'}$$

где  $L_{ур}$  – длина пьезометрического уровня;

$L_{тр}$  – длина кипяtilьной трубы;

$L_{эк}$  – длина экономайзерного участка трубы;

$\rho'$  – плотность раствора;

$\rho_{см}$  – плотность смеси;

$\sum \Delta P$  – потери напора при движении парорастворной смеси.

Проведенные опыты при кипении в трубе воды и растворов показывают [1], что, устанавливая определенные соотношения между количествами теплоты и раствора, подаваемых в аппарат, можно добиться высоких коэффициентов теплоотдачи, в том числе и в ВА, выпаривающих раствор высокой концентрации. При определенной совокупности величин режимных параметров значения длин экономайзерного участка и зоны ухудшенной теплоотдачи в кипяtilьной трубе принимают минимальные величины, что обеспечивает высокие усредненные по поверхности трубы коэффициенты теплоотдачи.

Пьезометрический уровень, при котором достигается максимальное значение среднего по длине трубы коэффициента теплоотдачи, называют оптимальным кажущимся уровнем,  $L_{ур}^{opt}$ .

Максимальное значение коэффициента теплоотдачи при кипении растворов одних и тех же концентраций и постоянных тепловых нагрузках, усредненное по поверхности кипяtilьной трубы однопроходного ВА, определяется оптимальной скоростью циркуляции раствора  $w_{opt}$ .

Оптимальный режим при  $\alpha_{max}$  достигается при одновременном возрастании плотности теплового потока и увеличении скорости циркуляции раствора (рисунок 1; рисунок 2). При этом, как видно на рисунке 3, в случае достижения критических тепловых нагрузок повышение скорости циркуляции раствора приводит к снижению темпа уменьшения  $\alpha$ .

Результаты проведенных исследований [2] показывают, что при малых скоростях циркуляции, характерных для ВА ЦБК, выпаривающих пенные растворы, основное влияние на интенсивность теплообмена оказывает тепловая нагрузка. Ее влияние на участке пузырькового кипения недогретого до насыщения раствора особенно значительно.

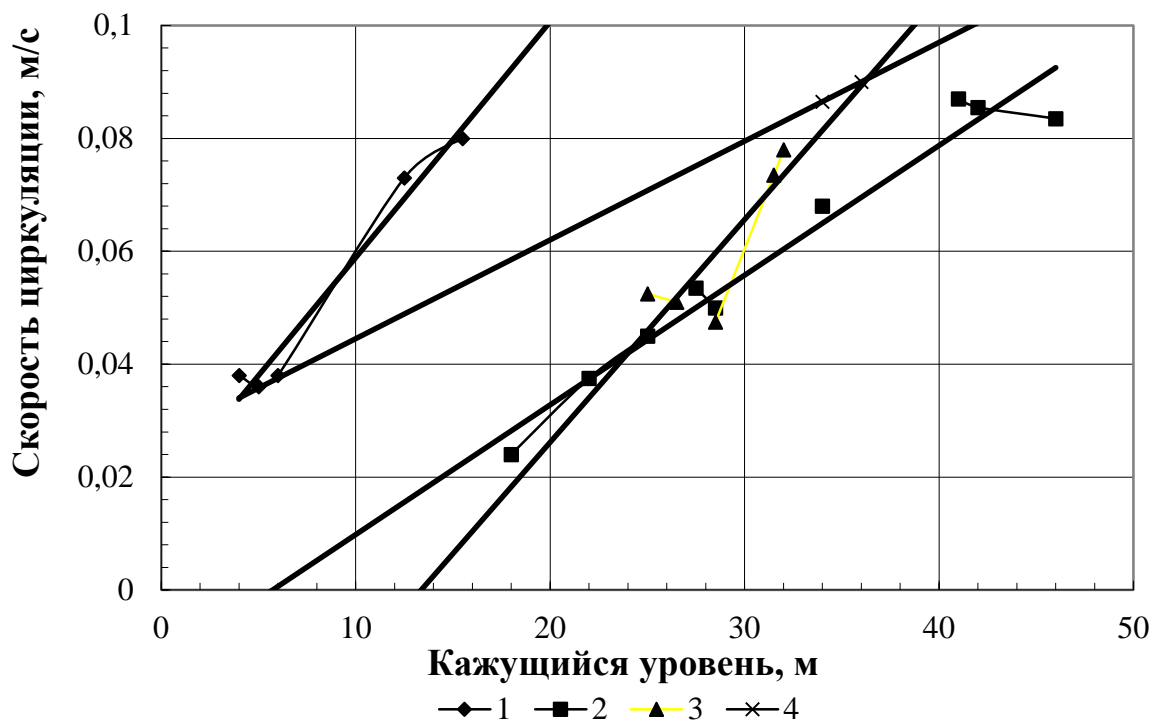


Рисунок 1. Зависимость кажущегося уровня от скорости циркуляции раствора:  
 1 –  $q = 10 \text{ кВт/м}^2$ ; 2 –  $q = 30$ ; 3 –  $q = 60$ ; 4 –  $q = 90$ ;  $b = 30\%$  а.с.в.

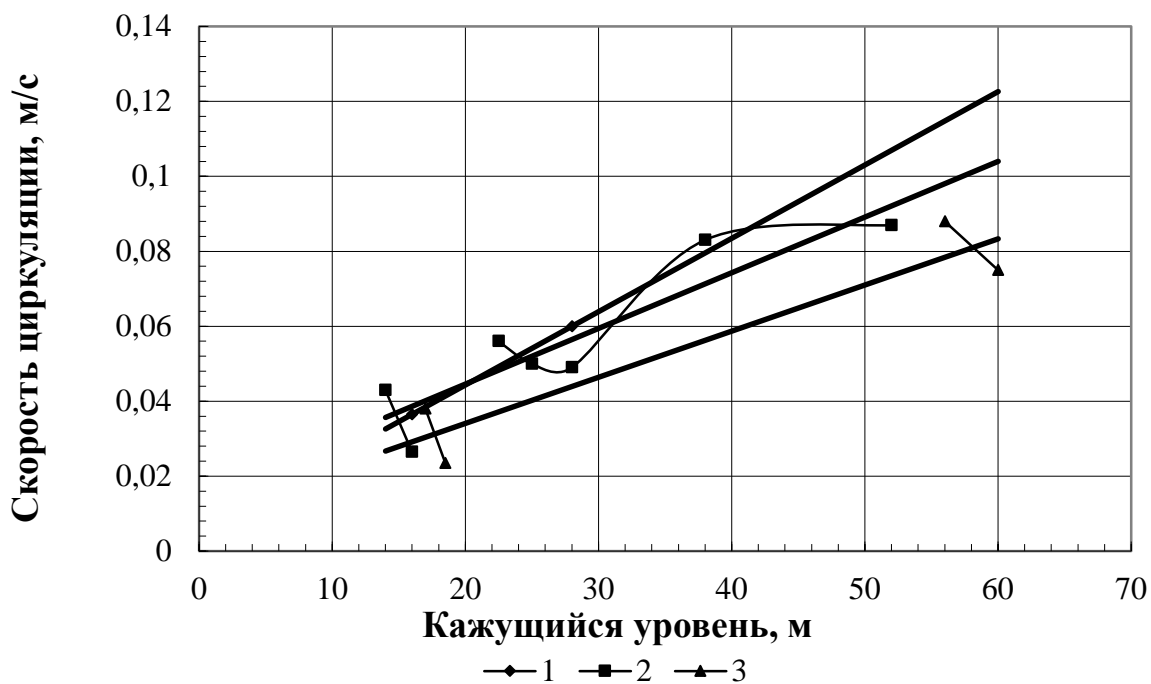


Рисунок 2. Зависимость кажущегося уровня от скорости циркуляции раствора:  
 1 –  $q = 10 \text{ кВт/м}^2$ ; 2 –  $q = 30$ ; 3 –  $q = 60$ ;  $b = 40\%$  а.с.в.

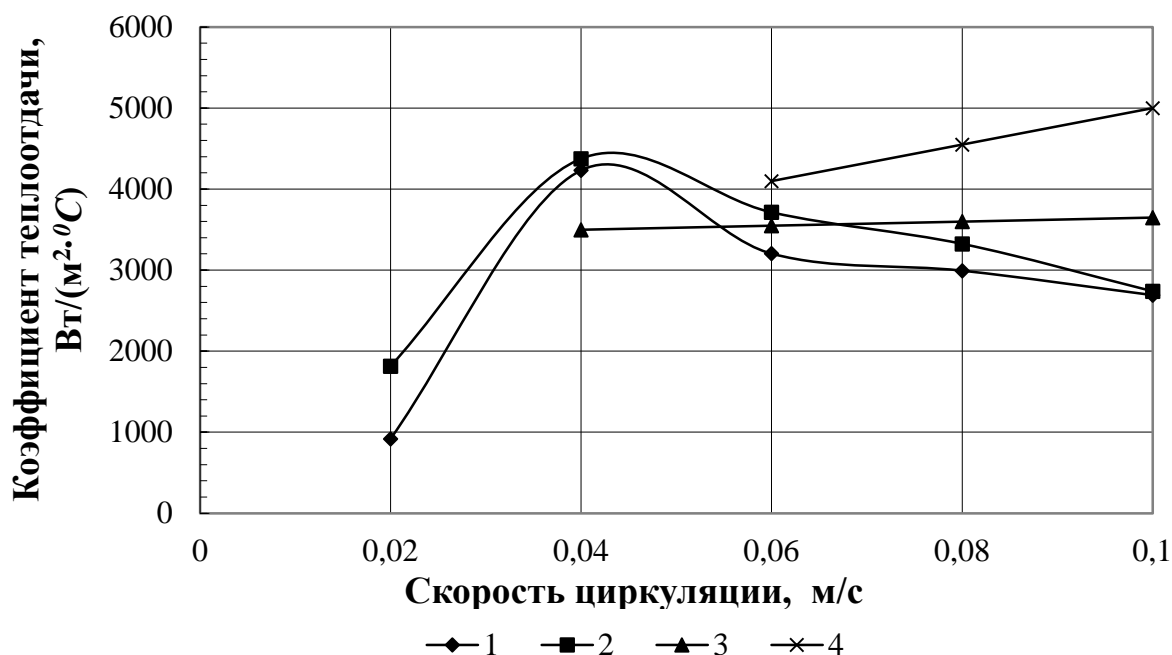


Рисунок 3. Влияние скорости циркуляции раствора и тепловой нагрузки  $q$  на интенсивность теплоотдачи:

1 –  $q = 10$  кВт/м<sup>2</sup>; 2 –  $q = 30$ ; 3 –  $q = 60$ ; 4 –  $q = 90$ ;  $b = 40$  % а.с.в.

С увеличением концентрации раствора это влияние уменьшается и усиливается влияние скорости. При достижении кажущегося уровня более 35 % и дальнейшем его увеличении при концентрации раствора  $b \leq 30$  % наблюдалось снижение интенсивности теплообмена (рисунок 4).

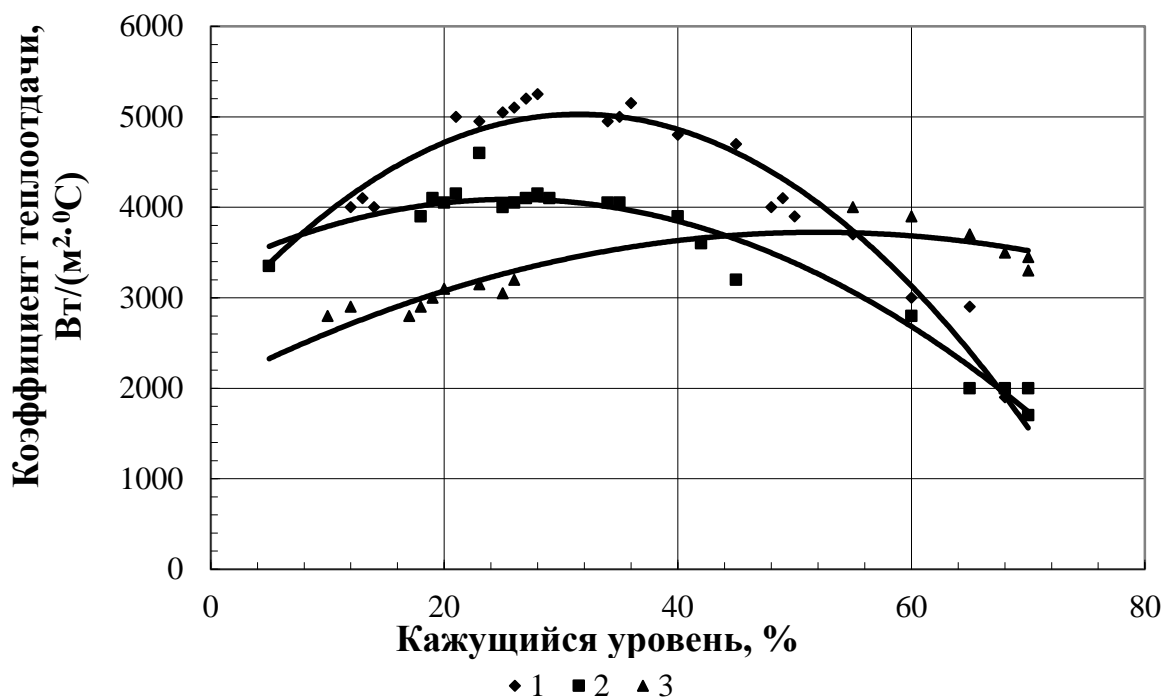


Рисунок 4. Зависимость интенсивности теплообмена при выпаривании от кажущегося уровня: 1 –  $q = 10$  кВт/м<sup>2</sup>; 2 –  $q = 30$ ; 3 –  $q = 60$ ;  $b = 30$  % а.с.в.

Оптимальный кажущийся уровень заполнения кипяtilьной трубы для всех режимов работы ВА при данной концентрации раствора составляет порядка 30–35 %. Для концентрации щелока менее 30 % (рисунок 5).

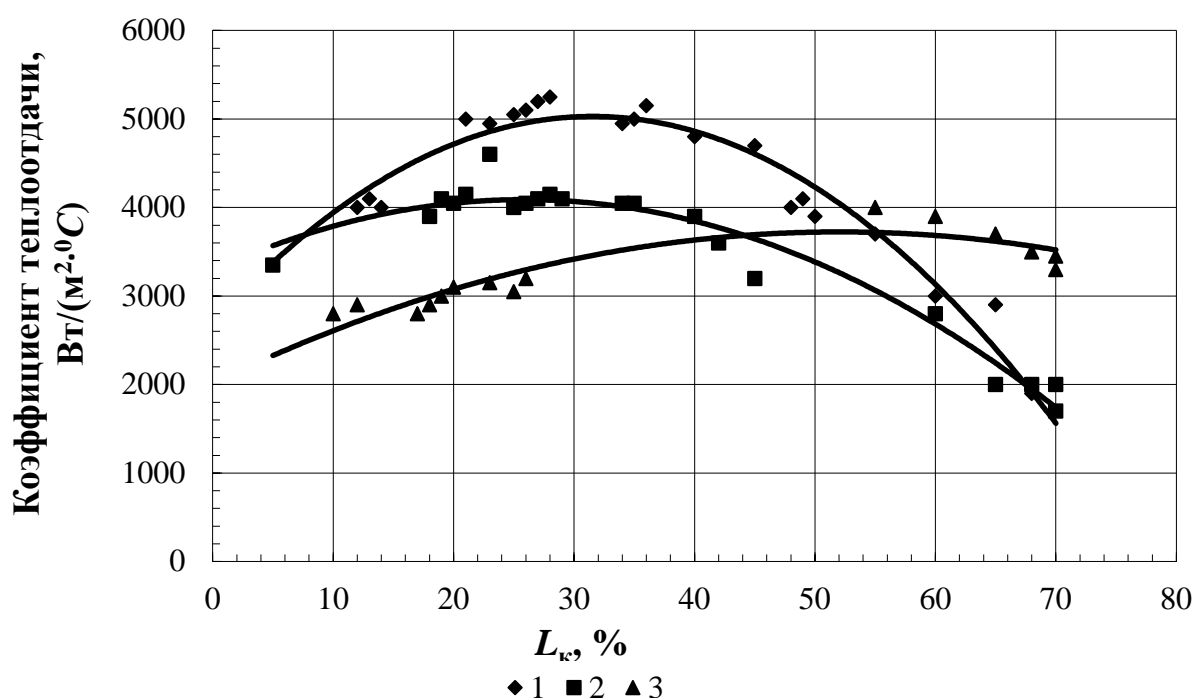


Рисунок 5. Изменение среднего коэффициента теплоотдачи в зависимости от кажущегося уровня заполнения кипяtilьной трубы щелоком концентрацией: 1 – 20 % а.с.в.; 2 – 30 %; 3 – 40 %

Оптимальными являются уровни, составляющие 20–40 % высоты трубы, а для щелоков более высокой концентрации – уровни порядка 50–70 %.

Таким образом, в ВА, выпаривающих щелока высокой концентрации, следует поддерживать повышенный кажущийся уровень. При этом наряду с удовлетворительной теплоотдачей происходит меньшее загрязнение труб.

Из рисунка 5 следует также, что в зависимости от  $L_k$  для плотных щелоков значение  $\alpha$  быть выше, чем для средних и слабых. Этот факт указывает на более сильную зависимость теплоотдачи от гидродинамики процесса кипения, чем от плотности щелока.

Представленные опытные данные показывают значительную зависимость теплоотдачи от скорости циркуляции раствора, его концентрации и плотности теплового потока. Особенно резкое падение  $\alpha$  при незначительном отклонении  $w_0$  от оптимальной скорости наблюдается при низких плотностях тепловых потоков для концентрированных растворов [3]. Поэтому нахождение значений параметров, определяющих оптимальные режимы и получение аналитической зависимости  $\alpha$  от рабочих режимных параметров, имеет актуальное значение для разработки методики расчета и ведения процесса выпаривания в производственных условиях с переменными  $q$  и  $b$ .

При эксплуатации ВА, работающих в режиме гравитационно стекающего раствора, течение пленки по всей поверхности испарения без образования сухих пятен возможно только при условии, если  $\Gamma > \Gamma_{\text{мин}}$ . Под  $\Gamma_{\text{мин}}$  понимается минимальная плотность орошения, при наличии которой вся поверхность орошения остается покрытой сплошной пленкой.

При  $\Gamma < \Gamma_{\text{мин}}$  возможны разрывы пленки и появление сухих пятен при нарушении условий взаимодействия динамических сил и сил поверхностного натяжения. Для восстановления сплошной пленки после появления сухого пятна необходима более высокая плотность орошения, чем  $\Gamma_{\text{мин}}$ , определяемая уравнением  $\alpha = A \cdot q - 0,15\Gamma - 0,17P - 0,33$  [4; 5], где  $A$  – экспериментально определяемая константа.

### **Список литературы:**

1. Суслов, В. А., Рижинашвили, Г. В. Оптимальные скорости подачи щелока в трубы выпарных аппаратов сульфат целлюлозного производства: «Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС»: межвуз. сб. научн. тр. СПТИ ЦБП / В. А. Суслов, Г. В. Рижинашвили. – СПб., 1992. – С. 19-21. – Текст : непосредственный.
2. Суслов, В. А. Повышение эффективности выпаривания отработанных варочных растворов целлюлозного производства: автореферат дис. ... доктора технических наук / Суслов Вячеслав Александрович. – СПб., 2006. – Текст : непосредственный.
3. Готовский, М. А. Тепломассообмен в технологических установках / М. А. Готовский, В. А. Суслов. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 420 с. – Текст : непосредственный.
4. Бойков, В. Ю. Теплообмен при выпаривании в стекающей пленке черного щелока сульфат-целлюлозного производства: автореферат дис. ... кандидата технических наук / Бойков Вячеслав Юрьевич; СПГТУРП. – СПб., 1999. – Текст : непосредственный.
5. Ардашев, В. А. Исследование теплообмена при выпаривании гравитационно стекающей пленки жидкости в вертикальных трубах: автореферат дис. ... кандидата технических наук / Ардашев Виктор Алексеевич; КПИ. – Киев, 1983. – Текст : непосредственный.

© Суслов В. А., 2022

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ПУТИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ АЭРОДРОМНОГО БАЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ**

студент **Нурлыбаев Мадияр Аскарлович**,  
студент **Алмазхан Нурбек Алмазханулы**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Идиатуллоев Заур Рафикович**,  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А. Н. Туполева,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматривается применение алгоритмов поиска пути для беспилотных летательных аппаратов аэродромного базирования. Проведено сравнение нескольких алгоритмов нахождения пути: «Волновой алгоритм Ли», алгоритм «Дейкстры» и «A Star» алгоритм. В заключении была разработана концепция управления с помощью одного общего узла с использованием алгоритма поиска пути «A Star». Данная статья будет полезна тем, кто интересуется использованием беспилотных летательных аппаратов в гражданской авиации и робототехникой в целом.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, навигация, робототехника, предотвращение столкновения, алгоритм поиска.

## **APPLICATION OF PATH FINDING ALGORITHMS FOR CONTROL OF AIRFIELD-BASED UNMANNED AIRCRAFT FOR COLLISION PREVENTION**

Student **Nurlybayev Madiar Askarovich**,  
Student **Almazkhan Nurbek Almazkhanuly**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Idiatullov Zaur Rafikovich**,  
Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** The application of path finding algorithms for airfield-based unmanned aerial vehicles is researched. Several path finding algorithms have been compared, such as the Lee Algorithm, the Dijkstra's Algorithm, and the A Star Algorithm. In conclusion, the concept of control was proposed using one common node with the A Star path finding algorithm. This article will be useful for people interested in the use of unmanned aircrafts in civil aviation.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, navigation, robotics, collision avoidance, search algorithm.



## 1. Введение

Необходимо расширить использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в гражданской сфере услуг и повседневной жизни граждан. На данный момент реального эффективного применения достигли только доставки посылок малого веса внутри городов с помощью квадрокоптеров.

Использование БПЛА в сфере доставки грузов на большие расстояния финансово выгодно и вероятно имеет материальное воплощение в будущем. В сфере грузоперевозок необходимо создать сложную логистическую систему с бесконтрольной доставкой грузов и с минимальными задержками [1].

Предполагается, что аэродром занимается только сервисным обслуживанием и логистикой БПЛА, сконструированными абсолютно разными производителями.

Для создания маршрута необходимо выбрать алгоритм поиска маршрута. Это намного выгоднее, чем использовать стандартизированные аэродромы с жесткой логикой навигации. Алгоритм позволит использовать данную систему на любых аэродромах с разной логистикой и строением, формой рулежных дорожек, стоянок и с разным количеством взлетно-посадочных полос, которые могут существовать из-за разницы в законодательстве и стандартах, предусмотренных в стране реализации данного проекта, либо будут задействованы уже существующие аэродромы [2].

## 2. Алгоритм поиска маршрута

На основе всего изложенного можно составить список задач для алгоритма:

- разделять летательные аппараты по приоритету;
- создавать маршруты для летательных аппаратов;
- предотвращать столкновения при пересечении маршрутов.

Для удовлетворения задач алгоритма будет применен алгоритм поиска пути «A Star». Алгоритм благодаря эвристической функции имеет большую популярность за простоту применения и оптимального нахождения. Если это достижимо «A Star», то алгоритм всегда выполняет поставленную задачу. В отличие от других алгоритмов, например, «Волновой алгоритм Ли» и алгоритм «Дейкстры», «A Star» алгоритм потребляет меньший объем памяти из-за эвристического показателя стоимости пути. После оценивания стоимости пути с соседними вершинами алгоритм проводит оценку пути до конечной вершины [3].

$$F(x) = G(x) + H(x),$$

где:  $F(x)$  – функция, оценивающая минимальную стоимость перехода от вершины к вершине;

$G(x)$  – стоимость пути от первоначальной вершины и до любой другой;

$H(x)$  – эвристический показатель стоимости пути от вершины «х» и до конечной вершины [4].

### 3. Пример применения алгоритма

На первых этапах после посадки на ВПП система получит управление линейной скоростью и данные о беспилотнике. Эти данные могут быть получены как перед выполнением посадки, так и после. Затем с помощью гироскопа и датчиков настраивается ориентация и расположение на ВПП, так как после приземления расположение беспилотника на полосе предсказать невозможно, и без этого не получится воспользоваться алгоритмом поиска. После того как БПЛА будет установлен согласно координатам системы, с помощью алгоритма поиска «A Star» строится путь. Далее проводится анализ маршрута, чтобы предотвратить вероятное столкновение. Наложив пути других БПЛА с высшим приоритетом, можно найти зоны столкновения, а проанализировав их скорости и время, можно предсказать, в какие промежутки времени зона будет занимать разными БПЛА.

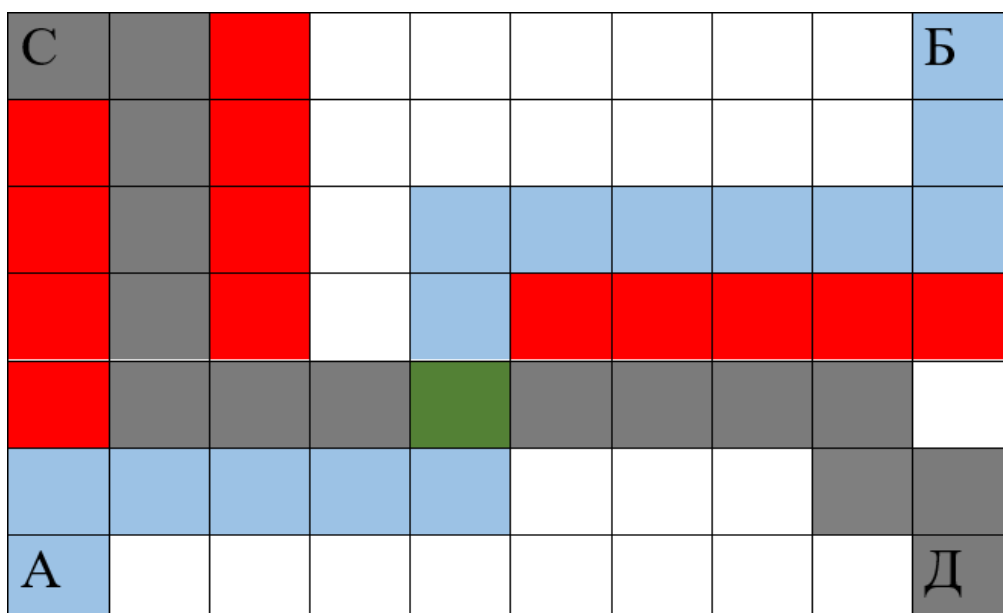


Рисунок. Пример работы алгоритма пути:

красные зоны – запрещенные зоны; синие зоны – маршрут БПЛА; черные зоны – маршрут БПЛА приоритетом выше; зеленая зона – зона возможного столкновения [5]

Заключительным этапом будет передача последовательных данных скоростей для БПЛА, основанных на результатах прошлых этапов. Если же конечной точкой для БПЛА окажется ВПП, то после достижения назначенной точки аэродром больше не несет ответственность за БПЛА.

### 4. Заключение

Были рассмотрены алгоритмы и выбран «A Star» алгоритма за оптимальность. Алгоритм можно реализовать модификациями «A Star» алгоритма, так как он имеет большое количество модификации, например, «D

Star» алгоритм, способный оптимизировать и провести маршрут диагонально. Также необходимо провести симуляции и рассчитать экономические показатели, что не являлось целью работы. Данная статья будет полезна тем, кто интересуется использованием БПЛА в гражданской авиации.

### **Список литературы:**

1. Иванова, И. А. Способы организации управления беспилотными летательными аппаратами / И. А. Иванова, В. В. Никонов, А. А. Царева. – М. : Московский государственный университет приборостроения и информатика, 2014 г. – 8 с. – Текст : непосредственный.
2. Актуальные аспекты разработки системы управления перспективными беспилотными летательными аппаратами: [сайт]. – 2015. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-aspekty-razrabotki-sistemy-upravleniya-perspektivnymi-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami> (дата обращения: 09.11.2022). – Текст : электронный.
3. Сравнительный анализ алгоритмов поиска оптимального пути: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-algoritmov-poiska-optimalnogo-puti> (дата обращения: 12.11.2022). – Текст : электронный.
4. A\*Search Algorithm. 2014. URL: <https://iq.opengenus.org/a-search> (дата обращения: 10.11.2022).
5. Dijkstra's Algorithm vs. A\*Search vs. Concurrent Dijkstra's Algorithm. 2013. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=cSxnOm5aceA> (дата обращения: 12.11.2022).

© Нурлыбаев М. А., Алмазхан Н. А., 2022

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

студент **Ширяев Александр Дмитриевич**,  
науч. руководитель: ассистент **Морозов Григорий Алексеевич**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Потребность Санкт-Петербурга в электрической энергии покрывается преимущественно традиционными источниками энергии. Для диверсификации энергетической системы города предлагается развитие альтернативной энергетики, в частности, ветряной энергетики. В данной статье проведено исследование природных особенностей и метеорологических данных Санкт-Петербурга, на основании которого выбрана наиболее подходящая территория для строительства ветряного парка, а также произведен технико-экономический расчет ветроэнергетической установки (ВЭУ) L100 2,5 МВт (производство отечественной компании «НоваВинд») для оценки экономической целесообразности развития данного направления в энергетике города.

**Ключевые слова:** альтернативная энергетика, ветроэнергетическая установка (ВЭУ), технико-экономический расчет ВЭУ, энергетика Санкт-Петербурга.

## EVALUATION OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF WIND POWER PLANTS IN THE TERRITORY OF SAINT PETERSBURG

Student **Shiryayev Alexander Dmitrievich**,  
Academic Advisor: Assistant **Morozov Grigory Alekseevich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The demand of St. Petersburg for electric energy is covered mainly by traditional energy sources. To diversify the energy system of the city, the development of alternative energy, in particular wind energy, is proposed. This article examines the natural features and meteorological data of St. Petersburg, on the basis of which the most suitable territory for the construction of a wind park was selected, and a technical and economic calculation of the wind power plant (WPP) L100 2.5 MW, produced by the domestic company "NovaVind", was made to assess the economic feasibility of the development of this direction in the energy sector of the city.

**Keywords:** alternative energy, wind power plant (WPP), technical and economic calculation of WPP, power engineering of St. Petersburg.

По данным meteoblue, в Санкт-Петербурге наиболее сильные ветра наблюдаются в Финском заливе и на его побережье, поэтому целесообразно строительство оффшорного ветряного парка на Невской губе Финского залива. В соответствии с рисунком 1 средняя годовая скорость для местности с координатами 59.94°С 29.98°В (рисунок 2) на высоте 10 метров находится в диапазоне от 3 м/с до 7 м/с, а на высоте 100 метров скорость достигает 4,8-8,8 м/с [1].

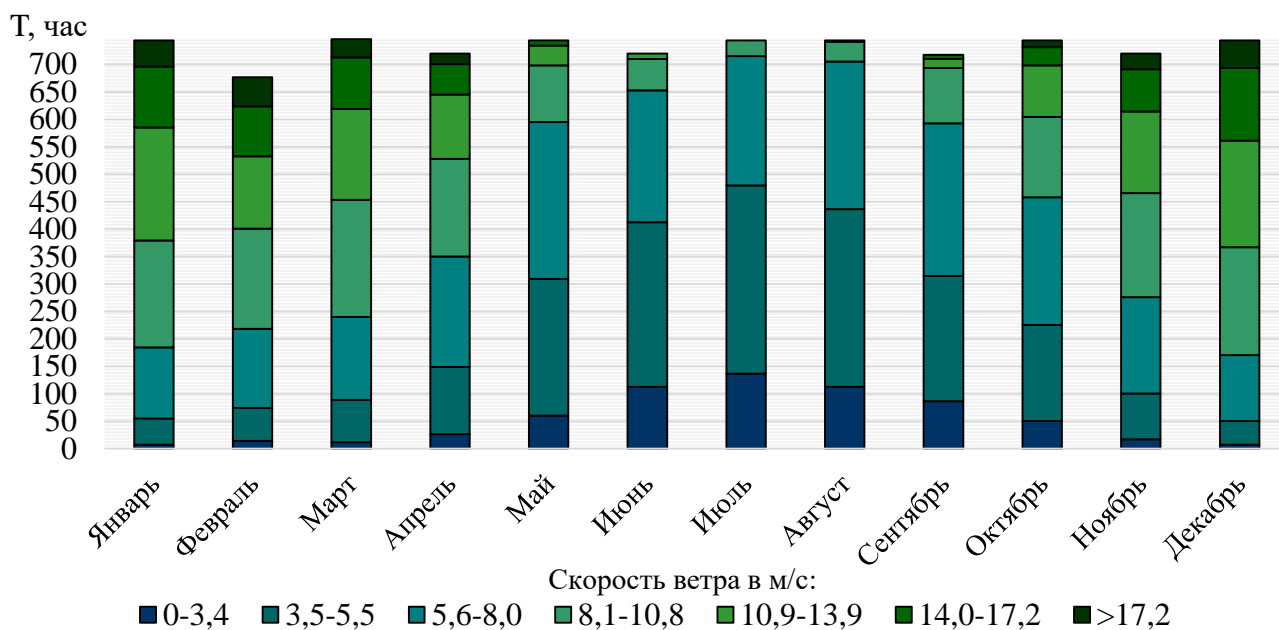


Рисунок 1. Скорость ветра на Невской губе Финского залива

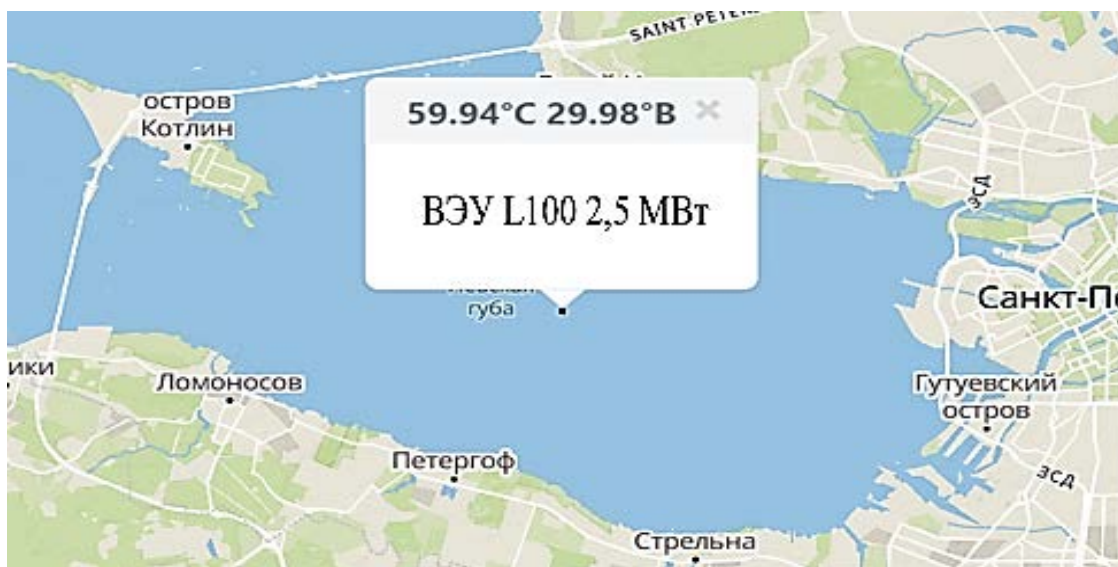


Рисунок 2. Расположение ВЭУ на Невской губе Финского залива

Глубина Невской губы Финского залива достигает от 1,8 м до 4,2 м, средняя глубина – 3 м [2]. Это является хорошим фактором, так как упрощает строительство фундамента для оффшорных ветряных турбин и снижает их стоимость. Согласно СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология» абсолютная минимальная температура воздуха Санкт-Петербурга составляет -36°С, средняя годовая температура +4,3°С [3]. На данный момент существуют технологии, позволяющие работать ветряным турбинам при тридцатиградусных морозах, которые широко используются, например, в Канаде. К ним относятся системы подогрева лопастей и нанесение специальных покрытий, которые препятствуют образованию ледяных корок. В крайнем случае ветрогенераторы либо переводят на «падающий» режим, и снижается количество вырабатываемой электроэнергии, либо полностью останавливают турбину.

Для оценки эффективности работы ветряной энергетики на территории Санкт-Петербурга в качестве примера используем ветроустановку L100 2,5 МВт (производство отечественной компании «НоваВинд») с характеристиками, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики ВЭУ L100 2,5 МВт [4]

Привод	Прямой привод (без редуктора)
Высота башни	75/99/135 м
Длина лопастей	50 м
Диаметр ветроколеса	100 м
Габариты гондолы	4,89×3,55×3,64 м
Масса гондолы (без генератора)	18 тонн
Масса ступицы	20 тонн
Масса генератора	52 тонн
Масса башни	200 тонн
Минимальная скорость ветра	2,5 м/с
Номинальная скорость ветра	10,8 м/с
Максимальная скорость ветра	25 м/с
Башня	Секционная модульная башня

Ветряная турбина состоит из 4 основных элементов: фундамент, башня, гондола и ротор с лопастями. Башня ВЭУ L100 2,5 МВт состоит из гнутых листовых сегментов с длиной 10-12 м, что позволяет их перевозить на грузовых автомобилях и собирать на месте установки. Внутри гондолы находятся только необходимые узлы, что позволяет уменьшить массу установки, а также гондола оснащена внутренним сервисным краном.

В ветряных турбинах L100 2,5 МВт устанавливается прямоприводный многополюсный синхронный генератор с пассивным охлаждением. Турбина охлаждается естественным потоком воздуха вокруг статора. Ротор имеет три лопасти, каждая из которых индивидуально устанавливает необходимый угол

поворота для регулирования скорости вращения. А сами лопасти изготовлены из стекловолокна, армированного эпоксидной смолой. Кроме ветроэнергетической установки (ВЭУ) на ветряных станциях устанавливаются силовые преобразователи тока и частоты, трансформаторы, линии электропередач и связи, метеорологические станции, а также возможно применение аккумуляторов электроэнергии.

Объем инвестиций в строительство ветряного парка с использованием ВЭУ L100 2,5 МВт ориентировочно составляет 130-150 млн рублей на 1 МВт установленной мощности ветроэлектростанции или 330-390 млн рублей на одну ВЭУ L100 2,5 МВт. Приведенные данные получены из действующих проектов АО «НоваВинд», в стоимость включены затраты на строительство подъездных путей и расчистка территории, строительство основных сооружений для работы ветряной электростанции, изготовление ветрогенераторов и необходимого оборудования, заливка фундамента, доставка и сборка ветроэнергетической установки, монтаж линий электропередач и оптоволоконной связи, испытание и ввод в эксплуатацию.

Технико-экономический расчет ВЭУ производился по месяцам и по диапазонам скоростей (согласно рисунку 1).

1) Площадь, ометаемая ветроколесом [5]:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 100^2}{4} = 7850 \text{ м}^2,$$

где D – диаметр ветроколеса, м.

2) Мощность, вырабатываемая ветроустановкой при скорости ветра 1,8-5,2 м/с:

$$P_i = \rho \cdot \frac{A}{2} \cdot v_{\text{ср}}^3 \cdot \varepsilon \cdot \eta,$$

$$P_1 = 1,216 \cdot \frac{7850}{2} \cdot 3,5^3 \cdot 0,42 \cdot 0,8 = 68757 \text{ Вт} = 68,757 \text{ кВт},$$

где  $\rho$  – плотность воздуха на высоте 100 м, кг/м<sup>3</sup>;

A – площадь, ометаемая ветроколесом, м<sup>2</sup>;

$\varepsilon$  – коэффициент использования энергии ветра;

$\eta$  – коэффициент, учитывающий потери при передаче мощности от вала ветроколеса до рабочей машины;

$v_{\text{ср}}$  – средняя скорость ветра, которая определяется:

$$v_{\text{ср}} = \frac{(v_1 + \omega) + (v_2 + \omega)}{2},$$

$$v_{\text{ср}} = \frac{(0 + 1,8) + (3,4 + 1,8)}{2} = 3,5 \text{ м/с},$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – минимальная и максимальная скорость ветра в диапазоне на высоте 10 м (берется из рисунка 1), м/с;

$\omega$  – поправка на увеличение скорости ветра при увеличении высоты до 100 м, м/с.

Аналогичным образом рассчитывается мощность, вырабатываемая ветроустановкой при различных диапазонах скоростей ветра. Данные заносятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета зависимости мощности ветроэнергетической установки от скорости ветра

$v, \text{ м/с}$	1,8-5,2	5,3-7,3	7,4-9,8	9,9-12,6	12,7-15,7	15,8-19,0	>19,0
$v_{\text{ср}}, \text{ м/с}$	3,5	6,3	8,6	11,25	14,2	17,4	19,0
$P_i, \text{ кВт}$	68,76	400,99	1020,02	2283,34	4591,74	8448,12	10999,51

3) Средняя годовая мощность ветроэнергетической установки:

$$P = \frac{\sum P_i}{7} = \frac{68,76+400,99+1020,02+2283,34+4591,74+8448,12+10999,51}{7} = 3973 \text{ кВт.}$$

4) Выработка электроэнергии за счет ВЭУ за январь при скорости ветра 1,8-5,2 м/с:

$$W = P_i \cdot T = 68,757 \cdot 7,2 = 495 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $T$  – время работы ветроустановки в месяц (берется из рисунка 1), ч.

Аналогичным образом рассчитывается выработка электроэнергии ветроэнергетической установкой для каждого месяца в году в зависимости от скорости ветра. Результаты расчета представлены в виде графика (рисунок 3).

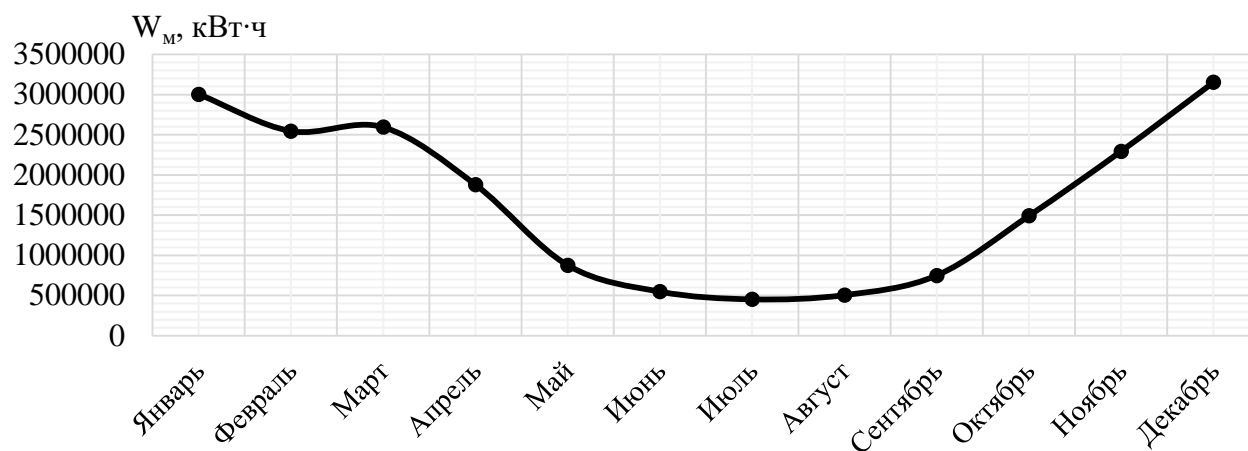


Рисунок 3. Количество вырабатываемой электроэнергии ВЭУ по месяцам



5) Годовая выработка электроэнергии ВЭУ:

$$W_{\Gamma} = \sum W_{\text{M}} = 3004202 + 2545766 + 2594289 + 1879569 + 877577 + 548459 + 452695 + 505078 + 749469 + 1491099 + 2295320 + 3151742 = 20095265 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 20095 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

б) Срок окупаемости ветроэнергетической установки [6]:

$$T = \frac{Ц + И_0 + И_p}{W_{\Gamma} \cdot C_{\text{кВт}\cdot\text{ч}}} = \frac{360000000 + 360000000 \cdot 0,2}{20095265 \cdot 4} = 5,4 \text{ лет},$$

где  $W_{\Gamma}$  – годовая выработка электроэнергии, кВт · ч;

$Ц$  – цена реализации ВЭУ, руб.;

$И_0$  – издержки на обслуживание ВЭУ, которые составляют не более 20 % от  $Ц$  за весь срок эксплуатации ВЭУ, руб.;

$C_{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$  – стоимость 1 кВт · часа электрической энергии в Санкт-Петербурге, руб./кВт · ч;

$И_p$  – издержки на ремонт ВЭУ, руб.

Издержки на ремонт ветроэнергетической установки проявляются с той или иной долей вероятности. На практике при эксплуатации ВЭУ известных производителей они практически равны нулю.

7) Себестоимость 1 кВт · часа электрической энергии, вырабатываемой ВЭУ:

$$S = \frac{Ц}{W_{\Gamma}} = \frac{360000000}{20095265} = 17,91 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $W_{\Gamma}$  – годовая выработка электроэнергии, кВт · ч;

$Ц$  – цена реализации ВЭУ, руб.

На основании вышеизложенных расчетов можно сделать вывод, что применение ветроэнергетических установок с экономической точки зрения в Санкт-Петербурге, а именно на Невской губе Финского залива, является возможным в качестве дополнительного источника электроэнергии. Конечно, стоимость 1 кВт · часа электрической энергии, вырабатываемой ВЭУ ( $S = 17,91$  руб./кВт · ч), в сравнении со стоимостью на ТЭЦ ( $S = 1,94$  руб./кВт · ч) в 9 раз больше, однако при увеличении стоимости ископаемого топлива ситуация может измениться, и ветряная энергетика сможет стать экономически наиболее выгодной традиционной [6]. Впрочем, необходимо обратить внимание на периодичность работы ветроэнергетических установок, в зимний период будет наблюдаться нарастание мощности, а в летний – снижение в 5-6 раз, что приводит к необходимости применения резервных источников энергии.

### **Список литературы:**

1. Климат Санкт-Петербург: [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.meteoblue.com/ru> (дата обращения: 26.07.2022). – Текст : электронный.
2. Карта глубин Невской губы: [сайт]. – 2022. – URL: <https://ru.fishermar.org/depth-map/nevskaya-guba-nevskiy-zaliv/> (дата обращения: 26.07.2022). – Текст : электронный.
3. СП 131.13330.2020 СНиП 23-01-99\* "Строительная климатология": [сайт]. – 2022. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (дата обращения: 26.07.2022). – Текст : электронный.
4. Ветроустановка 2,5 МВт: [сайт]. – 2022. – URL: <https://novawind.ru/production/wey25/> (дата обращения: 26.07.2022). – Текст : электронный.
5. Кирпичникова И. М., Соломин Е. В. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие к практическим занятиям / И. М. Кирпичникова, Е. В. Соломин. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 50 с. – Текст : непосредственный.
6. Сабзалыев, С. А. Анализ развития возобновляемой энергетики в России : «Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем», материалы Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей, в 2-х частях, Санкт-Петербург, 17 декабря 2020 года. / С. А. Сабзалыев, М. С. Липатов. – Санкт-Петербург : СПбГУПТД, 2021. – С. 6-10. – Текст : непосредственный.

© Ширяев А. Д., 2022

## КАНОНИЧЕСКИЙ МЕТОД СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА АВТОМАТОВ

преподаватель **Насибуллин Данила Ринатович**,  
Челябинский механико-технологический техникум  
г. Челябинск, Российская Федерация

**Аннотация.** Статья посвящена процессу синтеза электронно-цифровых устройств, этапам канонического метода структурного синтеза автоматов. В работе рассматриваются способы шифрования сигналов и процессов, а также кодирования данных, входных сигналов, состояний и выходных сигналов. Представлен процесс минимизации функций возбуждения и выходов при помощи карт Карно. Помимо этого, рассматривается функциональная схема автомата.

**Ключевые слова:** абстрактный синтез, структурный синтез, Т-триггер, абстрактный автомат, шифрование, кодирование данных.

## CANONICAL METHOD OF STRUCTURAL SYNTHESIS OF AUTOMATES

Teacher **Nasibullin Danila Rinatovich**,  
Chelyabinsk Mechanical and Technological College,  
Chelyabinsk, Russian Federation

**Abstract.** The article is devoted to the process of synthesis of electronic digital devices, the stages of the canonical method of structural synthesis of automata. The paper considers methods for encrypting signals and processes, as well as encoding data, input signals, states, and output signals. The article also presents the process of minimizing the excitation functions and outputs using Karnaugh maps. In addition, the functional diagram of the automaton is considered.

**Keywords:** abstract synthesis, structural synthesis, T-trigger, abstract automaton, encryption, data coding.

Синтез электронно-цифровых устройств выполняется в два этапа:

- этап абстрактного синтеза;
- этап структурного синтеза.

Для перевода от абстрактного автомата к структурному необходимо:

Выполнить в соответствие любой символ входного алфавита  $Z = X \{z_1, \dots, z_k\}$  комплекс двоичных сигналов из множества  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_L\}$ , то есть зашифровать входные символы абстрактного автомата. Значение  $L$ , характеризующее неустойчивых двоичных чисел для шифрования абстрактных входных сигналов, рассчитывается последующим способом:

$$L = \lceil \log_2 |Z| \rceil,$$

где  $|Z|$  – мощность множества  $Z$  (количество различных компонентов множества  $Z$ );

$\lceil n \rceil$  – означает ближайшее целое число, большее либо равное  $n$ .

Поставить в соотношение любому знаку выходного алфавита  $W = \{w_1, \dots, w_l\}$  комплекс бинарных выходных сигналов из множества  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ , то есть зашифровать выходные символы абстрактного автомата. Значение  $N$  рассчитывается последующим способом:

$$N = \lceil \log_2 |W| \rceil .$$

Выполнить в соотношение любому состоянию абстрактного автомата  $A = \{a_1, \dots, a_m\}$  комплекс состояний элементов памяти  $T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_r\}$ , то есть зашифровать положение абстрактного автомата. Число компонентов памяти обуславливается обстоятельством:

$$R = \lceil \log_2 |A| \rceil .$$

Составить систему уравнений для функций  $y_1, y_2, \dots, y_N, d_1, d_2, \dots, d_r$ , в соответствии с которой будет построена комбинационная часть структурной схемы автомата.

Приобретенная подобным способом система логических функций именуется канонической.

Компонент памяти: **T-триггер**.

Проанализируем пример структурного синтеза автомата Мили, блок памяти которого будет создан на **T-триггерах**. Начальные сведения для осуществления синтеза структурной схемы установлены таблично. Соединенная таблица переходов и выходов для автомата.

Таблица 1 – Таблица переходов и выходов

<b>w</b>	<b>a1</b>	<b>a2</b>	<b>a3</b>
<b>z1</b>	—	—	<b>a1</b>
	<b>w1</b>	<b>w2</b>	<b>w3</b>
<b>z2</b>	—	<b>a1</b>	<b>a2</b>
		—	—
<b>z3</b>		<b>w1</b>	<b>w2</b>
	—	<b>a2</b>	<b>a3</b>
		—	—
		<b>w3</b>	<b>w1</b>

Определяем вначале общее количество входов, выходов и элементов памяти автомата:

$$L = \lceil \log_2 3 \rceil = 2 \text{ – количество входных сигналов.}$$

$$N = \lceil \log_2 3 \rceil = 2 \text{ – количество выходных сигналов I рода.}$$

$$R = \lceil \log_2 3 \rceil = 2 \text{ – Число элементов памяти.}$$

Шифрование сигналов и процессов.

Имеем три входных сигнала, три состояния автомата и три выходных сигнала. Кодировем их двузначными двоичными числами. Кодировка показана в таблице 2.

Таблица 2 – Кодировка входных сигналов, состояний и выходных сигналов

Тип сигнала	Обозначение	Код
Входной сигнал	$z_1$	00
	$z_2$	01
	$z_3$	10
Состояние автомата	$a_1$	00
	$a_2$	01
	$a_3$	10
Выходной сигнал	$w_1$	00
	$w_2$	01
	$w_3$	10

Тогда таблица переходов и выходов примет вид, показанный в таблице 3.

Таблица 3 – Закодированная таблица переходов и выходов

$z/a$	<b>00</b>	<b>01</b>	<b>10</b>
<b>00</b>	<b>01</b> — <b>00</b>	<b>10</b> — <b>01</b>	<b>00</b> — <b>10</b>
<b>01</b>	—	<b>00</b> — <b>00</b>	<b>01</b> — <b>01</b>
<b>10</b>	—	<b>01</b> — <b>10</b>	<b>10</b> — <b>00</b>

Таблица функций возбуждения триггеров и выходов показана в таблице 4.

Таблица 4 – Таблица функций возбуждения триггеров и выходов

№	Q(t)		Z(t)		Q(t+1)		T(t)		W(t)	
	q1	q0	z1	z0	q1+	q0+	T1	T0	W1	W0
0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	x	x	x	x	x	x
2	0	0	1	0	x	x	x	x	x	x
3	0	0	1	1	x	x	x	x	x	x
4	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1
5	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
6	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
7	0	1	1	1	x	x	x	x	x	x
8	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
9	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1
10	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
11	1	0	1	1	x	x	x	x	x	x
12	1	1	0	0	x	x	x	x	x	x
13	1	1	0	1	x	x	x	x	x	x
14	1	1	1	0	x	x	x	x	x	x
15	1	1	1	1	x	x	x	x	x	x

Минимизирование функций возбуждения и выходов.

Функции минимизируем с помощью карт Карно, как показано на рисунке 1.

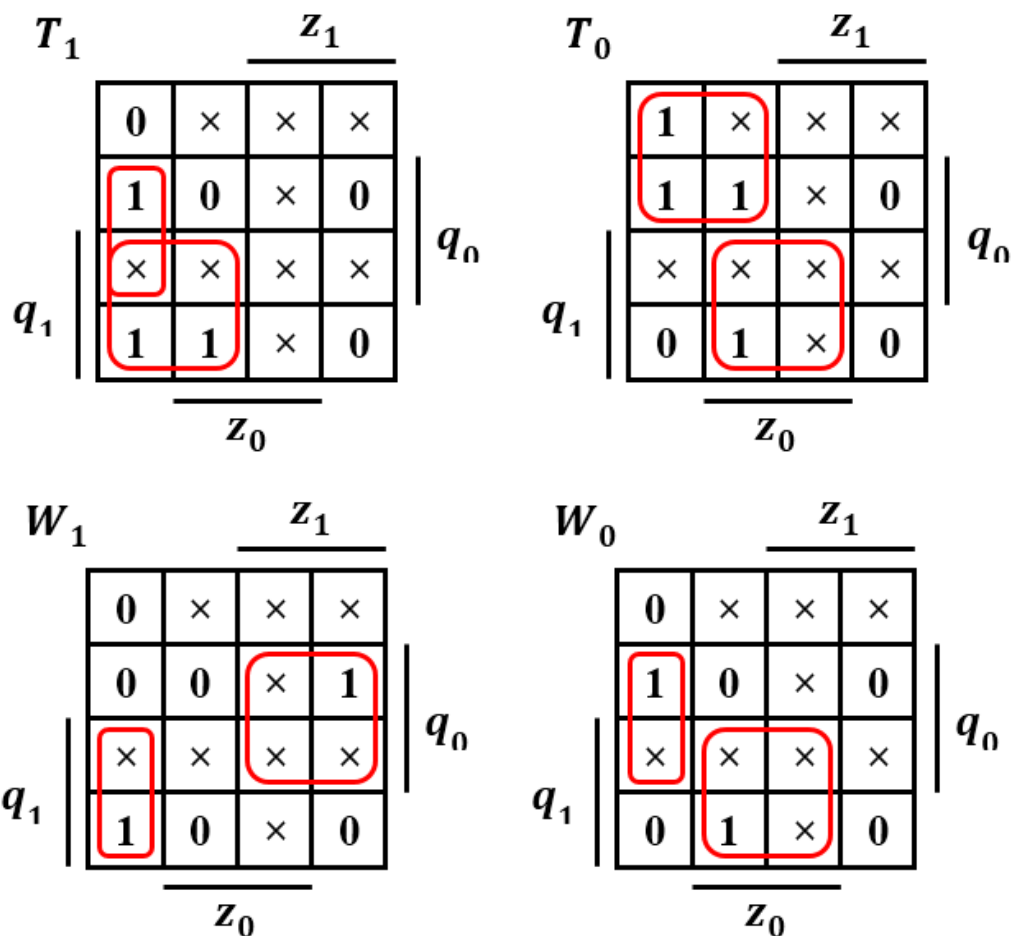


Рисунок 1. Минимизация функций с помощью карт Карно

По картам Карно вписываем наименьшие выражения для функций:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= Q_1 \bar{Z}_1 + Q_0 \bar{Z}_1 \bar{Z}_0 = \alpha_1 + \alpha_2; \\
 T_0 &= \bar{Q}_1 \bar{Z}_1 + Q_1 Z_0 = \alpha_3 + \alpha_4; \\
 W_1 &= Q_0 Z_1 + Q_1 \bar{Z}_1 \bar{Z}_0 = \alpha_5 + \alpha_6; \\
 W_0 &= Q_1 Z_0 + Q_0 \bar{Z}_1 \bar{Z}_0 = \alpha_4 + \alpha_2; \\
 \alpha_1 &= Q_1 \bar{Z}_1; \\
 \alpha_2 &= Q_0 \bar{Z}_1 \bar{Z}_0; \\
 \alpha_3 &= \bar{Q}_1 \bar{Z}_1; \\
 \alpha_4 &= Q_1 Z_0; \\
 \alpha_5 &= Q_0 Z_1; \\
 \alpha_6 &= Q_1 \bar{Z}_1 \bar{Z}_0.
 \end{aligned}$$

*Функциональная схема автомата*

Функциональная схема автомата в базисе И-ИЛИ-НЕ и синхронными Т-триггерами в качестве блоков памяти продемонстрирована на рисунке 2.

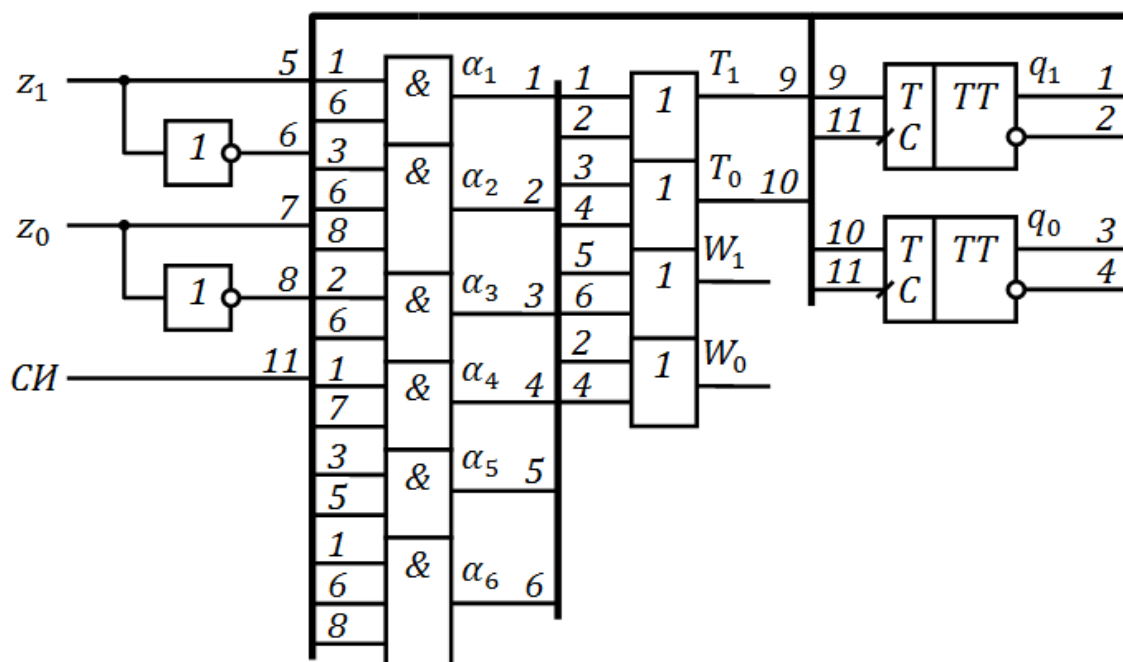


Рисунок 2. Функциональная схема автомата

#### Список литературы:

1. ПУЭ 8. Логические триггеры: схемы, классификация, устройство, назначение, применение: [сайт]. – URL: <http://pue8.ru/silovaya-elektronika/912-triggery-printsip-dejstviya-ustrojstvo-naznachenie.html> (дата обращения: 10.11.22). – Текст : электронный.
2. Брауэр, В. Введение в теорию конечных автоматов; пер. с нем. / В. Брауэр. – М. : Радио и связь, 1987. – 392 с. – Текст : непосредственный.
3. Карпов, Ю. Г. Теория автоматов / Ю. Г. Карпов. – СПб. : Питер, 2003. – 208 с. – Текст : непосредственный.
4. Закревский, А. Д., Поттосин, Ю. В., Черемисинова, Л. Д. Логические основы проектирования дискретных устройств / А. Д. Закревский, Ю. В. Поттосин, Л. Д. Черемисинова. – М. : Физматлит, 2007. – 592 с. – Текст : непосредственный.
5. Музыченко, О. Н. Специализированные методы синтеза логических схем. Кн.2. Методы синтеза логических схем модульного контроля, выполнения модульных операций и преобразования кодов: учеб. пос. / О. Н. Музыченко. – СПб. : Балт. гос. техн. ун-т., 2005. – Текст : непосредственный.

© Насибуллин Д. Р., 2022

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ГЛАВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ АВТОМАТИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

аспирант **Никешин Владислав Геннадьевич**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, зав. кафедрой информационно-  
измерительных технологий и систем управления  
**Сидельников Владимир Иванович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются проблемы, связанные с областью управления производством, а также формулируется оценка важности применения искусственного интеллекта при проектировании систем автоматизированного управления производством.

**Ключевые слова:** автоматизация, технологический процесс, кибернетика, индустрия 4.0, искусственный интеллект, машинное обучение, массив данных.

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS THE MAIN TOOL FOR AUTOMATION OF MODERN PRODUCTION

PhD Student **Nikeshin Vladislav Gennadievich**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Head of the Department of  
Information and Measurement Technologies and Control Systems  
**Sidelnikov Vladimir Ivanovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** This article discusses the problems associated with the field of production control, and formulates an assessment of the importance of the use of artificial intelligence in the design of automated production control systems.

**Keywords:** automation, technological process, cybernetics, industry 4.0, artificial intelligence, machine learning, data array.

В связи с развитием человечества, повышением культурного уровня и влиянием средств массовой информации (СМИ) растут потребности населения. Любое производство, которое хочет оставаться конкурентоспособным на рынке, вынуждено выстраивать и налаживать выгодные цепочки поставок, наращивать темпы производства и минимизировать влияние человеческого фактора.

Для решения поставленных задач прибегают к автоматизации не только технологических процессов предприятия, но и к автоматизации управления производством в целом.



Большие успехи были достигнуты в области автоматизации технологических процессов, но область управления производством является одной из нерешенных задач кибернетики. Проектирование изделий, подготовка и организация производства, а также организация доставки изделий потребителям требуют множественных научных исследований для отстранения от интуитивных приемов и приближения к осознанному и структурированному управлению с точки зрения автоматизации [1].

Другой нерешенной задачей кибернетики является управление ресурсами на производстве. Маневрирование различными ресурсами и достижение выгоды предприятия в условиях ограниченности ресурсов является неотъемлемой частью автоматизированного управления производством.

Для автоматизации управления производством предприятие разделяется на определенные уровни, которые имеют иерархическую структуру, и каждый уровень оснащается интегрированной автоматизированной системой управления (ИАСУ). На рисунке 1 представлено обобщенное разделение предприятия по уровням автоматизации.

ИАСУ представляет собой большую и открытую информационную систему, которая предназначена для скоординированного руководства и управления организацией.



Рисунок 1. Обобщенное разделение предприятия по уровням автоматизации

Уровень I/O расшифровывается как Input/Output Level, то есть уровень ввода и вывода информации. На данном уровне происходит сбор информации от

объекта управления с помощью датчиков или оказывается на него влияние с помощью исполнительных механизмов и регулирующих органов.

Следующий уровень предприятия имеет аббревиатуру PLC, которая расшифровывается как Programmable Logic Controller. На данном уровне осуществляется управление производственным процессом с помощью специализированных технических средств, обеспечивающих связь между системой и объектом управления и работающих по заранее заданной программе.

Третий уровень называется SCADA и расшифровывается как Supervisory Control And Data Acquisition. Если переводить дословно, то это диспетчерское управление и сбор данных, то есть на данном уровне происходит аккумулирование данных с нижних уровней и обеспечивается взаимодействие между оператором и технологическим процессом с помощью специализированного программного обеспечения.

Четвертый уровень имеет аббревиатуру MES, которая расшифровывается как Manufacturing Execution Systems или системы, обеспечивающие исполнение производственного процесса. На данном уровне в режиме реального времени происходит обработка полученных данных о ходе производства продукции, осуществляются процессы управления качеством выпускаемой продукции.

Самый верхний уровень называется ERP-уровень, то есть Enterprise Resource Planning или планирование ресурсов предприятия. На данный уровень поступает обработанная информация с уровня MES, который является важным связующим элементом и выступает фильтром «информационного шума» между третьим и пятыми уровнями предприятия. На уровне ERP осуществляется проектирование определенных информационных структур, предназначенных для обеспечения непрерывной работы всего предприятия в целом.

Совокупность автоматизации каждого уровня производства позволит увеличить объемы выпускаемой продукции, сокращать расходы сырья и уменьшить влияние человеческого фактора на производственный процесс.

Прогнозируемая четвертая промышленная революция, которая имеет и иное название «Индустрия 4.0», приведет к массовому внедрению киберфизических систем умного производства, больших данных и т. д. Данные внедрения охватят различные области жизни человека, начиная с рынка труда и заканчивая политическими системами. Четвертая промышленная революция несет в себе как положительные стороны (исключение человеческого фактора из производства), так и отрицательные стороны (массовая потеря рабочих мест на производствах) [2].

Современные реалии таковы, что предприятия вне зависимости от вида деятельности все чаще сталкиваются с необходимостью автоматизации. Большие массивы, получаемые в ходе управления предприятием, неструктурированных данных, требуемые для анализа и принятия решений, вручную обрабатывать практически невозможно.

Вследствие развития технологий машинного обучения стало возможным создание искусственного интеллекта для определенного вида производственных задач. В приведенном выше случае искусственный интеллект предназначен для

структурирования и быстрой обработки приходящих данных, на основе которых руководство предприятия принимает решение по какому-либо вопросу [3].

Искусственный интеллект (ИИ) – это технология, которая позволяет компьютерной программе или машине имитировать интеллект человека.

Искусственный интеллект наиболее распространен на высшем уровне автоматизации производства, а именно на стратегическом уровне. На данном уровне производятся операции, которые и приносят организации наибольшую прибыль, а именно: планирование, логистика, смена режимов работы и типа выпускаемой продукции. ИИ обширно применяется в различных отраслях производства, и в данный момент трудно представить крупные производства без применения интегрированных систем, поэтому процессы машинного обучения и/или робототехника будут влиять как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе.

В качестве примеров существующих систем можно выделить [3]:

- разумное управление доставкой, где ИИ используется для прогнозирования задержек доставки и доступности клиентов, а также для снижения ошибок в упаковке и улучшения управления на всех уровнях производства;

- эффективное управление запасами, где ИИ предназначен для прогнозирования и анализа, чтобы понять и предсказать тенденции, которые повлияют на запасы;

- улучшение обслуживания клиентов, где ИИ способен отправлять автоматические запросы на пополнение запасов или обеспечение более выгодной доставки.

На рисунке 2 представлен экономический эффект от внедрения технологий с использованием искусственного интеллекта, согласно исследованию аналитического центра TAdviser совместно с Ростелеком за 2020 год [4]:

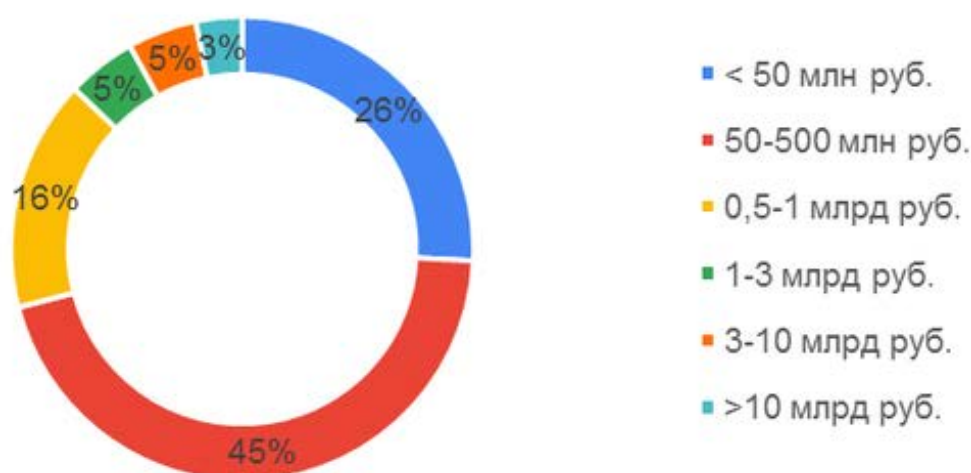


Рисунок 2. Экономический эффект за 2020 год от внедрения [4]

Дальнейшее совершенствование автоматизированных систем управления технологическими процессами связано с использованием идей машинного

обучения – той части развития идей искусственного интеллекта, где используются методы построения алгоритмов, способных обучаться на получаемых данных. Это позволит обобщить и систематизировать огромные массивы данных, накопленных в процессах текущего управления, используя методы проектирования функций оценки, что в будущем позволит обеспечить оптимальную работу предприятия на базе использования идея искусственного интеллекта [5].

### **Список литературы:**

1. Тьюринг, А. Вычислительные машины и разум / А. Тьюринг; пер. с англ. К. Королева. – Москва : Издательство АСТ, 2018. – 128 с. – Текст : непосредственный.
2. Форум IT-технологий «Хабр». Индустрия 4.0: Big Data, цифровизация и рост экономики: [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/post/507822/> (дата обращения: 01.10.2022). – Текст : электронный.
3. Гудфеллоу, Я., Бенджио, И., Курвил, А. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвил; пер. с англ. А. А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М. : ДМК Пресс, 2018. – 652 с. – Текст : непосредственный.
4. Официальный портал аналитического центра TAdviser: [сайт]. – URL: <https://clck.ru/SE8Xr> (дата обращения: 02.10.2022). – Текст : электронный.
5. Рассел, С., Норвиг, П. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг; пер. с англ., 2-е изд. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2016. – 1408 с. – Текст : непосредственный.

© Никешин В. Г., 2022

## ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ МЕДЬЮ ЭРЭ С ПЕЧАТНЫМИ ПЛАТАМИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

студент **Белов Максим Дмитриевич**,  
студент **Игошин Ярослав Евгеньевич**,  
ассистент **Козин Константин Викторович**,  
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор  
**Крючатов Владимир Иванович**,  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А. Н. Туполева,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** В настоящее время активно рассматриваются методы бессвинцовой пайки печатных плат (ПП) в радиоэлектронных средствах (РЭС). Проблема в соединении электрорадиоэлементов (ЭРЭ) на ПП заключается в сложности найти компромисс, поскольку у каждого припоя, применяющегося сегодня для пайки, есть свои особенности.

**Ключевые слова:** ПП, кумулятивный эффект, холодная сварка, материал, диффузия.

## TECHNOLOGY OF WELDING COPPER ERE WITH PRINTED BOARDS OF RADIO-ELECTRONIC MEANS

Student **Belov Maxim Dmitrievich**,  
Student **Igoshin Yaroslav Evgenievich**,  
Assistant **Kozin Konstantin Viktorovich**,  
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Professor  
**Kryuchatov Vladimir Ivanovich**,  
Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** Currently, methods of lead-free soldering of printed circuit boards (PCB) in radio electronic equipment (REE) are being actively considered. The problem in connecting electro-radio elements (ERE) on PCB is the difficulty of finding a compromise, since each solder used for soldering today has its own characteristics.

**Keywords:** PCB, cumulative effect, cold welding, material, diffusion.

Технология сварки металлов подгруппы меди или ее сплавами, которая рассматривается в данной работе, позволяет повысить качество соединения, исключая промежуточный металл из соединения ЭРЭ с ПП, но также и решая проблему, связанную с токсичностью свинца [1, с. 48], улучшается теплообмен в ПП.

Сварка металлов подгруппы меди (Cu, Ag, Au) и их сплавов (бронза без олова) – это достаточно простая операция, так как металлы имеют много общего в атомарной структуре, что позволяет им легко встраиваться в металлические решетки друг друга при температуре ниже точки плавления.

Эти металлы мягкие, благодаря чему они легко поддаются деформации. Это свойство используется в технологии холодной сварки давлением. Также неоспоримым преимуществом является то, что серебро и золото слабо подвержены окислению и коррозии.

Вакуум, используемый для исключения влияния воздушной прослойки на качество диффузии [2, с. 9], обладает недостатками. Несмотря на уменьшение необходимой силы давления для создания соединения, известно, что вакуум давлением около 10 Па уменьшает необходимое для сварки давление от 70-140 Н до 6-12 Н. Вакуум необходимо создавать искусственно и его создание может привести к смещению ЭРЭ относительно реперных точек на ПП.

Исследование Р. Степльтона доказало, что при общей деформации с относительным смещением было получено наилучшее качество сварки, чем без смещения. Однако смещение приводит к тому, что невозможно проводить сварку малых плат или плат с большим коэффициентом заполнения поверхности (КЗП) ЭРЭ.

Некоторые технические задания ставят перед проектировщиками нестандартные требования, такие как: ограничение верхнего предела температур и большой КЗП при сварке ЭРЭ, что вынуждает отказаться от принципа смещения в технологии холодной сварки. При этом повышение температур для компенсации процесса холодной сварки недопустимо.

Это заставляет использовать принципиально новый подход в подобных условиях. В таком случае одним из наиболее предпочтительных технологических процессов являются аддитивные технологии, позволяющие наносить материал напрямую на поверхность, образуя с ним неразрывную единую структуру. В то же время все существующие виды аддитивной печати не подходят для прямого нанесения на поверхность ПП. Вследствие этого целесообразнее разработать технологию на основе аддитивных методов печати и технологии холодной сварки.

Холодная сварка использует жидкостные свойства твердых веществ при экстремальном кинетическом воздействии и применение их в монтаже проводников к полупроводниковым (П/П) материалам. Поэтому отказываться от этого принципа является нецелесообразным.

Метод применения этих свойств можно изменить, позаимствовав некоторые особенности аддитивных технологий. В частности, применить концепцию применения сопла для нанесения материала, используя кумулятивный эффект.

Это вариант кинетического экстремального воздействия, инициируемый лазерным воздействием на жидкостную среду в капиллярном состоянии. На рисунке 1 изображен эскиз элементарной схемы кумулятивной сварки. Представленная схема подходит для сварки гетерогенными материалами. Предполагается нанесение на алюминий – никель [3] с последующим покрытием

золотом, но время до сварки на контакт П/П не должно превышать двух недель календарных.

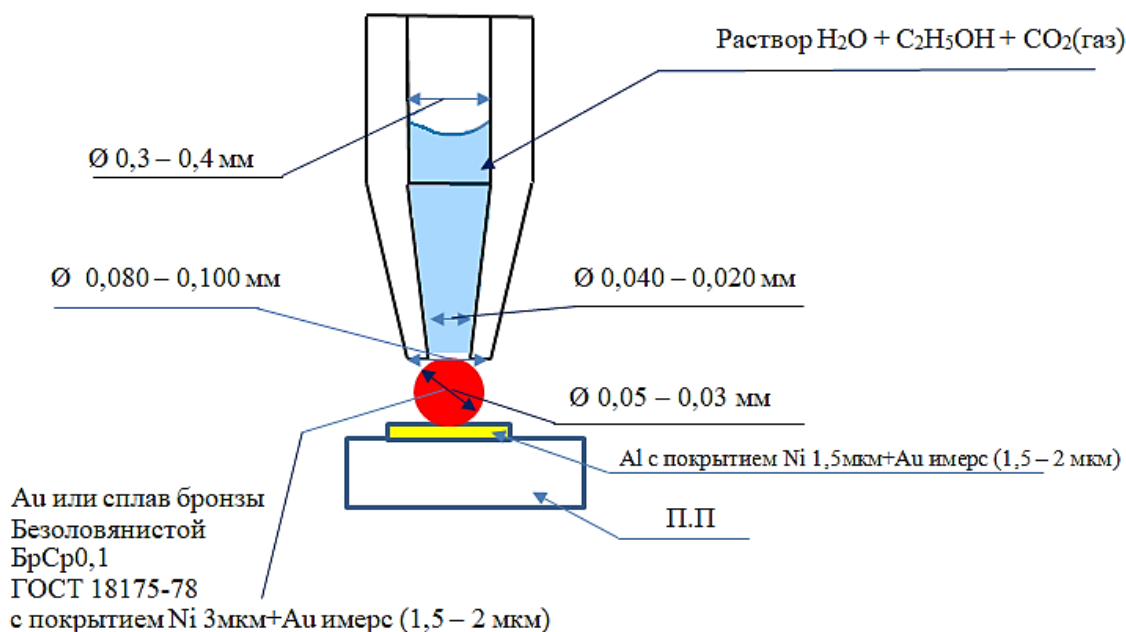


Рисунок 1. Элементарная схема кумулятивной сварки

При более длительном предполагаемом хранении нужно обеспокоиться о специальных условиях – в условиях защитной атмосферы. На рисунке 2 изображено распределение материалов в получившемся проводнике.

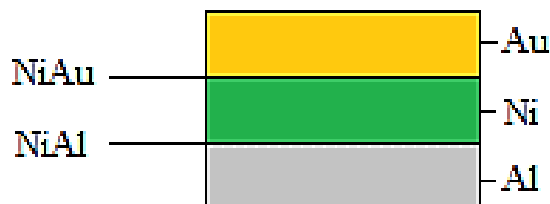


Рисунок 2. Структурная схема проводника по материалам

В ходе кумулятивной сварки можно искусственно создать комплексный проводник с несколькими диффузионными зонами. В приведенном примере показана структурная схема с распределением материалов в проводнике типа амфотерный металл (Al) – стандартный металл (Ni) – инертный металл (Au).

Между слоями материалов присутствуют диффузионные зоны из  $Ni_3Al$  и  $NiAu_2$  (алюминид никеля и «белое золото») [2, с. 9].

Предварительная подготовка материалов к сварке предусматривает их зачистку до металлического блеска и обезжиривание поверхностей. В противном случае произвести идеально сварку не получится.

Рассматривая поведение кумулятивной струи, а в частности то, что это является процессом деформации металла, можно сделать вывод о том, что наиболее подходящим материалом для этой технологии является металл с

высокой плотностью и пластичностью. Под такие характеристики хорошо подходит медь и металлы ее подгруппы. Они все обладают высокой плотностью и пластичностью, это помогает наилучшим образом создавать кумулятивную струю. На рисунке 3 изображена рентгенограмма поэтапного развития кумулятивной струи [4]. Например, известно, что в военной практике используются медно-вольфрамовые сплавы для образования кумулятивной струи [5].

Необходимо отметить, что использование свинца [1, с. 48] в данной технологии невозможно, из-за того, что свинец неспособен образовывать кумулятивную сплошную струю, она распадается на начальных этапах ее образования из-за сильной сжимаемости и малой объемной прочности [6, с. 96]. Аналогично меди никель обладает высокой пластичностью, кроме того, он способен поддерживать ее в составе сплавов. Нельзя забывать, что сплавы никеля являются жаропрочными и коррозионностойкими [3].

Исходя из перечисленных выше достоинств никеля и меди, их сплавы подходят лучше для сварки кумулятивной струей.

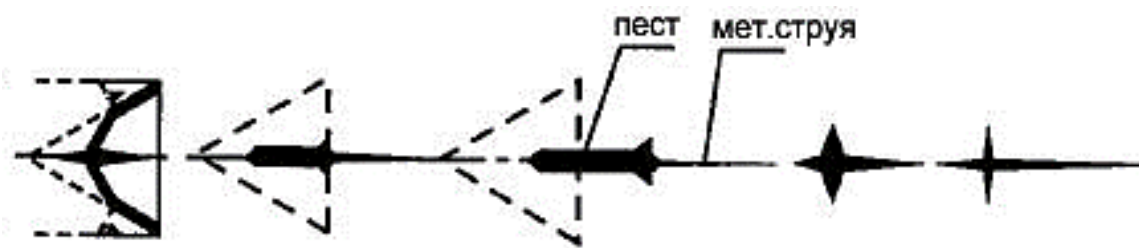


Рисунок 3. Этапы развития кумулятивной струи

Второе название сварки с помощью кумулятивного эффекта – сварка взрывом. Эта технология сварки уже давно активно используется для сварки металлов и сплавов. Развитие кумулятивной струи начинается в момент взрыва, образуя некую монолитную массу, называемую пестом (скорость песта 1-3 км/сек), металлическая струя выходит вперед за счет более высокой скорости (9-12 км/сек). Следует учитывать, что из-за различия скоростей головной и хвостовой частей струи она при движении все время растягивается, распадаясь на отдельные капли.

Фокусное расстояние действия кумулятивной струи может регулироваться, для этого можно использовать промышленный робот манипулятор, при условии наличия достаточного числа степеней свободы. Такие роботы являются универсальной платформой для множества устройств. Они широко распространены и используются повсеместно более полувека.

Аналогом робота-манипулятора в более простом представлении является станок с числовым программным управлением (ЧПУ). Они могут обладать одинаковым числом степеней свободы с роботом манипулятором и в большинстве случаев являются взаимозаменяемыми.

Следует отметить, что большой выбор платформ для создания установки для кумулятивной сварки облегчит ее ввод в промышленную эксплуатацию, а с



помощью достаточно точной настройки ее можно применять с учетом многих стандартов ГОСТ.

В заключении отметим, что сварка кумулятивной струей является наиболее перспективной технологией для создания соединений ЭРЭ с ПП в РЭС. Благодаря широкому выбору манипуляторов и станков с ЧПУ, большому выбору материалов, используемых для образования кумулятивной струи, станет гораздо легче внедрять в производство данный технологический процесс.

### **Список литературы:**

1. Астахов, Н. В. Проблемы повышения надежности и качества радиоэлектронных средств и приборов при использовании бессвинцовых припоев / Н. В. Астахов, А. В. Башкиров, О. Ю. Макаров, А. А. Пирогов, А. С. Демихова. – Текст : непосредственный // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2021. – Т. 17, № 2. – 48-53 с.
2. Старк, Дж. П. Диффузия в твердых телах / Дж. П. Старк; пер. с англ. А. В. Назарова и др. – М. : Энергия, 1980. – 239 с. – Текст : непосредственный.
3. Белов, А. Ф. Структура и свойства гранулированных никелевых сплавов / А. Ф. Белов, Н. Ф. Антошкин, О. Х. Фаткуллин. – М. : Metallurgia, 1984. – 128 с. – Текст : непосредственный.
4. Saper.isnet: Инженерные боеприпасы: [сайт]. – 2009. – URL: <http://saper.isnet.ru/mines-4/kumul-effekt.html> (дата обращения: 07.11.2022). – Текст : электронный.
5. Воротилин, М. С. Современные средства поражения бронетанковой техники: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. 170100 "Оружие и системы вооружения", 170103 "Средства поражения и боеприпасы" / М. С. Воротилин. – Тула : Издательство ТулГУ, 2005. – 515 с. – Текст : непосредственный.
6. Воротилин, М.С. Концепция создания кумулятивного заряда с рекордными характеристиками пробития / М. С. Воротилин. – Текст : непосредственный // Известия ТулГУ, Технические науки. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2011. – Вып. 2. – С. 96-101.

© Белов М. Д., Игошин Я. Е., Козин К. В., 2022

## СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

студент **Антошкина Анастасия Николаевна**,  
студент **Варакина Алена Вячеславовна**,  
науч. руководитель: канд. пед. наук, доцент **Осинцева Наталия Викторовна**,  
Ишимский педагогический институт им. П. П. Ершова (филиал) ТюмГУ,  
г. Ишим, Российская Федерация

**Аннотация.** В последнее время достаточно насущным стал вопрос о работе трансформаторов и их износостойкости. Вместе с этим возросла актуальность исследований способов, позволяющих уменьшить потери при их эксплуатации. В данной статье рассматриваются способы повышения энергетической эффективности трансформаторов на примере ТМГ 630 кВа.

**Ключевые слова:** трансформатор, энергоэффективность, снижение уровня потерь, эксплуатация.

## WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF OIL TRANSFORMERS

Student **Antoshkina Anastasia Nikolaevna**,  
Student **Varakina Alena Vyacheslavovna**,  
Academic Advisor: PhD in Pedagogy, Associate Professor  
**Osintseva Natalia Viktorovna**,  
P. P. Ershov Ishim Pedagogical Institute, Branch of the University of Tyumen,  
Ishim, Russian Federation

**Abstract.** Recently, the question of the operation of transformers and their operability has become quite urgent. At the same time, the relevance of research on ways to reduce losses during their operation has increased. In this article, the authors consider ways to increase the energy efficiency of transformers using the example of TMG 630 kVa.

**Keywords:** transformer, energy efficiency, reduction of losses, operation.

Электротехника – это область научных знаний, которая занимается вопросами, связанными с преобразованием и распределением, а также использованием электроэнергии. Ее роль в развитии науки и промышленности достаточно велика. На современном этапе развития этой области техники широко изучается применение устройств переменного тока. Особое внимание среди них уделяется трансформаторам.

Под трансформатором понимается статическое устройство, которое состоит из двух или более индуктивно связанных обмоток. Благодаря такому устройству становится возможным преобразовывать одни системы переменного тока в другие, используя при этом явление электромагнитной индукции [1, с. 151].

На территории России и стран Европы особой популярностью пользуются масляные трансформаторы ТМГ 630 кВа. В свою очередь, существует проблема повышения уровня энергетической эффективности вследствие его эксплуатации. Это связано с тем, что в подобных системах присутствует некоторый процент потерь, снижающий энергоэффективность трансформатора. Следовательно, возникает необходимость в разработке мер и способов, позволяющих устранить данную проблему.

Трансформаторы ТМГ 630 кВа обладают рядом достоинств, среди которых можно выделить следующие:

1. Отсутствие шумовых воздействий.
2. Защита от низких температур.
3. Устойчивость к вибрационному и сейсмическому воздействию и др.

Кроме этого, специалисты отмечают, что существуют и недостатки ТМГ 630 кВа. Например, холоднокатаная сталь, используемая для создания трансформаторов, значительно уступает аморфным сплавам, благодаря которым было бы возможно улучшить энергетическую эффективность устройства [2, с. 345].

Стоит заметить, что на производительность трансформаторов оказывают влияние и другие факторы. К ним можно отнести используемую изоляцию и систему охлаждения [4, с. 67]. К слову, эти два фактора находятся в тесной связи друг с другом. Это объясняется тем, что от системы охлаждения напрямую зависит нормальный режим работы температур. В свою очередь, в результате этого подвергается влиянию изоляция, которая начинает терять свои свойства и преимущества с течением времени. ТМГ 630 кВа охлаждают, используя масло, и тут вопрос о выборе материала для изготовления изоляции решается сам собой. Очевидно, что для ее производства будут пригодны лишь те, которые наиболее стойки к воздействию масляной среды. Что касается типа выбранного материала, то здесь нужно уточнять мощность трансформатора. В настоящее время взаимодействие этих двух факторов является производительным, но к сожалению, это не решает проблему с потерей свойств изоляции. А она, как известно, приводит к потерям, и в связи с этим производительность трансформаторов снижается.

Изучив литературу по выбранной теме [4; 5], мы полагаем, что вышеизложенную проблему поможет решить использование при производстве ТМГ 630 кВа гофрированного бака вместо бака с маслорасширителем. В таком случае колебания объема жидкости будут восполнять увеличение размеров бака. В результате этого масло сможет дольше сохранять свои свойства, оставаясь

чистым и не требуя при этом очень частых замен. Для изготовления обмоток таких моделей используется алюминий, так как он отличается своей прочностью. При шихтовке магнитных потоков достаточно широко применяется косой стык. Благодаря его применению становится возможным снизить уровень возникновения коротких замыканий, а также утечки тока холостого хода. Стоит отметить, что энергоэффективность трансформатора можно поднять при помощи специального контрольного оборудования, которое смогло бы регулировать систему в любой момент времени, не зависимо от ее состояния.

Определим меры повышения энергетической эффективности трансформатора ТМГ 630 кВа:

1. Поддержание лучшего показателя нагрузки.
2. Повышение коэффициента мощности.
3. Снижение потерь на токе холостого хода.
4. Понижение потерь короткого замыкания.

Также следует учесть, что улучшения производительности можно добиться, используя компенсацию напряжений в устройстве. Для такого случая ТМГ 630 кВа оснащается устройствами, благодаря которым можно варьировать показатель напряжения (РПН). Однако для этой задачи необходимо обеспечить полное обесточивание. Использование РПН-регуляторов (устройства, позволяющие менять напряжение без отключения питания) также позволяют поднять уровень эффективности трансформаторов.

Развитие науки и техники не стоит на месте, и к ТМГ 630 кВа в скором времени можно применять следующие технологии, обеспечивающие эффективность их работы:

1. Использование нанокристаллических аморфных сплавов при создании магнитопроводов.
2. Смена режима загрузки трансформаторов путем применения инновационных вводов.
3. Снижение уровня потерь в обмотках при использовании сверхпроводниковых материалов для их производства.
4. Выпуск обмоток, изготовленных из многопроволочной токопроводящей жилы.

Таким образом, повышение энергоэффективности сможет обеспечить использование при производстве трансформаторов высокотемпературных сверхпроводниковых. На данный момент используется несколько направлений, которые применяются при производстве последних моделей трансформаторов. К большому сожалению, те решения, которые уже существуют, отличаются значительно высокой стоимостью, что экономически не оправдывает трансформаторные установки. Технологии развиваются, этому могут послужить масляные трансформаторы ТМГ, сочетающие в себе цену, качество и, конечно же, энергоэффективность. Все перечисленные достоинства позволяют им быть в рейтинге востребованности Российской Федерации и стран Европы.

### **Список литературы:**

1. Борисов, Ю. М., Липатов, Д. Н., Зорин, Ю. Н. Электротехника / Ю. М. Борисов, Д. Н. Липатов, Ю. Н. Зорин. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 552 с. – Текст : непосредственный.
2. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – Москва : Высшая школа, 1996. – 638 с. – Текст : непосредственный.
3. Колтмен, Дж.У. Трансформатор / Дж. У. Колтмен. – Текст : непосредственный // В мире науки. – 1988. – № 3. – С. 68-76.
4. Lashina E. N., Lipatov M. S. Application of innovative resource saving tribotechnical composition in an industrial heat engine // Original research. 2021. Vol. 11. No. 7. P. 58-69.
5. Способы повышения энергоэффективности трансформаторов: [сайт]. – 2019. – URL: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/gl/proizv27/sposoby-povysheniya-energoeffektivnosti-transformatorov.htm> (дата обращения: 07.11.2022). – Текст : электронный.

© Антошкина А. Н., Варакина А. В., 2022

## БЕЗУДАРНОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ НАСОСОВ МЕЖДУ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ И СЕТЬЮ

студент Мудзамири Анесу Глэдис,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Ковалев Евгений Николаевич**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологий и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассмотрен алгоритм управления несколькими насосами насосной станции одним преобразователем частоты.

**Ключевые слова:** байпас, безударное подключение, насосная станция, граф состояний.

## SHOCK-FREE SWITCHING OF PUMPS BETWEEN THE FREQUENCY CONVERTER AND THE NETWORK

Student **Mudzamiri Anesu Gladys**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Kovalev Evgeny Nikolaevich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The article considers the control algorithm for several pumps of a pumping station by one frequency converter.

**Keywords:** bypass, shock-free connection, pumping station, state graphs.

В насосных станциях используется несколько насосов, поскольку обычно производительности одного насоса недостаточно. Как правило, в подобных случаях расход воды имеет непостоянное значение, при этом давление в системе должно находиться в заданном достаточно узком диапазоне. Для поддержания давления в заданных пределах используется каскадное управление насосами [1], которое реализуется с помощью преобразователей частоты (ПЧ) [2] и автоматической системой управления (АСУ).

В данной статье мы рассмотрели насосную станцию с (АСУ) поддержания давления в водопроводной сети. Расход и давление воды поддерживается и регулируется с помощью насосов, управляемых преобразователями частоты путем изменения частоты вращения насоса и при необходимости подключения дополнительных двигателей.

При изменении расхода АСУ регулирует частоту вращения насоса, подключенного к ПЧ. Если производительности насоса недостаточно для заданного поддержания расхода и давления воды, то при достижении ПЧ

максимальной частоты 50 Гц этот первый насос переключается с выхода ПЧ на сеть, а следующий насос подключается к ПЧ (рисунок 1). Процесс подключения последующих насосов к сети повторяется, если производительности уже подключенных насосов недостаточно для заданного поддержания расхода и давления воды. При снижении расхода и выходе ПЧ на минимальную частоту насос отключается от преобразователя, а предыдущий насос подключается к преобразователю частоты.

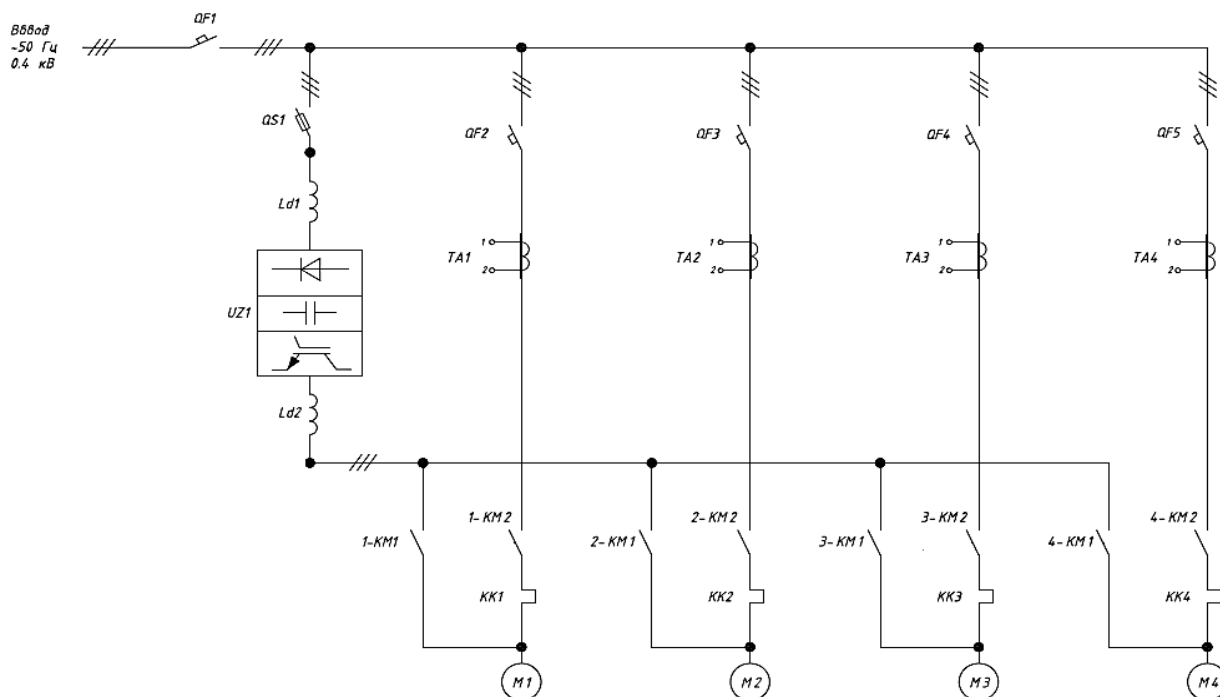


Рисунок 1. Функциональная схема насосной станции

Необходимо выдерживать временные интервалы между отключением насоса от ПЧ и его последующем подключении к сети питающего напряжения; тем самым образуется кратковременная пауза в питании насоса, составляющая доли секунды. К сожалению, за время этой паузы давление в водопроводной сети успевает упасть ниже допустимой величины. Таким образом, кратковременное отключение питания приводит к резкому падению давления и серьезным последствиям для всей системы.

На кафедре автоматизированного электропривода и электротехники ВШТЭ СПбГУПТД разработан стенд для исследования процессов частотного управления насосами с функцией безударного переключения насосов между преобразователем частоты и сетью.

Функциональная схема стенда соответствует функциональной схеме насосной станции на рисунке 2. Стенд включает в себя преобразователь частоты UZ1, двигатель насоса M1, коммутационные аппараты, систему синхронизации ПЧ с сетью и управляющий контроллер и пульт управления.

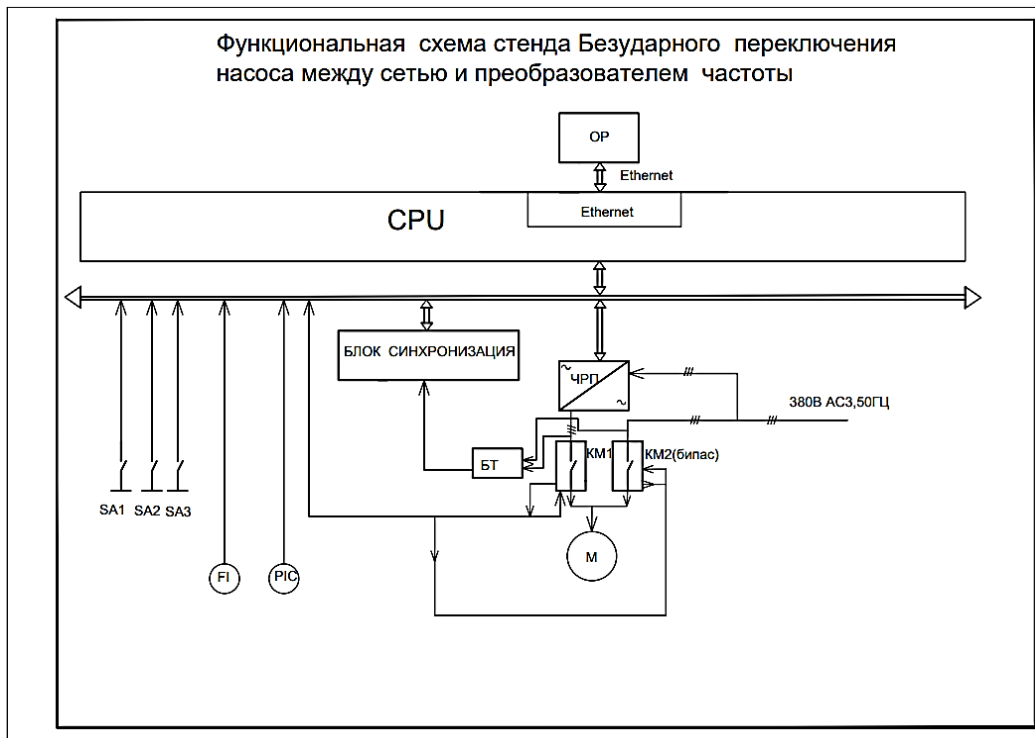


Рисунок 2. Функциональная схема стенда безударного переключения насоса

Алгоритм управления электродвигателем М1 с безударным переключением между преобразователем ПЧ (UZ1) и сетью разработан на базе графа состояний (рисунок 3).

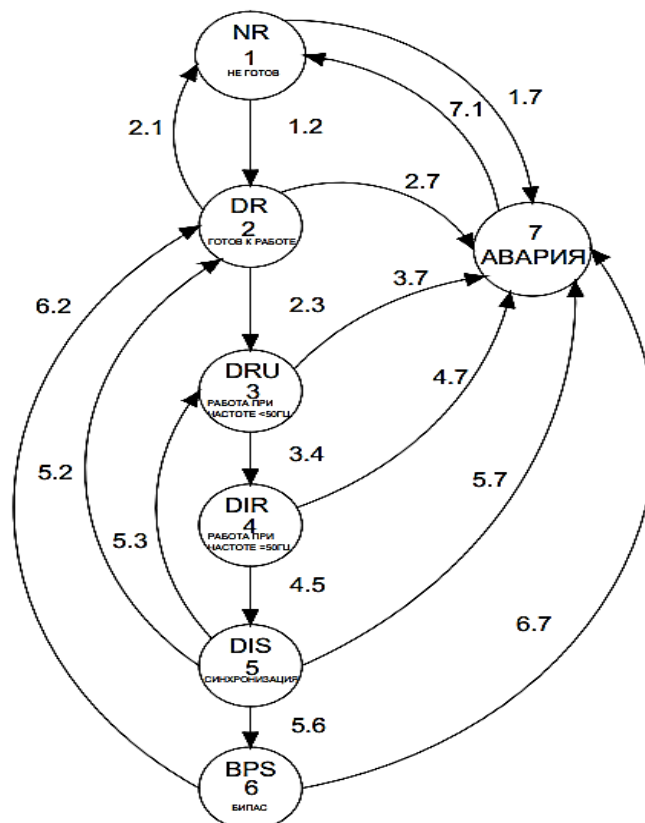


Рисунок 3. Граф состояний системы управления стендом



Описание состояний и условий перехода

– Состояние 1 (NR, not ready)

В первом состоянии CPU подает сигнал ПЧ НЕ ГОТОВ, проводит проверку сети, состояния датчиков и контакторов. Если все в норме, CPU подает сигнал на подключение сети к ЧП, и выполняется команда на переход ЧП в состояние ГОТОВ К РАБОТЕ (переход 1.2). При возникновении какой-либо неисправности ЧП система управления ЧП переходит в состояние «Авария» (выполняется переход 1.7) и возврат в состояние НЕ ГОТОВ К РАБОТЕ. Также команда на такой переход может быть подана CPU при обнаружении неисправности в сети.

– Состояние 2 (DR drive ready)

Во втором состоянии – ГОТОВ К РАБОТЕ, по сигналу от ПЧ CPU подключает ЭД к ПЧ через контактор КМ2 (см. рисунок 3). После этого, получив подтверждающий сигнал от ПЧ, CPU дает сигнал на переход в состояние 3 – РАБОТА НА ЧАСТОТЕ < 50Гц. Если управление ЧП и CPU обнаруживает неисправность, то выполняется переход в состояние 7 «Авария» (переход 2.7).

– Состояние 3 (DRU drive running)

В третьем состоянии – РАБОТА НА ЧАСТОТЕ < 50Гц, ЧП разгоняет двигатель, изменяя частоту сети питания ЭД от минимума до максимума (50 Гц). Когда частота достигнет 50 Гц и удерживается не менее 5 секунд, система переходит на состояние 4 (переход 3.4). Если в системе происходит неисправность, то выполняется переход в состояние 7 «Авария» (переход 3.7).

– Состояние 4 (DIR drive in range)

В четвертом состоянии – РАБОТА НА ЧАСТОТЕ 50Гц, двигатель работает при номинальной частоте 50 Гц. При работе на этой частоте в течении 5 сек. и наличии сигнала синхронизации от блока синхронизации, подтверждающего соответствие между частотой сети и частотой сети питания ЭД ПЧ, а также совпадения по фазе сигнала, АСУ дает ЧП сигнал на переход к следующему состоянию 5 (переход 4.5). Если в системе происходит неисправность, то выполняется переход в состояние 7 «Авария» (переход 4.7).

– Состояние 5 (DIS drive in synchro mode)

В пятом состоянии – ПОДКЛЮЧЕНИЕ БАЙПАСА, будет подтверждение, что напряжения от преобразователя частоты и сети находятся в фазе и совпадают по частоте, если это верно, то контроллер подает сигнал на замыкание контактора КМ3 (байпас, см. рисунок. 2), осуществляется переход к следующему состоянию 6 (переход 5.6). Если в системе происходит неисправность, то выполняется переход в состояние 7 «Авария» (переход 5.7).

– Состояние 6 (BPS bypass)

В шестом состоянии – РАБОТА ЧП ПРИ ВКЛЮЧЕННОМ БАЙПАСЕ, ЭД отключается от преобразователя частоты и подключается к сети. Двигатель отключается от КМ2 и подключается к КМ3. Когда это происходит, насос начинает работать от сети питания с частотой 50 Гц. К преобразователю частоты может быть подключен другой насос в зависимости от необходимости увеличения или уменьшения расхода и поддержания давления воды. Если в системе происходит неисправность, то выполняется переход в состояние 7 «Авария» (переход 6.7) [3; 4; 5; 6].

Заключение: применение одного ПЧ для управления вновь подключаемыми насосами методом безударного подключения позволяет в производстве достигать значительной экономии средств и безопасности водопроводной сети. Подключение АСУ делает выполнение задачи безударного переключения насосов надежно и безаварийно.

Разработанный стенд позволяет студентам изучать динамические процессы при безударном переключении насосов между преобразователем частоты и сетью, а также учиться управлять этим процессом.

### **Список литературы:**

1. Частотно-каскадное управление электродвигателями на насосных станциях: [сайт]. – 2019. – URL: <https://chistotnik.ru/chastotno-kaskadnoe-upravlenie-elektodvigatelyami-na-nasosnykh-stanciyah.html/> (дата обращения: 28.10.2022). – Текст : электронный.
2. Лезнов, Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходушных установках / Б. С. Лезнов. – М. : Энергоатомиздат, 2006. – 360 с. – Текст : непосредственный.
3. Частотный преобразователь: [сайт]. – 2022. – URL: <https://chistotnik.ru/> (дата обращения: 10.11.2022). – Текст : электронный.
4. Каргин, С. А. Способы пуска дополнительных насосов в насосных станциях повышения давления / С. А. Каргин. – Текст : электронный. – URL: <https://www.asu-tech.ru/articles/sposoby-puska-dopolnitelnyh-nasosov.html> (дата обращения: 10.11.2022).
5. Lashina E. N., Savenko A. V. Fundamentals of standardization of chargers for electric vehicles based on the CHAdeMO algorithm // International Journal of Professional Science. 2021. No. 9. P. 44-50.
6. Эгильский, И. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды / И. С. Эгильский. Л. : Стройиздат, 1988. – 216 с. – Текст : непосредственный.

© Мудзамири А. Г., 2022

## ОБЗОР БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОЦЕССА ПОРАЖЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

магистрант, инженер вычислительных и электронно-вычислительных машин

**Приходько Дмитрий Игоревич,**

Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр

Научно-исследовательский институт системных исследований

Российской академии наук»,

Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе приводится анализ основных свойств, которые возникают при воздействии ионизирующим излучением. Показывается, что характер воздействия излучением в целом может соответствовать некоторым биологическим характеристикам эпидемии. При этом с учетом отличительных особенностей данные свойства соответствуют состоянию вырождения популяции.

**Ключевые слова:** логическая модель, микропроцессор, деградация микропроцессора, ионизирующее излучение, свойства логического подхода.

## OVERVIEW OF BIOLOGICAL PROPERTIES OF MICROPROCESSOR DAMAGE BY IONIZING RADIATION

Master Student, Engineer of Computing and Electronic Computing Machines

**Prihodko Dmitry Igorevich,**

Federal State Institution "Scientific Research Institute for System Analysis of the

Russian Academy of Sciences",

Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The work provides an analysis of the main properties that arise when exposed to ionizing radiation; it is shown that the nature of exposure to radiation as a whole can correspond to some biological characteristics of the epidemic. Taking into account the distinctive features, these properties correspond to the degeneration state of the population.

**Keywords:** logic model, microprocessor, microprocessor degradation, ionizing radiation, properties of the logic approach.

В современных компаниях используются различные типы аппаратного обеспечения, включая ноутбуки, планшеты, и в особых случаях выдаются в личное пользование смартфоны. При этом распространение вычислительных средств привело к тому, что современные бытовые устройства по своему функционалу сопоставимы с предыдущими поколениями вычислительных систем, и поэтому по возможности иногда в эти устройства устанавливают старые версии ОС.

При анализе воздействия ионизирующего излучения на вычислительные устройства в большинстве случаев обращают внимание на физические особенности повреждения кристалла. Например, работа Лагова [1] была связана с анализом воздействия ионизирующего излучения на транзисторы внутри микросхемы, и было показано, что если известен характер поведения нескольких элементов микропроцессора, то можно, приведя оценочный расчет, предсказать характер поведения всего кристалла при попадании излучения. Однако при этом не было показано, как именно деградация кристалла сказывается на функционале микропроцессора.

При повреждении кристалла происходит следующее:

1. Идет повреждение основных элементов микропроцессора – транзисторов.
2. Накопление поврежденных транзисторов начинает сказываться на точности вычислений.
3. При превышении определенного количества поврежденных транзисторов микропроцессор перестает выполнять свои функции.

Более того, повреждение микропроцессоров идет часто хаотически. Например, для процессора AMD64 возможны несколько исходов:

1. Удачный. Под удачным подразумевается то, что повреждения микропроцессора не позволяют использовать все возможности, однако имеется возможность использовать младшие режимы микропроцессора. Например, для AMD 64 или эмулятора AMD архитектуры в других микропроцессорах возможно использовать не режим AMD 64, а режим IA-32.
2. Проблемный. Проблемным режимом можно назвать то, что излучение попало случайно, но не так удачно, как хотелось бы – без использования специальных механизмов невозможно перестроить регистры, и как следствие невозможен запуск на младшем режиме работы.
3. Ужасный. Использовать микропроцессор нельзя – повреждена как младшая, так и старшая части регистра.

Для анализа этих случаев можно использовать не только подход, когда анализируется физическая структура кристалла и определяются ее параметры – технически параметры транзисторов и их количество зачастую не позволяют это сделать, но и подход, когда используется логический подход.

Целью статьи является обзор логических свойств повреждения кристалла под воздействием ионизирующего излучения, под которым понимается анализ общего поведения на основе аналогичного транзистора, принятого как за носитель. При таком рассмотрении можно заметить определенное сходство с биологическими моделями:

1. При эпидемии идет постепенное заболевание и умирание особей в популяции.
2. При некотором сокращении размера популяции вид сначала заносит в красную книгу, а затем он постепенно начинает вымирать.
3. Особи имеют способности к размножению.

Следовательно, для моделирования воздействия ионизирующим излучением микропроцессора можно использовать следующие «биологические» модели [2]:

1. Модель заболевания организма.
2. Модель популяции на некотором пространстве.
3. Модель разложения органики.

Теперь рассмотрим, как протекает процесс в транзисторе с точки зрения заболевания, где в качестве организма будет выступать микропроцессор, а в качестве клеток организма будет:

1. На первом этапе происходит постепенное заражение радиацией элементов микропроцессоров.

2. Т. к. элементы микропроцессора не могут полноценно воспроизводить популяцию – т. е. они с позиции биологии являются бесплодными, то организм переходит не в стадию заражения, а сразу в стадию умирания.

3. Как показали расчеты, приведенные автором статьи в работах [3; 4], для того, чтобы микропроцессор семейства AMD Athlon 64, который был выпущен в 2003, мог работать только в реальном режиме работы, необходимо минимум 7 % транзисторов в рабочем состоянии. Для современных микропроцессоров необходимы еще меньшие требования из-за того, что они содержат от 2-х и более ядер.

В результате анализа модели заболевания получается следующая ситуация:

1. Модель заражения не подходит по причине того, что биологические системы умирают значительно ранее, чем описанные в работах [3; 4], 7% остается от организма.

2. Модель разложения подходит концептуально, однако при разложении биологическая система не исполняет свои функции, тогда как микропроцессор с точки зрения выбранного подхода интересуется только, когда он выполняет программы.

3. Модель умирания популяции подходит полностью, т. к. можно рассматривать не только «группу особей» (каскады транзисторов), но и сами транзисторы как отдельные элементы. Правда, для современных микропроцессоров рассматривать по транзисторам, когда их количество внутри микропроцессора уже несколько миллиардов...

После определения модели следует описать свойство модели деградации популяции. С учетом вымирания популяции транзистор в микропроцессоре имеет свойства [5]:

1. Транзистор может быть инфицирован – есть повреждение, но пока еще не критическое – например, попал нейтрон, тогда атом Si переходит в Si, но с измененными характеристиками (изменился изотоп Si).

2. Транзистор может быть неинфицирован – можно использовать.

3. Транзистор «умер» – не пригоден для использования.

4. Транзистор может выздороветь, т. е. свойства проводимости у него могут быть восстановлены, но такое происходит за счет того, что радиация перешла на место контакта, т. е. сам кристалл не выздоравливает в прямом смысле этого слова.

5. Транзисторы являются «бесплодными» носителями пандемии, так как их число никогда не увеличивается в рамках произведенного кристалла.

6. Транзисторы не являются переносчиками радиации – они не переносят излучение, так как не перемещаются.

Таким образом, рассмотренные свойства наиболее исчерпывающим образом соответствуют модели полной деградации популяции до уровня, когда она становится не способной освоить некоторую территорию – она вытесняется. А для микропроцессора – это уже ситуация, когда он перестает исполнять даже простейшее программное обеспечение.

### **Список литературы:**

1. Лагов, П. Б. Повышение импульсно-частотных, тепловых и инжекционных характеристик биполярных кремниевых структур методом радиационно-термической обработки: дис. ... доктора технических наук : 05.27.01 / Лагов Петр Борисович; Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина Российской академии наук. – Москва, 2018. – 342 с. – Текст : непосредственный.
2. Математическое моделирование динамики популяций: [сайт]. – URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=896575>. (дата обращения: 12.11.2022). – Текст : электронный.
3. Устройство для управления конфигурацией вычислительной системы. (2021). Патент на полезную модель 207176 U1, 15.10.2021. Заявка № 2021118609 от 25.06.2021 / Горшков В. В., Приходько Д. И., Мокряков А. В. – Текст : непосредственный.
4. Устройство для управления разрядностью вычислений. (2022). Патент на полезную модель 209758 U1, 22.03.2022. Заявка № 2021118607 от 25.06.2021 / Горшков В. В., Приходько Д. И., Мокряков А. В. – Текст : непосредственный.
5. Приходько, Д. И. Разработка и оптимизация методов эксплуатации информационных систем как этапа их жизненного цикла с учетом воздействия агрессивной внешней среды: дис. ... магистерская: 01.04.02 / Д. И. Приходько. – Москва : РГУ им. А. Н. Косыгина, 2021. – 204 с. – Текст : непосредственный.

© Приходько Д. И., 2022

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОКАТА АВТОМОБИЛЕЙ

студент **Мустафин Ранис Фанисович**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Зарипова Римма Солтановна**,  
Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье изучено функционирование проката автомобилей с целью выявления процессов, нуждающихся в автоматизации. Рассмотрены общие и функциональные требования к ПО, а также с помощью унифицированного языка моделирования UML была разработана модель программного продукта.

**Ключевые слова:** автоматизация, разработка, технологии, прокат, автомобиль.

## DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR AUTOMATION OF THE PROCESS OF RENT A CAR

Student **Mustafin Ranis Fanisovich**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Zaripova Rimma Soltanovna**,  
Kazan State Power Engineering University,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** In this article, the functioning of car rental was studied in order to identify processes that need automation. The general and functional requirements for software are considered, and a model of a software product was developed using the unified modeling language UML.

**Keywords:** automation, development, technology, rental, car.

Сегодня многие люди осознанно относятся к приобретению автомобилей и больше склоняются к их аренде, поскольку иногда экономичнее и быстрее воспользоваться общественным транспортом. Помимо этого, пользователю аренды авто не нужно платить налоги и заботиться об обслуживании транспорта.

Актуальность данной статьи заключается в необходимости использования информационных технологий для оптимизации процессов взаимодействия между клиентом и арендатором и для повышения выручки.

Для поставленных целей было выбрано создание программного обеспечения, которое работает с данными клиента и рассчитывает прибыль.

В ходе анализа основных задач со стороны клиента и арендодателя были выявлены бизнес-процессы, требующие оптимизации:

1. Составление списка автомобилей. Арендодателю необходимо знать, свободен ли автомобиль в данный момент, записывать информацию и только потом предоставлять ее клиенту. Это занимает большое количество времени, помимо этого, арендодатель может допустить ошибку.

2. Отчет. Необходимо посчитать общую прибыль за месяц, определить дату начала аренды и дату окончания аренды. Арендодатель будет вынужден проверять каждого клиента и непосредственно контактировать с ним, что отбирает довольно много времени как у клиента, так и у арендатора. Автоматизация данного процесса поможет без каких-либо проблем определить все эти данные через программное обеспечение.

3. Оформление заявки на оказание услуг. Бумажный договор может быть утерян, информация о клиенте также может быть утеряна, чтобы этого не случилось, вся информация записывается в базе данных на компьютере. За счет автоматизации процесса ситуаций с потерей данных получится избежать.

Оптимизация данных бизнес-процессов направлена на перепроектирование существующего процесса, чтобы сделать его более эффективным, упростить операции, улучшить связь, уменьшить количество ошибок и затрат, а также снизить нагрузку на работников. Эти изменения должны поспособствовать улучшению качества обслуживания, а также увеличению клиентской базы.

На рисунке показано концептуальное представление системы программного обеспечения с расписанными действиями клиента и арендодателя.

Средой разработки выбрана Microsoft Visual Studio, так как приложение создается для электронно-вычислительных машин на платформе Windows. Она обладает широким функционалом, обильным арсеналом библиотек, расширений, которые хорошо оптимизированы для работы. Среди массы языков программирования выбор пал на C# из-за его синтаксиса и уровня гибкости работы. Удобство использования занимает немаловажную роль при написании приложения, и именно в конкретном случае можно выделить понятный интерфейс, который позволит пользователю сосредоточиться на создании профиля без каких-либо проблем [1, с. 23].

Для реализации проекта нужно выбрать платформу для разработки программного обеспечения с открытым исходным кодом, и в данном случае используется .NET Core. Она идеально подходит под работу с открытым исходным кодом за счет своей гибкости, модульности и кроссплатформенности, благодаря которой разработчик может адаптировать программу под компьютеры на базе операционных систем Linux и macOS, несмотря на то, что изначально она была выполнена именно под систему на Windows [2, с. 124].

При использовании программного обеспечения пользователь должен ввести данные клиента, а именно: ФИО клиента, номер телефона арендатора, адрес, марку автомобиля, срок, на который арендуется автомобиль.



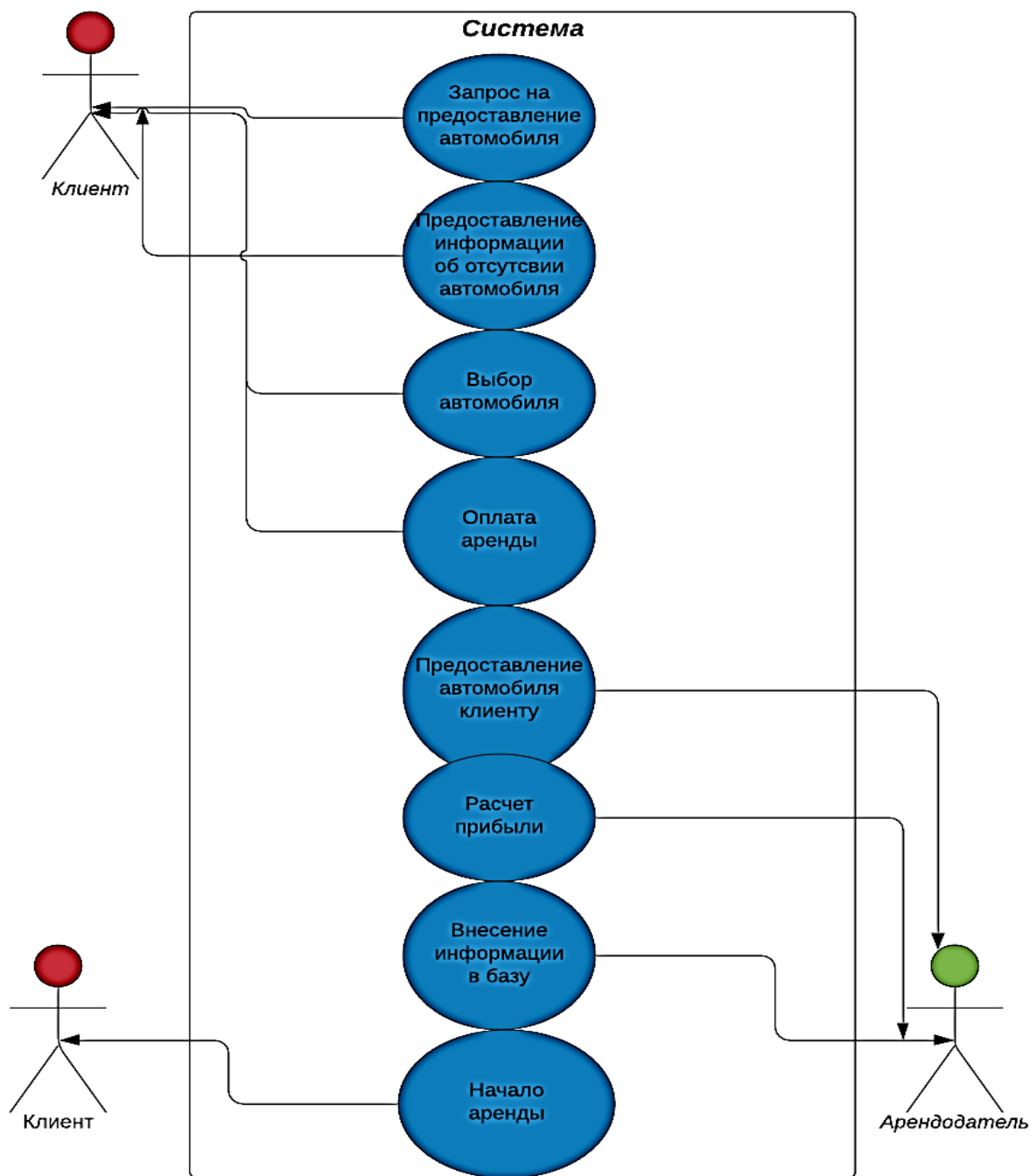


Рисунок. UML диаграмма

Следовательно, выходит, что для реализации идеи необходимо использовать базу данных, чтобы хранить и редактировать все значения. А для ввода данных в таблицу используется пользовательский интерфейс в виде консольного приложения.

Для хранения используемых данных и плотную интеграцию с ними представленная программа будет интегрироваться с MySQL, разработчиком которой выступает Oracle. Данный выбор обусловлен его надежностью, гибкостью и простотой в использовании. А за счет того, что библиотека MySql.Data.MySqlClient является встроенной в Visual Studio, это гарантирует

полное лицензионное право на использование. Чтобы использовать наши данные, разработчик обращается к довольно легкому и быстрому клиенту под Windows для управления MySQL. Она позволяет просматривать, создавать, редактировать данные и таблицы без какой-либо серьезной нагрузки на выбранную систему [3; 4; 5].

Нельзя забывать и про обеспечение информационной безопасности и конфиденциальности данных клиентов. Будет осуществлена авторизация к базам данных через консоль, чтобы пользователь сам мог вводить данные в виде логина и пароля для дальнейшей работы и быть уверенным в большей безопасности своих данных.

В результате проведенных исследований были определены функциональные требования к программному обеспечению, целью которой является оптимизация бизнес-процессов аренды автомобиля, и разработана сама модель ПО. Преимуществами ее выступают: оптимизированные рабочие процессы, снижение рисков и затрат, повышение согласованности и качества обслуживания и более эффективное взаимодействие с клиентами.

### **Список литературы:**

1. Симонова, Е. В. Структуры данных в С#: линейные и нелинейные динамические структуры: учебное пособие для СПО / Е. В. Симонова. – СПб. : Лань, 2020. – 164 с. – Текст : непосредственный.
2. Советов, Б. Я. Информационные технологии: теоретические основы: учебное пособие / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский. – СПб. : Лань, 2019. – 444 с. – Текст : непосредственный.
3. Тюкачев, Н. А. С#. Основы программирования: учебное пособие / Н. А. Тюкачев, В. Г. Хлебостроев. – СПб. : Лань, 2018. – 272 с. – Текст : непосредственный.
4. Орлов, С. А. Программная инженерия.: учебник для вузов / С. А. Орлов. – Санкт-Петербург : Питер, 2018. – 640 с. – Текст : непосредственный.
5. Алемасов, Е. П., Зарипова, Р. С. Основные аспекты развития сферы разработки мобильных приложений / Е. П. Алемасов, Р. С. Зарипова. – Текст : непосредственный // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2020. – № 1 (19). – С. 110-112.

© Мустафин Р. Ф., 2022

## АНАЛИЗ ПАРАЗИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРБИД-КРЕМНИЕВЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

аспирант **Краснов Никита Вадимович**,  
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор **Шпенст Вадим Анатольевич**,  
Санкт-Петербургский горный университет,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматриваются основные паразитные явления, возникающие при работе карбид-кремниевых полевых транзисторов с изолированным затвором (SiC MOSFET) в качестве силовых ключей преобразователей энергии. Приведена классификация паразитных явлений SiC MOSFET, описано их влияние на работу транзистора и основные методы управления ими. Также приведено краткое описание работы простейшей схемы включения SiC MOSFET с учетом описанных паразитных явлений.

**Ключевые слова:** SiC MOSFET, силовой преобразователь, паразитные явления, силовой ключ, аналитическая модель.

## ANALYSIS OF PARASITIC PHENOMENA ARISING DURING OPERATION OF SILICON CARBIDE FIELD TRANSISTORS

PhD Student **Krasnov Nikita Vadimovich**,  
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Professor  
**Shpenst Vadim Anatolievich**,  
Saint Petersburg Mining University,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The main parasitic phenomena that occur during the operation of silicon carbide field-effect transistors with an insulated gate (SiC MOSFET) as power switches of energy converters are considered. The classification of parasitic phenomena SiC MOSFET is given, their influence on the operation of the transistor and the main methods of controlling them are described. A brief description of the operation of the simplest SiC MOSFET switching circuit is also given, taking into account the described parasitic phenomena.

**Keywords:** SiC MOSFET, power converter, parasitic phenomena, power switch, analytical model.

Карбид-кремниевые полевые транзисторы с изолированным затвором (SiC MOSFET) в настоящее время получают все большее распространение в качестве силовых ключей в составе различных преобразователей энергии. Применение данных транзисторов способствует снижению потерь на тепловое рассеяние мощности, повышению энергетической эффективности работы преобразователя

в целом, а также уменьшению его массогабаритных параметров. Основным преимуществом SiC MOSFET, обеспечивающим более высокую эффективность работы по сравнению с традиционными кремниевыми транзисторами, является способность устойчивой работы при высоких частотах переключения (до 100 кГц) [1; 2].

Главными технологическими препятствиями для широкого применения SiC MOSFET в настоящее время являются ограниченная нагрузочная способность кристаллов и высокая стоимость транзистора. Основным источником проблем, возникающих при использовании SiC MOSFET, является высокочастотный режим переключения, который может приводить к ложным срабатываниям транзистора и его преждевременному износу [3]. Описание работы транзистора с целью улучшения его характеристик и предотвращения аварийных ситуаций невозможно без учета ряда параметров, возникающих при эксплуатации транзистора и называемых его паразитными элементами. Последние являются следствием особенностей структуры и монтажа транзистора.

Паразитные явления приводят к неравномерному распределению напряжения на параллельно включенных транзисторах, увеличению электромагнитных помех и повышению тепловых потерь. На схеме включения SiC MOSFET на рисунке рамкой обозначена модель транзистора с учетом паразитных элементов, к которым относятся: межэлектродные емкости затвор-исток, затвор-сток и сток-исток ( $C_{gs}$ ,  $C_{gd}$  и  $C_{ds}$  соответственно), внутренние индуктивности затвора, истока и стока ( $L_{g\_in}$ ,  $L_{s\_in}$  и  $L_{d\_in}$ ) и соответствующие им внешние индуктивности контактов и подключенных проводников ( $L_{g\_out}$ ,  $L_{s\_out}$  и  $L_{d\_out}$ ), сопротивление цепи затвора  $R_g$  и включенный встречно-параллельно паразитный диод (VD).

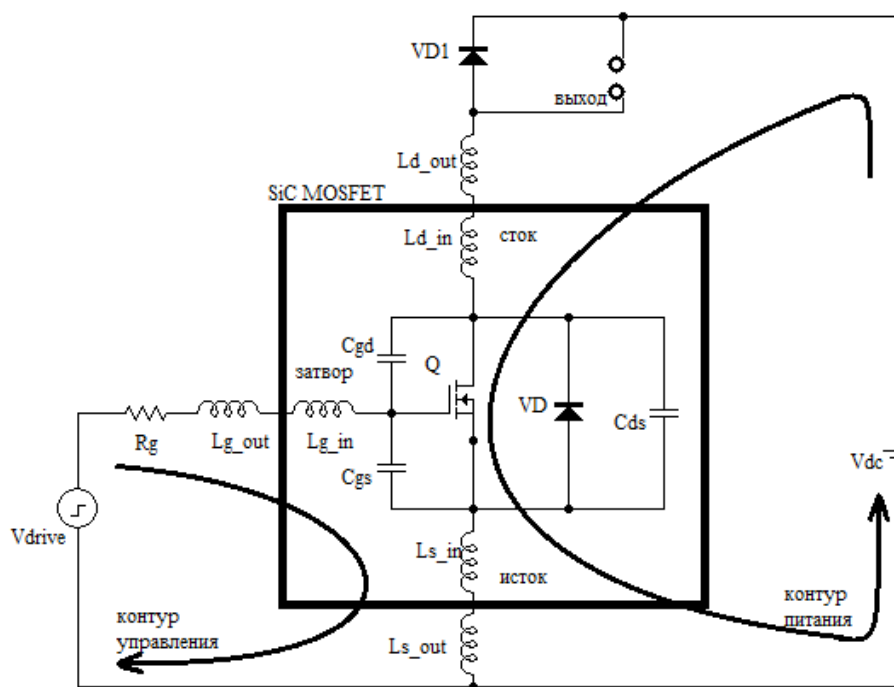


Рисунок. Схема включения SiC MOSFET с учетом паразитных элементов

Паразитные межэлектродные емкости присутствуют по умолчанию из-за емкостных связей между слоями медных проводников и основанием транзисторного модуля. Наибольшее влияние на работу преобразователя оказывает емкость  $C_{gs}$ , превышающая в сто и более раз ближайшую к ней по значению емкость  $C_{gd}$  [4]. Следует отметить, что паразитные емкости SiC MOSFET (как правило, не более 10 нФ) значительно меньше паразитных емкостей традиционных кремниевых транзисторов за счет меньших размеров кристаллов и позволяют уменьшить «мертвое время», т. е. задержку между ближайшими переключениями.

При каждом переключении транзистора происходит зарядка или разрядка паразитных емкостей, что приводит к возникновению токов смещения. Амплитуда последних определяется скоростью изменения напряжения на паразитных емкостях, их величинами и импедансом заземления радиатора транзистора. При этом следует отметить, что токи смещения, помимо очевидного негативного влияния на работу преобразователя и ее эффективность, оказывают и положительное воздействие, ограничивая скачок выходного напряжения [5].

В документации транзистора, как правило, указываются входная и выходная емкости, а также емкость обратного восстановления ( $C_{iss}$ ,  $C_{oss}$  и  $C_{rss}$  соответственно). Зная их, можно получить значения паразитных емкостей:

$$\begin{cases} C_{iss} = C_{gs} + C_{gd} \\ C_{oss} = C_{ds} + C_{gd} \\ C_{rss} = C_{gd} \end{cases} \quad (1)$$

Необходимо учитывать, что полученные по формуле (1) значения паразитных емкостей соответствуют моменту равенства напряжения участка затвор-исток ( $V_{gs}$ ) напряжению звена постоянного тока ( $V_{dc}$ ) [6]. В противном случае значения емкостей корректируются с учетом значения напряжения затвор-исток, топологии схемы и параметров конкретного транзистора, поскольку паразитные емкости имеют нелинейные зависимости от  $V_{gs}$ .

Для снижения величин паразитных емкостей могут применяться различные решения. Так, возможно внесение следующих изменений в структуру основания транзисторного модуля: введение дополнительного медного слоя, увеличение толщины керамической подложки, использование изолирующих материалов с более низкой проводимостью. Также снижению паразитных емкостей способствует снижение импеданса цепи заземления радиатора и уменьшение частоты переключения транзистора [7], однако в отношении SiC MOSFET последнее не имеет смысла, поскольку применение данных компонентов обусловлено именно возможностью работы при высоких частотах переключения.

Создаваемые паразитными емкостями и индуктивностями LC-контуры приводят к возникновению высокочастотных затухающих колебаний, ложным срабатываниям транзистора и выбросам напряжения и тока, что в свою очередь приводит к усилению электромагнитных помех, ограничению диапазона и замедлению работы преобразователя.

Паразитные индуктивности электродов транзистора имеют пренебрежимо малые значения благодаря высокому качеству компоновки модулей SiC MOSFET. Для уменьшения внешних паразитных индуктивностей при проектировании топологии преобразователя необходимо минимизировать длину соединений выводов транзистора со смежными компонентами. Также могут быть использованы RC-снабберы, способствующие снижению величины паразитных индуктивностей, однако приводящие к увеличению габаритов схемы и росту энергетических потерь из-за введения дополнительных компонентов. Компромиссом в данном отношении является использование силовых модулей, сочетающих внутри корпуса SiC MOSFET и фильтрующий конденсатор емкостью порядка 0.1-1 мкФ: в данном случае энергетические потери уменьшаются в сочетании с обеспечением снижения паразитной индуктивности по сравнению с внешним подключением снаббера [8]. Альтернативой рассмотренным способам снижения внешних паразитных индуктивностей является включение последовательно со стоком SiC MOSFET ферритового фильтра или параллельное включение конденсаторов переменной емкости: данные решения не приводят к значительному увеличению энергетических потерь.

Паразитный диод возникает из-за особенностей профиля распределения легирующей примеси в SiC MOSFET. Наличие паразитного диода оказывает существенное влияние на поведение транзистора, поэтому проектировщикам приходится рассматривать его как часть транзистора, используя вместо внешних диодов в топологии схемы или, по крайней мере, учитывая его присутствие.

Учитывая функциональную значимость паразитного диода, его выход из строя представляется недопустимым. Увеличение прямого напряжения на паразитном диоде также нежелательно, поскольку ухудшает эффективность работы преобразователя. В [9] было показано, что паразитный диод разрушается под действием непрерывного прямого тока, что приводит к перенапряжениям и более высокому рассеянию мощности.

Из-за уязвимости паразитного диода для его обхода встречно-параллельно транзистору зачастую устанавливается SiC диод Шоттки, который имеет более низкое прямое напряжение и более быстрое время восстановления. Альтернативой данному решению является добавление n-слоя, что может повысить надежность SiC MOSFET и обеспечить дополнительный контур протекания обратных токов, тем самым предотвращая пробой паразитного диода. Затраты на реализацию такого решения ниже, чем в случае установки дополнительного диода Шоттки.

Рассмотрим режимы работы простейшей схемы включения SiC MOSFET (см. рисунок) с учетом рассмотренных паразитных элементов. В момент подачи на затвор управляющего импульса, разрешающего включение транзистора, ток затвора осуществляет зарядку паразитных емкостей  $C_{gs}$  и  $C_{gd}$ . В это же время  $V_{gs}$  растет и при достижении им порогового значения происходит включение транзистора; до этого момента ток в цепи стока отсутствует.

Начиная с момента включения, ток через канал транзистора возрастает с нулевого значения, что приводит к падению напряжения на внутренних и внешних паразитных индуктивностях стока и истока и, как следствие, к небольшому снижению напряжения на участке сток-исток ( $V_{ds}$ ). Также возникновение напряжения на  $L_{s\_in}$  и  $L_{s\_out}$  сказывается на протекании тока в контуре управления; в последнем продолжается процесс заряда паразитных емкостей. При этом емкость, заряжающаяся медленнее, предотвращает снижение  $V_{ds}$ . Постепенно  $V_{gs}$  становится постоянным ( $V_m$ ), а ток через  $C_{gs}$  становится пренебрежительно мал. Коммутация SiC MOSFET завершается по достижении  $V_{ds}$  рабочего значения, после чего транзистор начинает работать в активном режиме;  $V_{gs}$  снова продолжает увеличиваться.

В момент спада управляющего импульса  $C_{gs}$  и  $C_{gd}$  начинают разряжаться по контуру управления, а  $V_{gs}$  падает при неизменном токе через канал. Транзистор продолжает работать в активном режиме до момента, когда  $V_{gs}$  не станет равным  $V_m$ , после чего транзистор переходит в режим насыщения. По мере работы в режиме насыщения сопротивление канала транзистора растет, а заряженные емкости  $C_{gs}$  и  $C_{gd}$  начинают разряжаться на емкость р-п перехода диода  $VDI$ . Последнее приводит к возникновению описанных ранее токов смещения и снижению тока через канал транзистора, что в свою очередь, приводит к индуцированию напряжения на  $L_{s\_in}$  и  $L_{s\_out}$ .

Из-за изменения полярности напряжения в контуре питания открывается диод  $VDI$  и через него начинает протекать ток канала транзистора. После того, как  $V_{ds}$  станет равным  $V_{dc}$ , степень заряда на емкости  $C_{gd}$  перестает играть роль в работе контура управления и лишь участвует в колебаниях тока и напряжения в цепи питания. Полное выключение транзистора обеспечивается, когда  $V_{gs}$  становится нулевым и ток нагрузки протекает полностью через  $VDI$ . При этом продолжают наблюдаться колебания тока и напряжения контура питания.

В конечном итоге наибольшее влияние на эффективность работы схемы оказывают паразитные емкости. Определить энергетические потери при работе преобразователя, вызванные поочередной зарядкой и разрядкой паразитных емкостей, можно по следующей формуле:

$$P_{C\_charge} = \frac{f_s(C_{gs}V_{drive}^2 + (C_{ds} + C_{gd})(V_{ds} + V_{diode})^2)}{2},$$

где  $f_s$  – частота переключения транзистора;  $V_{drive}$  – амплитуда управляющего сигнала;  $V_{diode}$  – напряжение на диоде  $VDI$ .

### **Список литературы:**

1. Parvez M. et al. Wide Bandgap DC-DC Converter Topologies for Power Applications // Proceedings of the IEEE. 2021.
2. Шпенст, В. А., Краснов, Н. В. Анализ вариантов применения SiC- и GaN транзисторов в силовых преобразователях / В. А. Шпенст, Н. В. Краснов. – Текст : непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 5. – С. 326-331.
3. Ульянов, А. В., Шибeko, Р. В. Применение SiC-транзисторов для построения силовых преобразовательных блоков / А. В. Ульянов, Р. В. Шибeko. – Текст : непосредственный // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 8. – С. 124-131.
4. Yuan D. et al. Improved Analysis Model of SiC Power MOSFET with Staged Critical Parameters // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing. 2021. Vol. 1754. No. 1. P. 012134.
5. Acharya S. et al. A 10-kV SiC-MOSFET (Gen-3) Half-Bridge Module-Based Isolated Bidirectional DC–DC Converter Block for Medium-Voltage High-Power Applications // IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering. 2021. Vol. 16. No. 1. P. 127-138.
6. Yuan D., Zhang Y., Wang X. An Improved Analytical Model for Crosstalk of SiC MOSFET in a Bridge-Arm Configuration // Energies. 2021. Vol. 14. No. 3. 683 p.
7. Dalal D. N. et al. Impact of power module parasitic capacitances on medium-voltage SiC MOSFETs switching transients // IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 2019. Vol. 8. No. 1. P. 298-310.
8. Cougo B. et al. Characterization of Low-Inductance SiC Module with Integrated Capacitors for Aircraft Applications Requiring Low Losses and Low EMI Issues // IEEE Transactions on Power Electronics. 2020. Vol. 36. No. 7. P. 8230-8242.
9. Ngwashi D. K., Phung L. V. Recent review on failures in silicon carbide power MOSFETs // Microelectronics Reliability. 2021. Vol. 123. P. 114-169.

© Краснов Н. В., 2022



## ОПС-ИНТЕРФЕЙС СБОРА ДАННЫХ С ПРИБОРОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

студент **Низамова Лия Ильшатовна**,  
науч. руководитель: ассистент **Масгутова Ирина Салаватовна**,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Салават, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе рассматривается информационная система производства PI System, а также уровень сбора данных PI Interface, в рамках которого используются интерфейсы стандарта OPC. Их разработка на сегодняшний день является актуальной задачей импортозамещения. В результате анализа и изучения программных инструментов был разработан программный код, который подключается к OPC-серверу и производит сбор необходимых значений, далее записывая их на PI Server.

**Ключевые слова:** информационная система производства, сбор данных, PI System, база данных реального времени, OPC-интерфейс.

## OPC INTERFACE FOR COLLECTING DATA FROM INSTRUMENTS IN REAL TIME

Student **Nizamova Liya Ilshatovna**,  
Academic Advisor: Assistant **Masgutova Irina Salavatovna**,  
Ufa State Petroleum Technical University,  
Salavat, Russian Federation

**Abstract.** The paper considers the PI System production information system, as well as the PI Interface data collection level, within which the OPC standard interfaces are used, the development of which is currently an urgent task of import substitution. As a result of the analysis and study of software tools, a program code was developed that connects to the OPC server and collects the necessary values, then writes them to the PI Server.

**Keywords:** production information system, data collection, PI System, real-time database, OPC interface.

Одной из важнейших задач нефтехимических компаний является непрерывный контроль производственных процессов, который осуществляется с помощью информационных систем производства, выполняющих функции сбора, хранения и предоставления данных пользователю. Рассматриваемые системы как один из цифровых инструментов высокотехнологичных компаний способствуют повышению эксплуатационных характеристик и надежности активов, позволяют предотвращать катастрофические перебои и принимать решения в режиме реального времени, основываясь на полученных данных.

Сотрудники отделов информационных систем производства промышленных предприятий выполняют работы по внедрению и технической поддержке программных продуктов, позволяющих получать информацию с АСУТП и приборов учета всего предприятия в единую базу данных реального времени. Собранные и упорядоченные в одном хранилище данные позволяют не только отображать и контролировать ситуацию об оперативных сведениях с технологических установок, но и проводить анализ на основе исторических показателей, сводить экономический баланс.

Сбор и хранение производственной информации реализуется в базе данных реального времени MES-системы PI System. Система управления производством (MES – Manufacturing Execution System) представляет собой облачный набор инструментов для управления производственными бизнес-процессами и контроля за каждым производственным этапом [1]. MES-системы направлены на решение оперативных задач в режиме реального времени и оптимизации этих решений с учетом текущей информации о состоянии оборудования и процессов. Plant Information System (PI System) – комплекс программного обеспечения для управления данными, включая сбор, хранение, обработку и их представление по компании, предприятиям и отдельным процессам [2]. Актуальность использования PI System в нефтегазовых компаниях обуславливается необходимостью получения оперативной информации с энергоемких и дорогостоящих производственных активов в неблагоприятных условиях. Более 75 % сырой нефти, природного газа и газового конденсата в мире производятся, собираются, обрабатываются, транспортируются и доставляются с помощью PI System [3]. PI System поддерживает распределенную клиент-серверную архитектуру. Серверное ПО обеспечивает сбор информации от разнообразных источников данных, сжатие и архивирование информации по оригинальным алгоритмам, обработку больших объемов данных, быстрый доступ клиентских приложений к архиву. Клиентское ПО обеспечивает отображение трендов истории или текущих данных на мнемосхемах и быструю подготовку отчетов.

Инфраструктура данных PI System состоит из трех основных уровней: PI Server (хранение, обработка и анализ), PI Clients (представление и визуализация) и PI Interface (сбор данных). Составляющие элементы PI Interface для сбора данных представлены на рисунке 1.



Рисунок 1. Составляющие элементы PI Interface

Интерфейсы PI System обеспечивают сбор данных из большей части систем производственной автоматизации. Сбор данных на нефтегазовых предприятиях реализуется с систем АСУТП (Honeywell, Yokogawa) и приборов КИП (сенсорика, газоанализатор (matrix)). С помощью таких интерфейсов реализуется поддержка стандартов OPC, Modbus, OLEDB, SNMP, ВАСnet, TCP/IP, SOAP, RDBMS и др. PI Interface™ для OPC представляет собой настраиваемый интерфейс OPC COM для PI System. Каждый интерфейс подключается только к одному OPC-серверу. К одному OPC-серверу можно подключить более одного интерфейса. PI OPC Interface поддерживает автоматическую синхронизацию точек, запуск при отсутствии соединения с сервером и переключение при отказе. PI OPC DA/HDA Server представляет собой сервер OPC Server для Data Archive. Он может работать с любым клиентом OPC, который соответствует стандартам OPC DA и/или OPC HDA 1.1 и позволяет пользователям читать, вставлять данные или удалять данные из Data Archive.

Разработанный код реализует программу, которая подключается к OPC-серверу и опрашивает необходимые значения и записывает их на PI Server. Создаются точки, которым указывается источник точки, далее это будет записано в настройки программы. Программа берет из своего файла настроек имя Point Source и загружает все точки с таким же Point Source, по которому необходимо производить запрос. Далее по этим точкам строит их инструмент теги, берет инструмент теги точек и начинает их опрос на OPC-сервере, если значение меняется, то она записывает новое обновленное значение в точку на PI Server и обновляет каждые 10 секунд.

Это универсальная программа для любого прибора, который использует OPC-сервер. При разработке программного кода были использованы библиотеки PI SDK и Titanium as. PI Software Development Kit (PI SDK) – это программная библиотека, обеспечивающая доступ к серверам PI [4]. PI SDK использует объектно-ориентированный иерархический подход для обеспечения доступа для чтения и записи к функциям PI Server. TitaniumAS.Opc.Client – клиентская библиотека .NET с открытым исходным кодом для OPC DA. Библиотека предоставляет оболочки .NET COM для взаимодействия OPC DA [5]. В ходе задачи был использован симулятор OPC-сервер Matricon, на предприятии данные собираются с OPC Honeywell, Yokogawa, они используют единый протокол для всех. Программный код был создан с целью получения навыков с работой с базой данных реального времени по работе с PI Server опроса OPC-сервера.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using TitaniumAS.Opc.Client.Da;
using TitaniumAS.Opc.Client.Common;
using PISDK;
namespace ConsoleApplication2
{
    class Program
```

```

{
    struct tag
    {
        public string insttag;
        public PISDK.PIPoint point;
    }
    static List<tag> instrument = new List<tag>();
    static void Main(string[] args)
    {
        PISDK.PISDK g_SDK = new PISDK.PISDK();
        PISDK.Server myServer = g_SDK.Servers["PI5"];
        PISDK.PointList testList =
myServer.GetPoints("PointSource='OPCTEST01'");
        foreach(PISDK.PIPoint point in testList)
        {
            tag tag1 = new tag();
            tag1.insttag = point.PointAttributes["InstrumentTag"].Value;
            tag1.point = point;
            instrument.Add(tag1);
        }
        Uri url = UriBuilder.Build("Matrikon.OPC.Simulation.1");
        using (var server = new OpcDaServer(url))
        {
            server.Connect();
            OpcDaGroup group = server.AddGroup("MyGroup");
            group.IsActive = true;
            OpcDaItemDefinition[] definitions
= new OpcDaItemDefinition[instrument.Count];
            for(int i=0; i<instrument.Count; i++)
            {
                var definition1 = new OpcDaItemDefinition
                {
                    ItemId = instrument[i].insttag,
                    IsActive = true
                };
                definitions[i] = definition1;
            }
            OpcDaItemResult[] results = group.AddItem(definitions);
            foreach (OpcDaItemResult result in results)
            {
                if (result.Error.Failed)
                    Console.WriteLine("Error adding items: {0}", result.Error);
            }
            OpcDaItemValue[] values =
group.Read(group.Items, OpcDaDataSource.Device);

```

```

foreach(OpcDaItemValue val in values)
{
    Console.Write(val.Item.ItemId);
    Console.WriteLine(val.Value);
    Console.WriteLine(val.Value.GetType());
}
group.ValuesChanged += OnGroupValuesChanged;
group.UpdateRate = TimeSpan.FromMilliseconds(10000);
while (true) { }
}
}
static void OnGroupValuesChanged(object sender, OpcDaItemValuesChan
gedEventArgs args)
{
    foreach (OpcDaItemValue value in args.Values)
    {
        instrument.Find(r => r.instag ==
value.Item.ItemId).point.Data.UpdateValue(value.Value, DateTime.Now);
    }
}
}
}

```

На рисунке 2 представлена работа программы, где можно наблюдать процесс изменения данных на сервере.

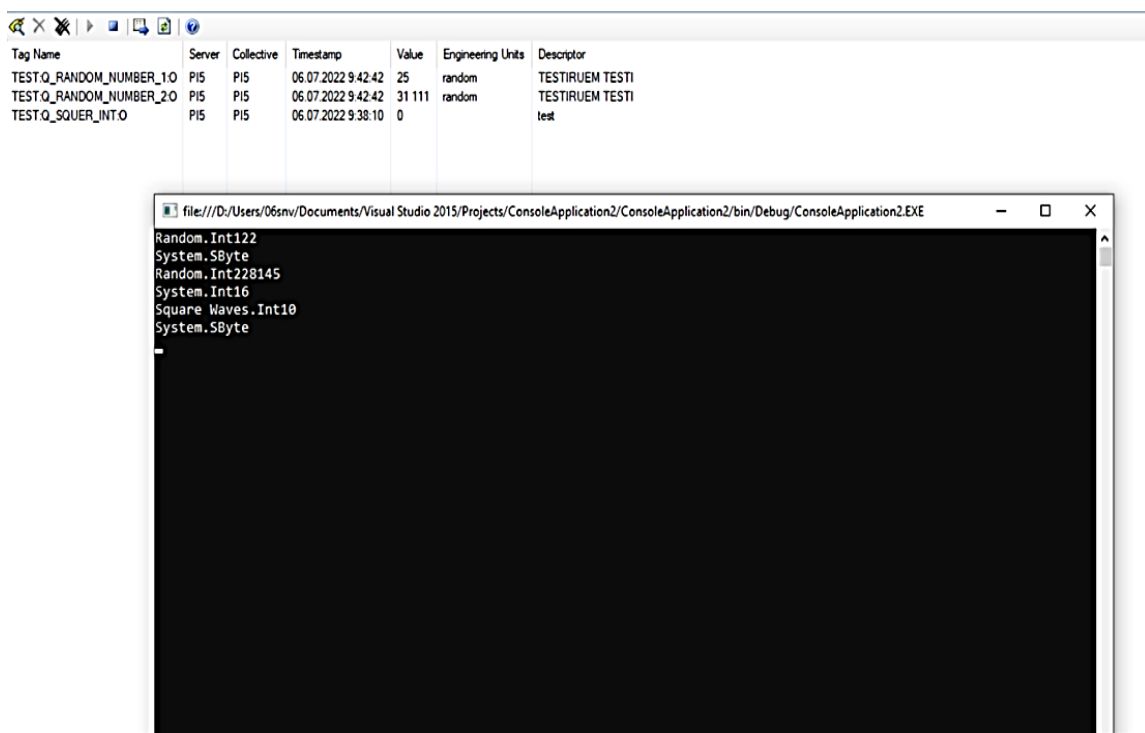


Рисунок 2. Работа программного кода OPC-интерфейса

Таким образом, задача разработки OPC-интерфейса является актуальной среди нефтехимических компаний, сбор данных для которых представляет важную производственную задачу. От нее зависит выполнение и контроль технологических процессов производства.

### **Список литературы:**

1. MES – система управления производством: [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.generixgroup.com/ru/blog/mes-sistema-upravleniya-proizvodstvom> (дата обращения: 10.11.2022). – Текст : электронный.
2. PI System эффективно использует производственные данные и открывает новые возможности: [сайт]. – 2020. – URL: <https://www.osisoft.ru/pi-system> (дата обращения: 10.11.2022). – Текст : электронный.
3. PI Интерфейсы: [сайт]. – 2017. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:PI\\_System](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:PI_System) (дата обращения: 10.11.2022). – Текст : электронный.
4. Аппаратные средства SCADA-системы: [сайт]. – 2019. – URL: <https://pandia.ru/text/80/161/8182-25.php> (дата обращения: 09.11.2022). – Текст : электронный.
5. TitaniumAS.Opc.Client. 2022. URL: <https://github.com/titanium-as/TitaniumAS.Opc.Client> (дата обращения: 09.11.2022).

© Низамова Л. И., 2022

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДВОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ К СИСТЕМАМ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

канд. техн. наук, доцент **Гладышев Николай Николаевич**,  
студент **Ширяев Александр Дмитриевич**,  
студент **Долженко Ольга Андреевна**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Тепловая сеть в системе централизованного теплоснабжения выполняет две функции: осуществляет транспортировку теплоносителя от источника до потребителя, а также осуществляет распределение теплоты между многочисленными абонентами. Низкое качество распределения тепловой энергии между абонентами приводит к перетапливанию зданий и перерасходу потребляемого топлива.

**Ключевые слова:** централизованная система теплоснабжения, тепловая сеть, транспорт тепловой энергии.

## EFFICIENCY OF REGULATION OF HEAT SUPPLY TO HEATING SYSTEMS OF RESIDENTIAL BUILDINGS

PhD in Technology, Associate Professor **Gladyshev Nikolay Nikolaevich**,  
Student **Shiryayev Alexander Dmitrievich**,  
Student **Dolzhenko Olga Andreevna**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The heating network in the district heating system performs two functions, namely, it transports the coolant from the source to the consumer, and also distributes heat between numerous subscribers. The poor quality of the distribution of thermal energy between subscribers leads to over-heating of buildings and overspending of consumed fuel.

**Keywords:** centralized heat supply system, heat network, heat energy transport.

Системы теплоснабжения в РФ можно отнести к самому значимому и энергоемкому сектору экономики, в котором потребляется примерно от 40 до 50 % используемых в стране энергоресурсов [1]. Следовательно, задача повышения эффективности экономики не может быть решена без повышения энергоэффективности систем теплоснабжения. Одной из главных причин столь

значительного потребления топлива в системах централизованного теплоснабжения является низкая эффективность транспортных коммуникаций.

Кроме транспорта тепловой энергии от источника до потребителя, тепловые сети выполняют не менее важную распределительную функцию, которая заключается в регулировании распределения тепловой энергии между многочисленными абонентами, подключенными к единой тепловой сети.

Регулирование подвода тепловой энергии к отапливаемым зданиям в системах централизованного теплоснабжения (СЦТ) основано на балансе производимой и потребляемой теплоты с использованием в качестве базового параметра температуру наружного воздуха, в то время как регулируемым параметром является температура внутреннего воздуха, заполняющего внутреннее пространство отапливаемых помещений [2]. Используя температуру наружного воздуха, можно говорить лишь о корректировке отопительной нагрузки, но не о регулировании.

Классическая схема регулирования подвода тепловой энергии к системам отопления возможна лишь в децентрализованных системах с индивидуальным источником теплоты (например, с индивидуальным отопительным газовым котлом). Такие системы регулирования включают в себя объект регулирования (отапливаемое одно или несколько помещений), датчик регулируемого параметра (температуры внутреннего воздуха), регулятор и исполнительный механизм, воздействующий на источник теплоты, путем изменения расхода топлива или временного его отключения. В таких системах не только регулируется внутренняя температура воздуха, но и осуществляется экономия топлива.

В централизованных системах теплоснабжения с многочисленными абонентами такая система регулирования невозможна, так как источник отдален от систем теплоснабжения и связан с ними с помощью тепловой сети. В этом случае значительную роль в улучшении распределения тепловой энергии выполняет проведение наладочных работ на тепловой сети.

Проведение наладочных работ позволяет добиться таких режимов работы тепловой сети, при которых здания на концах трубопроводов получают необходимое минимальное количество теплоты. Однако при этом подавляющее число жилых и административных зданий, подключенных к единой тепловой сети, получают избыточное количество теплоты, т. е. перетапливаются [3].

Режимы перетапливания в системах централизованного теплоснабжения объясняются следующими объективными причинами. В таких системах роль источника тепловой энергии выполняет не котельная или теплоэлектроцентраль (ТЭЦ), а трубопроводы тепловой сети с циркулирующим в них теплоносителем. Величина циркуляции и температура теплоносителя определяют количество тепловой энергии, содержащейся в тепловой сети.

Именно максимальное наполнение тепловой сети энергией позволяет на абонентских вводах отводить различное количество теплоты с применением приборов погодного регулирования. Указанное максимальное наполнение



достигается за счет максимального потребления топлива к источникам теплоснабжения. Таким образом, теплоснабжающие организации, сжигая максимальное количество топлива, вынуждены максимально наполнять тепловую сеть теплотой, а предприятиям жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) позволительно принимать или не принимать теплоту, на выработку которой уже затрачено топливо [4]. Поэтому установка термоголовок на отопительных приборах в некоторой степени позволяет регулировать температурный режим в помещениях, но не приводит к экономии топлива.

Применяемые системы регулирования ставят в неравные условия теплоснабжающие и теплопринимающие организации. Так потребитель тепловой энергии может позволить себе отказаться от приема тепловой энергии или ограничить его. В то время как поставщик обязан выдавать в тепловую сеть столько тепловой энергии, чтобы исключить недотапливание любого здания, подключенного к данной сети. Работа в таких условиях приводят к значительному увеличению расхода потребляемого топлива теплоснабжающими организациями.

Полноценное регулирование подвода теплоты к отопительным приборам, позволяющее поддерживать внутреннюю температуру воздуха и экономить топливные ресурсы, возможно только в системах теплоснабжения с индивидуальными источниками теплоты, в качестве которых могут использоваться парокомпрессионные тепловые насосы (ТНУ), встраиваемые в системы отопления отдельных квартир. Такие ТНУ необходимо отнести к разряду бытовых отопительных приборов [5].

Предлагаемые системы теплоснабжения включают в себя два источника: в первичном источнике (когенерационная ТЭЦ) вырабатывается электрическая энергия и низкотемпературная теплота, во вторичном источнике, в качестве которого используется ТНУ, устанавливаемого в системах теплоснабжения, формируется тепловой поток в строго необходимом количестве для системы отопления отдельного помещения или квартиры. Коэффициент полезного использования теплоты сжигаемого топлива первичного когенерационного источника энергоснабжения будет соответствовать КПД современных водогрейных котельных.

В заключение можно сказать, что строительство ТЭЦ, работающих по парогазовому циклу, позволяет существенным способом увеличить производство электрической энергии, которое может быть использовано в системах теплоснабжения.

Подводимое к ТНУ электричество выполняет роль регулирующей энергии, исключая режимы перетапливания и недотапливания помещений здания.

Таким образом, применение тепловых насосов существенно повысит качество регулирования подвода тепловой энергии к отопительным системам жилых и административных зданий. В квартирах с установленными бытовыми ТНУ сами жители будут регулировать необходимый температурный режим, что свидетельствует о высоком качестве теплоснабжения.

### **Список литературы:**

1. Гладышев, Н. Н. Ресурсосберегающие технологии в системах централизованного теплоснабжения ЖКХ: монография / Н. Н. Гладышев. – СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 137 с. – Текст : непосредственный.
2. Гладышев, Н. Н., Червинский, В. Н. Системы отопления в многоквартирных домах с применением электрической и тепловой энергии / Н. Н. Гладышев, В. Н. Червинский. – Текст : непосредственный // Энергетика, экология и бизнес: материалы 3-й Международной науч.-практ. конференции. – СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. – С. 52-55.
3. Данилов, О. Л., Гаряев, А. Б., Яковлев, И. В. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов; под ред. А. В. Клименко. / О. Л. Данилов, А. Б. Гаряев, И. В. Яковлев и др. – М. : Издательский дом МЭИ, 2010. – 424 с. – Текст : непосредственный.
4. Гладышев, Н. Н., Короткова, Т. Ю., Иванов, В. Д. Справочное пособие теплоэнергетика жилищно-коммунального предприятия / Н. Н. Гладышев, Т. Ю. Короткова, В. Д. Иванов и др. – СПб. : СПбГТУРП, 2008. – 535 с. – Текст : непосредственный.
5. Луканин, П. В. Технологические энергоносители предприятий (Низкотемпературные энергоносители): учеб. пособие / П. В. Луканин. – СПб. : СПбГТУРП, 2005. – 115 с. – Текст : непосредственный.

© Гладышев Н. Н., Ширяев А. Д., Долженко О. А., 2022

## МЕТОД АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЕМ

студент **Полякова Софья Викторовна**,  
Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева,  
г. Кемерово, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной работе подробно описан метод анализа статистических данных на примере процесса управления оборудованием. Даны определения терминам: «Метод анализа статистических данных», «Контрольный листок» и «Диаграмма связей».

**Ключевые слова:** анализ статистических данных, процесс управления, статистические данные, контрольный листок, диаграмма связей, рекомендации по улучшению деятельности.

## METHOD OF ANALYSIS OF STATISTICAL DATA OF THE EQUIPMENT CONTROL PROCESS

Student **Polyakova Sofya Viktorovna**,  
Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev,  
Kemerovo, Russian Federation

**Abstract.** This paper describes in detail the method of statistical data analysis on the example of equipment control process. The definitions of terms are given: “Statistical data analysis method”, “Checklist” and “Relationship diagram”.

**Keywords:** statistical data analysis, management process, statistical data, checklist, linkage diagram, recommendations for improvement.

Метод анализа статистических данных – статистический метод обработки данных, их систематизации, наглядного представления в виде таблиц и графиков, а также количественное описание данных с помощью системы статистических показателей.

Разработка методики внедрения статистических инструментов включает в себя процесс мозгового штурма, в ходе которого было принято решение, в первую очередь, создать формы для регистрации данных «Контрольный листок». Для анализа был выбран процесс «Управление оборудованием», ведь любое предприятие снабжено оборудованием, которое играет важную роль для его эффективной деятельности.

Контрольный листок представляет собой форму для регистрации и подсчета данных, собранных в результате наблюдений и (или) измерений контролируемых показателей в течении установленного периода времени [1].

Пример контрольного листка для регистрации данных по управлению оборудованием:

Наименование продукта: оборудование

Срок: 3 месяца

Операция: управление оборудованием

Участок: 3 сектора открытых работ

Примечание: разработка контрольного листка за 3 квартала

Дефекты	Сектора			Всего
	1 сектор (6 км)	2 сектор (12 км)	3 сектор (4 км)	
Механические повреждения				17
Изнашивание				3
Несвоевременное обслуживание				5
Задержка в поставке оборудования				8
Брак				1
Прочие дефекты				9
Общее число	15	19	9	43

По данным контрольного листка была построена диаграмма связей и сродства по дефектам «Механические повреждения оборудования» (рисунок 1) и «Задержка в поставке оборудования» (рисунок 2), которые имеют самое большое количество повторений за установленный период времени.

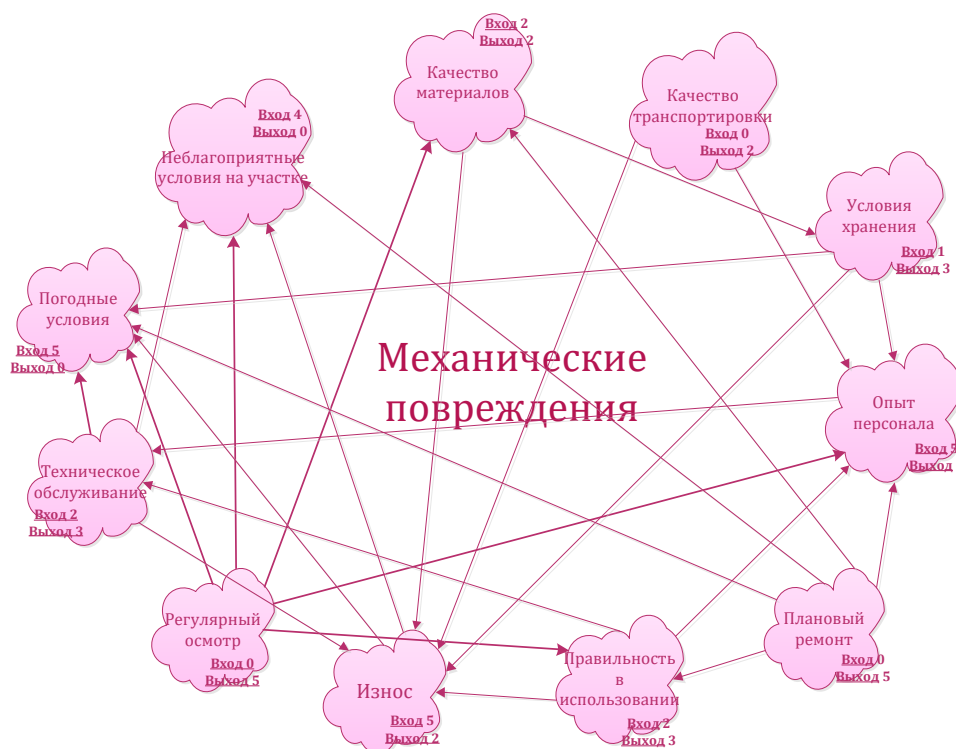


Рисунок 1. Диаграмма связей

Диаграмма связей облегчает обработку информации, генерирует новые идеи решения возникающих проблем. Данная диаграмма широко используется для принятия решений, планирования, сбора и структурирования данных [2].



Рисунок 2. Диаграмма средства

Диаграмма средства предназначена для группирования и упорядочивания большого количества качественных (не числовых) данных. Группирование данных представляет собой группу, выделенную по некоторому признаку, характерному только для этой группы [3].

В ходе применения статистического анализа была выявлена основная потенциальная проблема – нарушение условий труда. Для решения данной проблемы были сформулированы рекомендации по улучшению деятельности, для этого необходимо решить следующие задачи:

- провести оценку условий труда, оценку уровней профессиональных рисков;
- реализовать мероприятия по улучшению условий труда;
- внедрить систему автоматического и дистанционного управления и регулирования производственным оборудованием, технологическими процессами;
- монтаж средств сигнализации о нарушении нормального функционирования производственного оборудования, средств аварийной остановки, а также устройств, позволяющих исключить возникновение опасных ситуаций при полном или частичном прекращении энергоснабжения и последующем его восстановлении [4; 5];
- устройство ограждений элементов производственного оборудования от воздействия движущихся частей, а также разлетающихся предметов;

- механизировать и автоматизировать технологические процессы, связанные с хранением, транспортировкой;
- механизировать уборку производственных помещений, своевременно удалять отходы производства (источники опасных и вредных производственных факторов);
- модернизировать оборудования, а также технологические процессы на рабочих местах;
- издать инструкции по охране труда.

### **Список литературы:**

1. Полякова, С. В. Статистические методы в управлении качеством. Диаграмма Парето : материалы Международного конкурса курсовых, научно-исследовательских и выпускных квалификационных работ / С. В. Полякова. – Текст : непосредственный // «RESEARCH WORK». – Кемерово, 2021. – С.10-15.
2. Полякова, С. В. Моделирование и описание бизнес-процессов на примере ветклиники «IRBIS» / С. В. Полякова. – Текст : непосредственный // Энергетика и автоматизация в современном обществе : материалы Международной научно-практической конференции обучающихся и преподавателей. – Кемерово, 2022. – С. 220-225.
3. Махметова, А. Е. Методический инструментарий анализа и оценки бизнес-процессов предприятий / А. Е. Махметова. – Текст : непосредственный // Вестник СГСЭУ. – 2014. – № 2 (51). – С. 69-72.
4. Россиева, Д. В. Автоматизация процессов системы менеджмента качества с использованием систем графического моделирования / Д. В. Россиева. – Текст : непосредственный // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии : материалы Всероссийской научно-практической конференции / Кузбасский государственный технический университет. – Кемерово, 2020. – С. 205-206.
5. Моделирование бизнес-процессов: цели, методы и результаты: [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.enterchain.ru/experience/mbp/modelirovanie-biznes-protsessov-tseli-metody-i-rezultaty/> (дата обращения: 15.11.2022). – Текст : электронный.

© Полякова С. В., 2022

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ЭКОНОМИКИ ВНЕДРЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

студент **Журавлева Виталия Владимировна**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент  
**Ткаченко Алексей Леонидович**,  
Калужский государственный университет им. Циолковского,  
г. Калуга, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются принципы работы искусственного интеллекта и его воздействие с экономической сферой, а также последствия такого взаимодействия.

**Ключевые слова:** информационные технологии, интеллектуальные информационные технологии, экспертная система, бизнес-среда, база данных.

## SOLVING ECONOMIC PROBLEMS WITH THE INTRODUCTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Student **Zhuravleva Vitaliya Vladimirovna**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Tkachenko Alexey Leonidovich**,  
Tsiolkovsky Kaluga State University,  
Kaluga, Russian Federation

**Abstract.** This article discusses the principles of artificial intelligence and its impact on the economic sphere, as well as what such interaction can lead to.

**Keywords:** information technologies, intelligent information technologies, expert system, business environment, database.

Сегодня мы можем гордиться существующими информационными технологиями. Еще лет десять назад мы даже не могли представить, как изменится наша жизнь, особенно с технической стороны. Мы можем делать прогнозы на будущее, создавать все больше и больше необходимого для жизни. Есть представления о том, каких высот возможно достичь через несколько лет. В то же время появилось и множество недостатков [1; 2]. Мы не можем представить свою жизнь без технологий. Человечество нашло применение им в различных сферах: будь то экономика, менеджмент, образование, медицина – все способно совмещать современные технологии и прямую деятельность [3; 4].

Если рассматривать информационные системы и современную экономику, можно сделать вывод, что они неразрывно связаны. Та масса данных, которая хранится в огромных предприятиях, должна быть упорядочена и взаимодействовать со всеми узлами организации. Высокая оценка уровня

экономических действий за счет информационных технологий делает возможным увеличение популярности этого направления в будущем, и как следствие поднять данную сферу на уровни выше в жизни людей и сделать еще больше новых открытий.

Причина, по которой люди не могли решить данную проблему, в том, что не было такой системы, которая с высокой точностью могла бы ухватить все данные, чтобы проделать различные манипуляции с ними. Информация, содержащаяся в базах данных, может быть применена для решения различного рода задач за счет интеллектуальных информационных технологий (ИИТ).

Из ИИТ вытекает такое понятие как интеллектуальная информационная система (ИИС) – это итог развития обычных информационных систем (ИС), совокупности взаимосвязанных мер, способных проводить различные манипуляции с информацией, а также самостоятельно определять собственные параметры в зависимости от состояния внешней среды и специфики решаемой задачи. Благодаря своему назначению интеллектуальные информационные системы могут использоваться в любой области: промышленность, предпринимательство, медицина, экономика и т. д. Как и любая информационная система и вообще любая система в целом, она обладает рядом функций, например: начиная с пересылки мессенджеров и заканчивая высокосложными задачами по принятию решений.

В процессе развития данной технологии была выявлена новая система. Такая технология способна в проблемной ситуации взять всю ответственность за принятие решений на себя как настоящий эксперт. Такой участник проблемы способен не только организовать все в своей системе, но и сделать определенные выводы из имеющейся информации. Такая система получила название экспертной системы, которая используется очень давно. Она способна сделать то, что не под силу обычному человеку в рамках прогнозирования и предсказания решений.

На сколько огромна любая база данных крупных и средних предприятий можно только догадываться. Чтобы хранить такую информацию, недостаточно просто загрузить данные – их необходимо обрабатывать и прогнозировать. Отсюда вытекает необычная способность экспертных систем: за счет своего искусственного интеллекта, которым не может похвастаться ни один человек, она способна использовать свою программу для решения сложных проблем в различных ситуациях. Эти данные представлены в смутных условиях и определены первоначально неизвестно, так как представлены как цепочка неизвестных из базы знаний. База данных представляется как многоемкое пространство, в котором хранятся знания из нескольких сфер. Так вот база знаний – это своего рода база данных, которая оперирует информацией определенной области.

Современное общество может гордиться тем, как возросла популярность бизнес-среды. Но в то же время потребовалось больше специалистов, разбирающихся в экономике и в способах совместить эти знания с



информационными системами для создания новых способов внедрения бизнес-процессов. В связи с этим спрос на экономистов-аналитиков возрос, поэтому на изучение информационных систем потребуется больше времени для будущих профессионалов.

Наиболее известные экспертные системы в области экономики: Management Advisor (консультант менеджера), Lending Advisor (консультант кредитора), Underwriting Advisor (гарантирующий консультант) и др. Все использовались для решения различных проблем в области экономики. В следствие улучшилось положение организаций после их внедрения. Они проводят оценку различных коммерческих операций для их точного планирования, анализируют коммерческие займы, оценивают риски. Статистика использования экспертных систем позволила сделать вывод: экспертная система станет дополнением в работе с данными, либо заменят эксперта в определенной среде.

В результате связывания воедино информационных систем и экспертных систем произошла новая волна в развитии искусственного интеллекта.

Важный факт состоит в том, что, применяя ИИС для решения слабо структурированных задач, мы расширяем область применения ИИС.

Таким образом, информационные системы начали развиваться еще больше и развились в новые системы в экономике. Система BRP (Business Process Reengineering) имеет цель сделать организацию информационных фракций и, внедряя информационные технологии, сделать предприятие многосоставным. Интегрированные системы организуют контроль действий в организации, внедряя информационные начала в производство. Система ERP (Enterprise Resource Planning) способна управлять трудовыми ресурсами, сбалансировать и оптимизировать ресурсы предприятия.

Достижения ИИС со встроенными экономическими операциями привлекли внимание информационных служб к возможностям ИС [5].

Позднее выяснилось, что информационных систем, которые мы уже знаем недостаточно, чтобы реализовать такую проблему, как интерфейс и сложные вычисления, а также обмен масштабными данными в системе реального времени в надежном формате. Эта проблема была решена за счет систем DDS (Data Distribution Service – Служба распространения данных). Она имеет интеллект гораздо больше, чем у обычных ИС. Отличается она тем, что здесь производится заблаговременное вычисление данных, высокая технология хранения информации, многоаспектный поиск.

Фирмы: ORACLE, Microsoft, SYBASE поставляют такие системы, которые уже содержат DDS как компонент. В их составе нейронные сети и интеллектуальный анализ.

Все системы имеют как преимущества, так и недостатки. ИИС является той системой, в которой границы возможностей до конца неизвестны. И чтобы работать с данной системой, необходимо ее обеспечить базой данных, на которую необходимы значительные трудозатраты.

Когда собирается экспертная система, специалисты сталкиваются с еще одной проблемой ИИС. Экспертная система хоть и эффективна в принятии решений, но сложна в обучении, когда нужно решать задачи универсального характера.

Принятие решений в социальной, политической или экономической области вместе с ИИС набирает все больше оборотов. Как результат: в экономике, в системах управления, коммерции, планирования и т. д. параллельно могут быть использованы другие сферы из информационных систем.

Развивая ИИС, профессионалы расширили и круг их возможностей. В сущности информационные системы помогают нам оценить состояние предприятия, чтобы принять действительно верные решения по решению таких проблем, как например, кризис. В связи с этим, пользователи, которые не знакомы с программированием, смогут разобраться с ситуацией за счет интерфейса.

Важность ИИС определяется тем, что:

1. В DDS осуществляется отбор зависимостей или агрегатов, при которых связь между данными и гипотезами оказываются более легкими.

2. В архитектуре ИИС создаются начальные этапы обработки, характерные для искусственного интеллекта.

3. ИИС связывают возможности СУБД (Система управления базами данных) в основе ИС.

4. Реально снижаются операционные издержки, а также повышается сторона управленческих решений.

Те организации, которые смогут использовать ИИС по назначению и в пользу своей деятельности будут успешными в будущем. Неопределенность в бизнес-среде будет продолжаться до тех пор, пока люди не достигнут пика в развитии информационных технологий. А как показывает время, пика достичь невозможно. Поэтому развиваться общество будет постоянно и будут появляться все новые и новые принципы развития экономики, политики, менеджмента и других сфер общества, которые уже затронули информационные системы.

### **Список литературы:**

1. Ткаченко, А. Л. Проблемы автоматизации системы управления проектами предприятия: научные труды Калужского государственного университета имени К. Э. Циолковского, Калуга, 14 апреля 2021 года / А. Л. Ткаченко, С. О. Борисов. – Калуга : Издательство Калужского государственного университета им. К. Э. Циолковского, 2021. – С. 120-125. – Текст : непосредственный.

2. Иванец, М. Э. Анализ угроз информационной безопасности для коммерческой организации / М. Э. Иванец, А. Л. Ткаченко. – Текст : непосредственный // Цифровая трансформация промышленности: тенденции и перспективы : сборник научных трудов по материалам 2-й Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 11 ноября 2021 года. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Русайнс", 2022. – С. 364-370.

3. Ткаченко, А. Л. Анализ и интеграция информационной системы предприятия с облачным сервисом / А. Л. Ткаченко, В. В. Копнева. – Текст : непосредственный // Вестник Калужского университета. – 2021. – № 3 (52). – С. 42-45.
4. Лисина, Е. А. Управление эффективностью бизнеса с помощью аналитических систем / Е. А. Лисина, А. Л. Ткаченко. – Текст : непосредственный // Калужский экономический вестник. – 2022. – № 3. – С. 44-46.
5. Ткаченко, А. Л. Реинжиниринг бизнес-процессов компании ООО "Компьютерра» за счет внедрения конфигурации "1С: управление торговлей" / А. Л. Ткаченко, В. А. Рожкова, В. Д. Леонова, А. А. Щеглова. – Текст : непосредственный // Информационные технологии в экономике и управлении : сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Махачкала, 11–12 ноября 2020 года. – Махачкала : Типография ФОРМАТ, 2020. – С. 126-129.

© Журавлева В. В., 2022

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ИНДУСТРИИ 4.0

студент **Шарифуллин Эльгард Русланович**,  
науч. руководитель: ст. преподаватель **Марченко Алия Салаватовна**,  
Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе представлена информация о виртуальной и дополненной реальности и применение этих технологий в промышленной индустрии 4.0.

**Ключевые слова:** индустрия 4.0, четвертая промышленная революция, информационные технологии, виртуальная реальность, дополненная реальность.

## APPLICATION OF VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES IN PRODUCTION INDUSTRY 4.0

Student **Sharifullin Elgard Ruslanovich**,  
Academic Advisor: Senior Lecturer **Aliya Salavatovna Marchenko**,  
Kazan State Power Engineering University,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** The paper presents information about virtual and augmented reality and the application of these technologies in production industry 4.0.

**Keywords:** industry 4.0, the fourth industrial revolution, information technology, virtual reality, augmented reality.

Четвертая промышленная революция, или, как ее еще называют, индустрия 4.0 – это внедрение информационных технологий, цифровизация в промышленности, новый подход к производству путем распространения искусственного интеллекта, роботизации и автоматизации. Преимущества этой индустрии видны невооруженным глазом: повышение производительности, повышенная безопасность персонала в опасных условиях труда, введение новой продукции и многое другое. Однако есть и минусы: роботы будут заменять рабочие места людей, так как будут работать в разы эффективнее, для реализации понадобятся большие капиталы и с цифровизацией увеличится количество кибератак и краж информации [1, с. 69]. Термин «индустрия 4.0» впервые упоминается в 2016 году в книге Клауса Шваба «Технологии Четвертой промышленной революции». Это определение обозначало немного ранее «умные заводы» в Германии. Индустрия 4.0 меняет не только процессы производства и жизнь работников, но и сильно влияет на экономику, и даже немного философское понимание человеком самого себя. Искусственный интеллект, 3D-печать, нейротехнологии, виртуальная и дополненная реальность

– эти недавно появившиеся методы уже заполнили как промышленность, так и быт в целом. А теперь подробнее о виртуальной и дополненной реальности.

Виртуальная реальность – конструированный техническими средствами мир, который передается человеку через его ощущения, такие как зрение, слух и т. д. Все объекты, воспроизводимые устройством, подвержены законам физики, однако часто в развлекательных целях туда добавляются такие функции, которые позволяют, например, человеку летать и многое другое. Среди приборов виртуальной реальности выделяют VR-шлемы, VR-очки с джойстиками, VR-перчатки или даже целые комнаты виртуальной реальности (CAVE).

Дополненная реальность – результат введения в зрительное поле любых сенсорных данных с целью дополнения сведений об окружении и изменения восприятия окружающей среды. Среди самых популярных примеров дополненной реальности можно выделить многим известную «нарисованную» траекторию хоккейной шайбы или футбольного мяча на экране телевизора или популярную игру «Pokemon GO» [2, с. 340].

Применение VR-технологий не ограничивается компьютерными играми и развлекательными целями. Как известно, человек воспринимает 80 % информации именно визуально. Рассмотрим четыре VR-технологии от компании VE Group:

1) VE HMD – эта технология используется с помощью VR-шлема. Шлем преобразует архитектурные и дизайнерские 2D-чертежи в объемную картинку, тем самым дает более точное представление рабочему персоналу. HMD используется для обучения, исследований и архитектурно-дизайнерских задач.

2) VE CADWall представляет собой проекционную стереоскопическую систему с большим, достигающим больше 10 метров, экраном с разрешением несколько миллионов пикселей. Такое приспособление позволяет проводить точный анализ для экспертов разных областей знаний.

3) VE CAVE – комната виртуальной реальности с рядом мониторов, позволяющая сразу нескольким пользователям совместно работать со сложными объемными объектами в реальном масштабе и имеющая на данный момент максимальный уровень погружения и интерактивности.

4) VE Panorama – панорамная система визуализации с цилиндрическим экраном, обзором в развернутый угол, что позволяет видеть впечатляющие презентации. [3, с. 352].

VR-технологии используются во всех важных сферах деятельности человека.

Строительство – здесь виртуальные технологии помогут использованием виртуальных макетов зданий или конкретных участков проектирования. Виртуальные макеты ускоряют создание реальных макетов, что позволяет качественно и быстро выполнять задачи. Также VR способны воспроизвести ситуации ремонта или эксплуатации инструментов и машин, что позволит рабочему персоналу получить или улучшить свои производственные навыки.

Экономика – в этой сфере сильно VR поспособствует покупателю представить в 3D интеллектуальную собственность еще до ее материальной реализации. При продаже высокотехнологичных изделий возникают проблемы:

не часто покупатель является квалифицированным специалистом, и некоторые технические моменты приходится объяснять еще до материализации товара, что позволяет покупателю научиться пользоваться изделием. Также покупатель в реальном времени может изменить те или иные параметры изделий, пока оно еще не произведено. Все это улучшает жизнь покупателю, упрощает процесс производства и способствует увеличению объема продаж продавцу. Обе стороны довольны.

Социальная сфера – VR позволяет проводить собрания, отображая визуально несколько источников информации на одном экране в многооконном режиме. Системы виртуальной реальности и виртуального прототипа активно используются для совместной работы команды программистов проекта и инженеров. Такого рода собрания помогут экспертам намного точнее оценивать ситуацию и визуально ощущать нужную им информацию. Таким образом, производительность внутри компании повысится [4, с. 803].

Таким образом, использование технологий виртуальной реальности позволяет решать следующие задачи:

- снизить срок разработки изделия (по различным оценкам, от 15 до 30 %);
- снизить количество ошибок при разработке как внутри фирмы, так и среди субподрядчиков;
- повысить качество изделия за счет более качественной проработки эргономики, ремонтных и эксплуатационных характеристик;
- повысить удовлетворенность клиента изделием за счет вовлечения его в процесс компоновки;
- снизить ремонтные и эксплуатационные издержки за счет проработки и прототипирования не только самого изделия, но и процессов его производства и последующей эксплуатации.

### **Список литературы:**

1. Журнал Control Engineering (Россия). – 2016. – № 5 (65). – с. 68-71. – Текст : непосредственный.
2. Сиренко, С. Н. Контуры цифровой реальности. Гуманитарно-технологическая революция и выбор будущего / С. Н. Сиренко. – М. : Ленанд, 2018. – 344 с. – Текст : непосредственный.
3. Келли, К. Неизбежно. 12 технологических трендов, которые определяют наше будущее К. Келли. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2017. – 352 с. – Текст : непосредственный.
4. Зеланд, В. Проектор отдельной реальности / В. Зеланд. – М. : ИГ «Весь», 2017. – 800 с. – Текст : непосредственный.

© Шарифуллин Э. Р., 2022

## АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

студент Султан Шахрук,  
студент Лопушанский Александр Максимович,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент Бекенева Яна Андреевна,  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина),  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Оптимизация производительности моделей машинного обучения возможна с помощью подходов, ориентированных либо на модели, либо на данные. Подходы, ориентированные на модели, не всегда являются эффективными, и больший интерес представляют подходы, ориентированные на данные. В данной статье представлен алгоритм предварительной обработки числовых данных, который был протестирован с различными искусственными и реальными наборами данных для линейной регрессии, кластеризации k-средних, классификатора SVM и сетей глубокого обучения. Экспериментальные результаты показывают, что предложенный алгоритм хорошо работает для повышения эффективности модели.

**Ключевые слова:** машинное обучение, оптимизация моделей, данные, предварительная обработка данных, коррекция выбросов.

## ALGORITHM FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF MACHINE LEARNING MODELS

Student Sultan Shahrukh,  
Student Lopushanskiy Alexandr Maksimovich,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
Bekeneva Yana Andreevna,  
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI",  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** Optimizing the performance of machine learning models is possible with either model-driven or data-driven approaches. Model-driven approaches are not always efficient, and data-driven approaches are of more interest. This paper presents a numerical data preprocessing algorithm that has been tested with various artificial and real datasets for linear regression, k-means clustering, SVM classifier, and deep learning networks. The experimental results show that the proposed algorithm works well for improving the efficiency of the model.

**Keywords:** machine learning, model optimization, data, data preprocessing, outlier correction.

Оптимизация эффективности и производительности моделей машинного обучения является актуальной задачей на протяжении нескольких лет. Архитектура широко используемых моделей машинного обучения и глубокого обучения достаточно хороша для представления шаблона данных в обобщенном виде, но способность к обучению зависит от определенных параметров. Для повышения производительности модели необходимо получить оптимальные параметры, которых невозможно достичь за один прогон. Таким образом, алгоритмы запускаются итеративно, вручную или автоматически для получения оптимальных параметров обучения, а оптимизированная модель развертывается для прогнозирования, классификации или кластеризации будущих данных. Иногда новые данные слишком отличаются от данных, использованных для обучения, и поэтому даже после получения оптимальных параметров модель плохо работает с новыми данными. Вместо итеративного изменения параметров модели можно оставить модель фиксированной и изменить данные с помощью данных более высокого качества, чтобы повысить производительность. Этот аспект оптимизации называется оптимизацией, ориентированной на данные. На протяжении многих лет исследователи машинного обучения постоянно работают над разработкой новых алгоритмов, методологий обучения и методов оптимизации. Большинство исследовательских работ в основном были посвящены оптимизации, ориентированной на модели. Опубликовано всего несколько статей по оптимизации, ориентированной на данные [1; 2]. В этой работе был разработан алгоритм для простой реализации подхода, ориентированного на данные.

Реальные данные в основном бывают четырех типов: числовые, текстовые, графические (изображения и видео) и аудио. Большая доля поступающих от источников данных приходится на числовые данные. Методологии, разработанные в ходе этой работы, предлагаются здесь в качестве методов предварительной обработки для анализа числовых данных. Статистические методологии могут обеспечить лучший вывод для числовых типов данных, поэтому предлагаемые методы основаны исключительно на статистических свойствах.

Предлагаемый метод (рисунок 1) основан на двух допущениях:

– Каждый набор данных следует определенному распределению, и выбросы лежат слишком далеко от среднего значения. То есть точка данных, которая сильно отклоняется в положительную или отрицательную сторону от среднего значения своего распределения, считается выбросом. Это предположение используется для обнаружения выбросов в наборе данных.

В реальном многомерном наборе данных каждый признак каким-то образом положительно или отрицательно коррелирует с другими признаками. Это предположение используется для исправления обнаруженных выбросов. Выброс можно заменить прогнозируемым значением других признаков, если не все значения признаков для экземпляра являются выбросами.





Рисунок 1. Блок-схема оптимального преобразования признаков

Предлагаемый алгоритм имеет некоторые недостатки, в частности, обусловленные использованием предсказанных необработанных оценок неповрежденных значений признаков экземпляра. Таким образом, когда все функции повреждены, исправить ошибку невозможно.

Этот метод был протестирован с тремя различными наборами данных [3; 4; 5] для задачи кластеризации. Чтобы наблюдать за фактической производительностью, был применен первый алгоритм кластеризации k-means без какой-либо предварительной обработки. Затем предложенный алгоритм был применен для предварительной обработки набора данных с различными значениями отсечки  $z$ -показателя, и записывался процент обнаруженных ошибок.

Реальный набор данных без какой-либо обработки касается поведения пользователей социальных сетей в отношении продуктов различных брендов. Данные собирались в разные дни, когда реклама того или иного бренда публиковалась в социальных сетях в виде видеообъявлений или постеров.

Количество функций: 9.

Количество экземпляров: 7050.

Задача: кластеризация пользовательских данных в оптимальные кластеры для выявления потенциальных покупателей продуктов конкретных брендов.

Шаг 1: проверить выбросы, используя график распределения, и применить кластеризацию k-средних без предварительной обработки (рисунки 2; 3; 4).

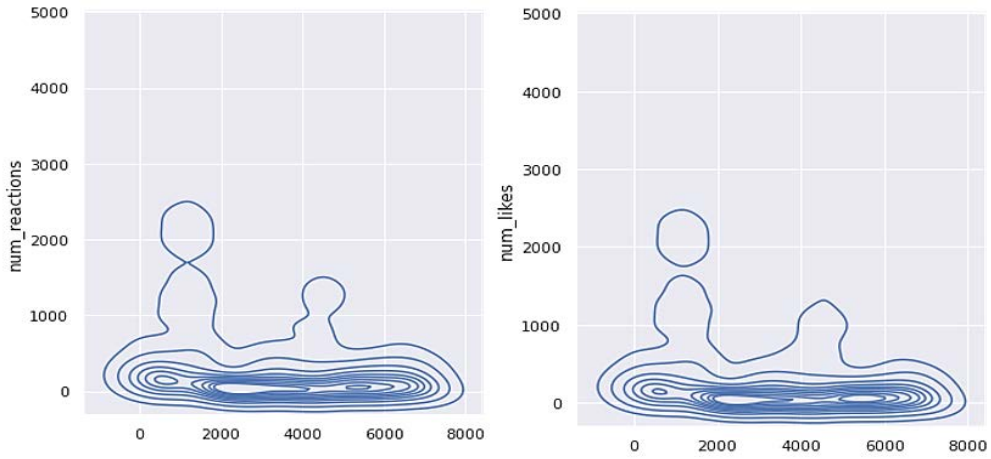


Рисунок 2. Визуализация выбросов в двух важных функциях

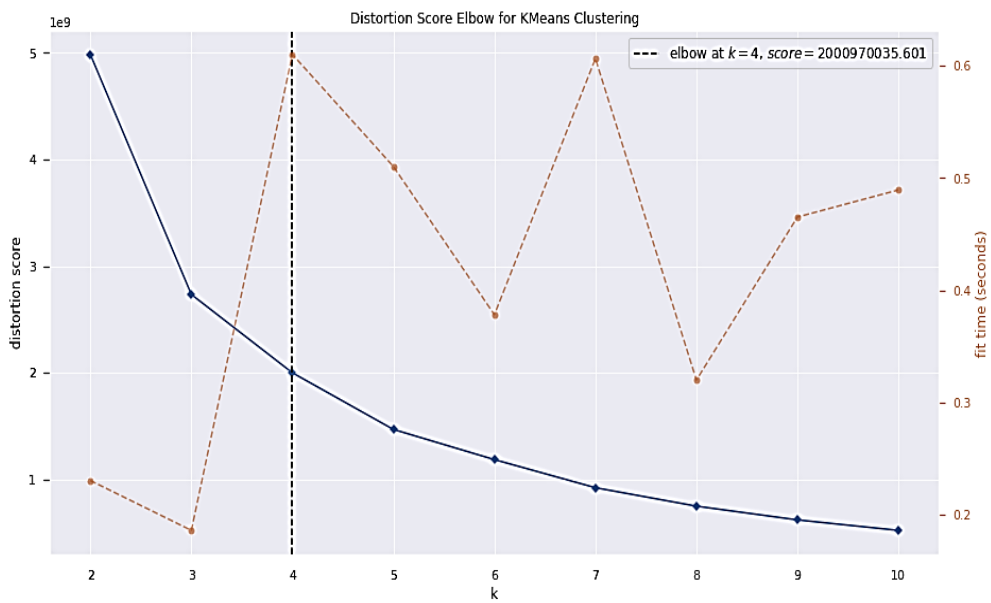


Рисунок 3. График локтя до предварительной обработки

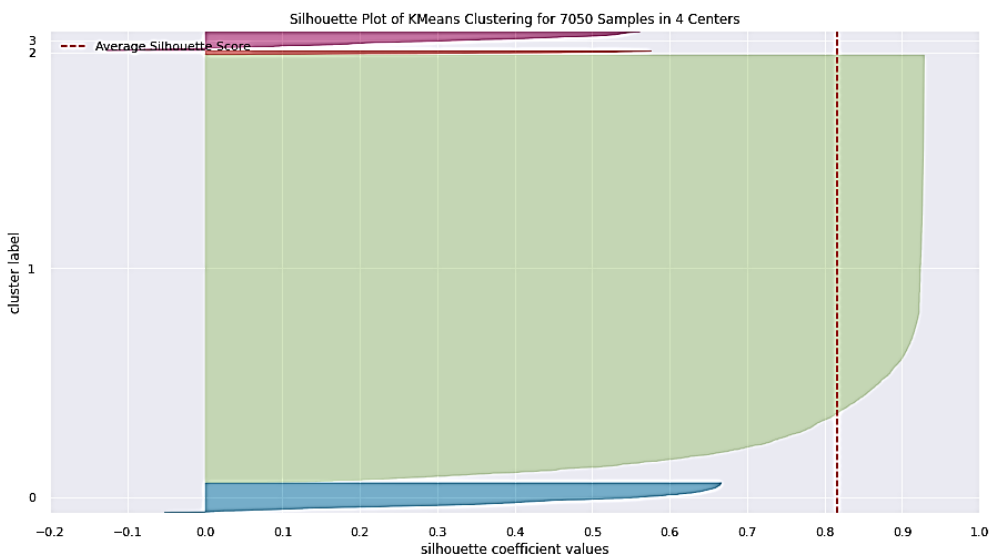


Рисунок 4. График силуэта до предварительной обработки

Шаг 2: применить метод коррекции выбросов WRS с другим значением  $z$ . Оптимальное значение отсечки  $z$  выбрано равным 1,8 в соответствии с процентом ошибок и гладкостью кривой распределения. Результаты, полученные после предварительной обработки (отсечка = 1,8), показаны на рисунке 5.

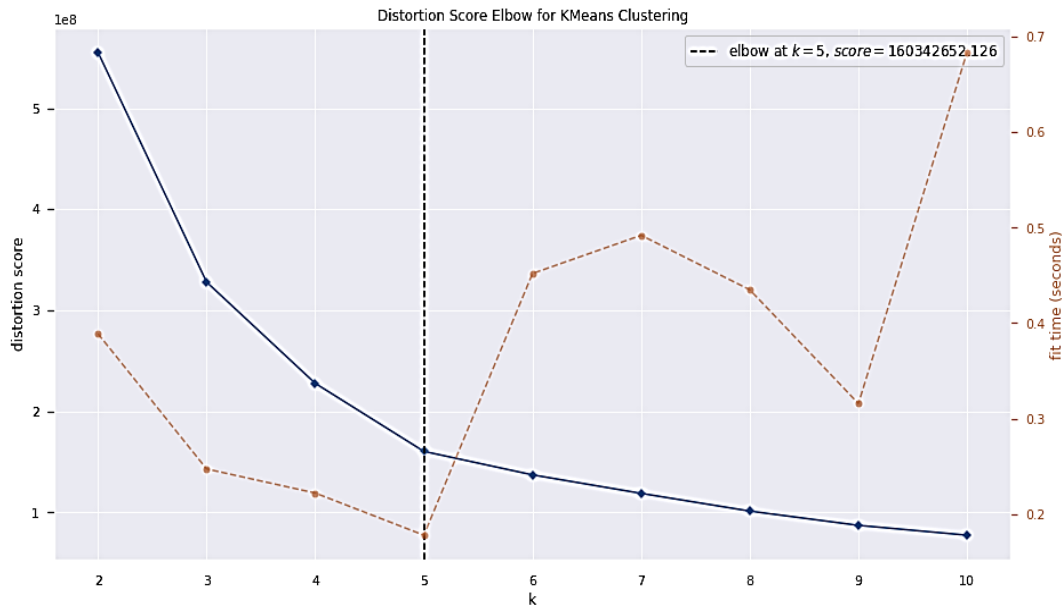


Рисунок 5. Оптимальное количество кластеров после применения метода WRS

График колена после применения метода коррекции выбросов WRS показывает, что оптимальное количество кластеров должно быть пять вместо четырех. Но после кластеризации в пять кластеров (рисунок 6) средний коэффициент силуэта должен быть ниже, чем раньше.

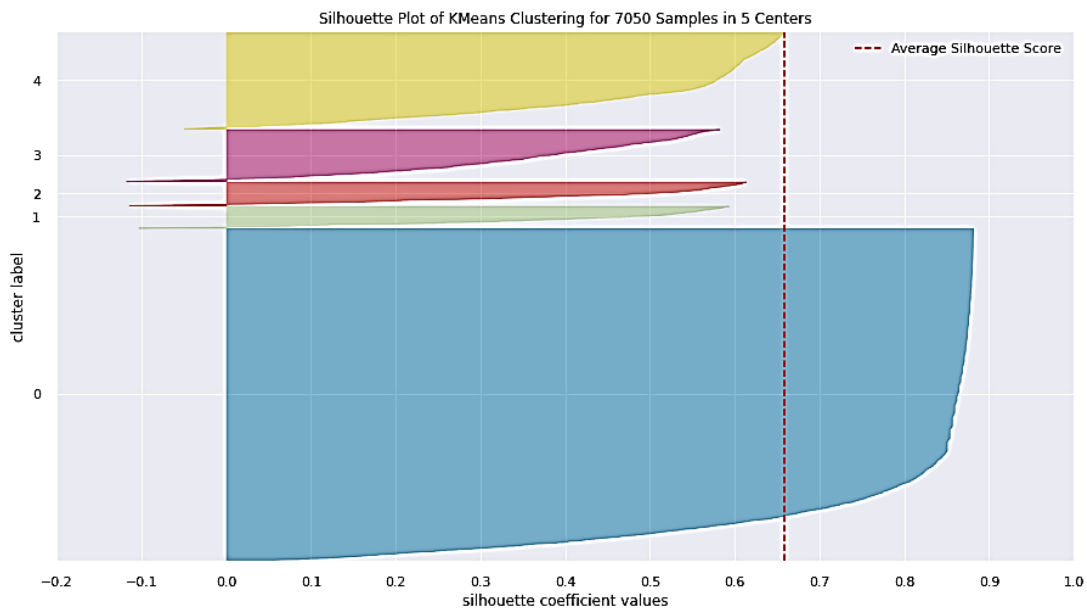


Рисунок 6. График силуэта после применения метода WRS

После тестирования с синтезированными и реальными наборами данных было замечено, что предложенный алгоритм может исправлять выбросы, что улучшает результат кластеризации k-средних. Однако выбор оптимального порога z-показателя зависит от набора данных и его статистического распределения.

Существует множество передовых методов оптимизации моделей, но нам нужно больше методов, ориентированных на данные, чтобы лучше использовать машинное обучение. В статье показано, как ориентированный на данные подход может улучшить производительность модели. Разработанный алгоритм концептуально прост, прост в реализации и эффективен. Однако алгоритм основан на некоторых допущениях, и вне этих допущений он может работать не очень хорошо. Но передовые статистические свойства можно использовать для разработки надежных алгоритмов, которые могут работать с минимальными предположениями.

Разработанный алгоритм подходит для числовых данных. Улучшение его для использования с другими типами данных, такими как категориальные данные, тестирование алгоритмов с многомерными и большими наборами данных – это будущие задачи этого проекта. Для пошаговой интерпретации результатов большинство экспериментов проводилось вручную, но можно разработать полную структуру для пошагового выполнения методов, ориентированных на данные. Для этого нужны дополнительные ресурсы и высокопроизводительные компьютеры. Наличие необходимых ресурсов и надлежащего плана развития для разработки структуры является будущей целью этого проекта.

*Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации МК-918.2022.1.6.*

### **Список литературы:**

1. Yang J., Wu Z., Peng K., Okolo P. N., Zhang W., Zhao H. Sun J. Parameter selection of Gaussian kernel SVM based on local density of training set // *Inverse Problems in Science and Engineering*. 2021. Vol. 29. No. 4. P. 536-548.
2. Sinaga K. P., Yang M. S. Unsupervised K-means clustering algorithm // *IEEE access*. 2020. Vol. 8. P. 80716-80727.
3. Wang H. Wine dataset for clustering. Vol. 1. No. 3. URL: [https://github.com/deric/clustering\\_benchmark/blob/master/artificial/2d-4c.arff](https://github.com/deric/clustering_benchmark/blob/master/artificial/2d-4c.arff) (дата обращения: 07.11.2022).
4. Barton T. Clustering benchmark datasets. Vol. 1. No. 4. URL: [https://github.com/deric/clustering\\_benchmark/blob/master/artificial/2d-4c.arff](https://github.com/deric/clustering_benchmark/blob/master/artificial/2d-4c.arff) (дата обращения: 07.11.2022).
5. Dehouche N., Wongkitrungrueng A. Facebook Live as a Direct Selling Channel // *Proceedings of ANZMAC 2018: the 20th Conference of the Australian and New Zealand Marketing Academy*. Adelaide (Australia), 3-5 December 2018. Vol. 1. No. 5.

© Султан Ш., Лопушанский А. М., 2022

## ПЕСЧАНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

студент **Мерзлая Дарья Михайловна**,  
науч. руководитель: ассистент **Кундюков Олег Анатольевич**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье рассматривается использование песчаных резервуаров для хранения энергии. Принцип их работы, преимущества и перспективы внедрения в современных реалиях.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергия, хранение энергии, песчаные резервуары.

## SAND TANKS FOR ENERGY STORAGE

Student **Merzlaya Darya Mikhailovna**,  
Academic Advisor: Assistant **Kundukov Oleg Anatolievich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** This article discusses the use of sand tanks for energy storage. The principle of their work, advantages and prospects of implementation in modern realities.

**Keywords:** renewable energy, energy storage, sand tanks.

В современном мире перед человечеством лежит множество глобальных проблем в связи с изменением экологии, главной из них является загрязнение окружающей среды при выработке электроэнергии. Также люди все время создают новые технологии, совершая огромные прорывы в разных сферах. Из-за этого происходит быстрый рост потребления минерального топлива и ускоренная добыча полезных ископаемых. Отсюда вытекает еще одна проблема, связанная с нехваткой энергетических ресурсов. Поэтому сейчас уделяется большое внимание для решения этих проблем. Одним из таких решений является переход на «зеленую энергетику». Зеленая энергетика – часть системы, которая производит энергию, используя возобновляемые источники энергии, такие как энергия солнца, ветра и воды.

Конечно, альтернативные источники энергии имеют свои преимущества, самое главное из них – это то, что такие источники являются возобновляемыми, доступными, экологически чистыми и дешевыми [1]. Но стоит отметить, что они,

в свою очередь, имеют и недостатки, такие как зависимость от погодных условий и сезонность работы. Например, выработка солнечной энергии не может происходить в пасмурные дни или ночное время суток. Следовательно, чтобы использовать такую энергию постоянно, вне зависимости от времени суток, нужно ее запасать. То же самое можно сказать про энергию ветра, так как ветер в каждом регионе разный и непостоянный. То есть для эффективного использования альтернативной энергии необходимо уметь ее накапливать. Только тогда можно говорить о полном переходе на чистую и возобновляемую энергетику в современном мире.

Для решения этой проблемы были созданы специальные системы накопления. Такие системы имеют свои недостатки, которые осложняют их повсеместное применение. Гидроаккумулирующие электрические станции требуют специального ландшафта, что означает ограничение их применения во многих странах. Литий-ионные аккумуляторы стоят больших денег, для них важен температурный режим и обслуживание. Также они очень небезопасны, так как восприимчивы к горению, например, в 2021 году загорелось одно из самых крупных на планете хранилищ, общая емкость которых составляла 450 МВт\*ч. [2]. Газовые хранилища в данный момент времени являются не особо перспективным методом накопления энергии, так как газ – ископаемый источник энергии, запасы которого ограничены, а также он оказывает неблагоприятное влияние на окружающую среду. Однако ученые нашли альтернативный вариант – это создание песочных резервуаров.

Обычно вследствие работы возобновляемых источников вырабатывается больше энергии, чем требуется. Далее энергия направляется в песочный резервуар. Песок обладает высокой теплоемкостью, то есть он способен нагреваться до высоких температур, а затем медленно остывать. Создание аккумулятора тепловой энергии, в котором рабочей средой будет выступать песок, в длительной перспективе превосходит существующие химические аккумуляторы. Песок представляет собой экологически безопасный, дешевый и распространенный материал, значит его просто утилизировать. Строение хранилища обладает емкостью 26 ГВт\*ч. Если в сети происходит избыток электричества, то оно используется для зарядки накопителя. Для этого песок пропускается через резистивные нагревательные элементы. В результате этого песок нагревается до 1200 градусов. Горячий материал скапливается в термоизолированных бункерах-башнях. Для получения сохраненной энергии в нижней части бункеров открываются отверстия, и песок под действием силы тяжести высыпается в теплообменник, нагревая рабочий газ. Его давление повышается, и он начинает вращать турбины, от которых работают электрогенераторы [3]. На рисунке 1 приведена схема песочного резервуара.



Рисунок 1. Схема песочного резервуара

Благодаря высокой температуре плавления песка, которая достигает сотни градусов Цельсия, башня из песка обладает высоким потенциалом накопления энергии. Самым важным является то, что песок накапливает энергию в течение многих месяцев, что делает песочный резервуар жизнеспособным решением для долгосрочного хранения энергии.

Наглядным применением для песочного резервуара является обогрев дома. Такой вариант позволяет использовать возобновляемые источники энергии, например, солнечные батареи для альтернативного способа отопления. Также данный метод сократит оплату коммунальных услуг, так как дом будет обогреваться с помощью возобновляемой энергии, которая считается дешевой по сравнению с другими источниками. На рисунке 2 приведен принцип работы песочной батареи для дома.

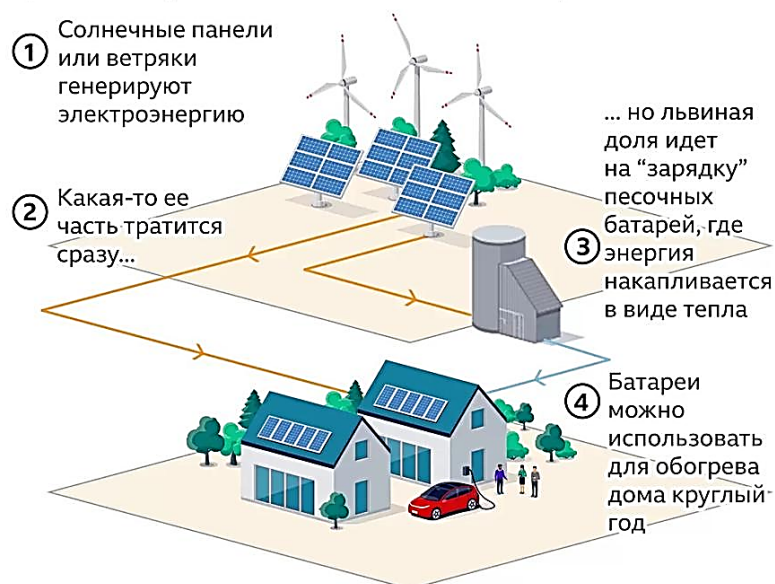


Рисунок 2. Принцип работы песочных батарей

Конечно, остается главный вопрос, который заключается в том, действительно ли эта технология хранения энергии имеет шансы на реальный успех в современном мире. Так компания Polar Night Energy установила первую песочную батарею в промышленных масштабах – в высокий контейнер засыпано около 100 тонн песка. На данный момент песочный резервуар питает систему центрального отопления района. Пока что данный способ хранения энергии используется для подогрева воды, когда цены на электроэнергию растут. Возможно, пока что данная технология не оправдывает ожидания, но первые шаги для реализации эффективного внедрения возобновляемых источников энергии в современном мире уже сделаны. Ученые из Финляндии уверены, что метод будет иметь огромный успех в ближайшие годы [4].

Таким образом, песочные резервуары являются достаточно хорошей альтернативой для обычных методов хранения энергии, которая вырабатывается благодаря возобновляемым источникам. Уже функционирует жизнеспособная модель для накопления энергии в Финляндии. С каждым годом есть все большая вероятность для использования таких резервуаров в масштабном промышленном размере. Благодаря использованию этой технологии есть шанс, что в ближайшем будущем возобновляемая энергия будет применяться все чаще и чаще.

#### **Список литературы:**

1. Soldatova I. D., Lashina E. N. Analysis of the concept: “green square” // Theory and Practice of Modern Science: the View of Youth: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference in English., St. Petersburg, November 25, 2021. Comp. E. N. Lashina, M. S. Lipatov. Under the general editorship of V. V. Kirillova. St. Petersburg: HSTE SPbSUITD. 2022. P. 242-246.
2. Как и зачем хранить энергию песка?: [сайт]. – URL: <https://dzen.ru/media/samelectric/kak-i-zachem-hranit-energiu-s-pomosciu-peska-62fbe0ebc0f5c61a77c2cb2d> (дата обращения: 27.10.2022). – Текст : электронный.
3. Наука и техника: «Хранить энергию ... в песке»: [сайт]. – URL: <https://naukatehnika.com/hranit-energiyu-v-peske.html> (дата обращения: 25.10.2022). – Текст : электронный.
4. The world's first operational 'sand battery' can store energy for months. URL: <https://interestingengineering.com/innovation/worlds-first-sand-battery> (дата обращения: 27.10.2022).

© Мерзлая Д. М., 2022



## СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

студент **Латыпов Руслан Рустамович**,  
науч. руководитель: ассистент **Гаврилов Станислав Витальевич**,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Салават, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе представлен анализ современных, наиболее популярных на сегодняшний день операционных систем: Windows, Mac OS и Linux. Рассмотрены основные различия, а также их плюсы и минусы.

**Ключевые слова:** операционные системы, сравнение, Apple, Microsoft, Windows, Mac OS, Linux.

## COMPARISON OF MODERN OPERATING SYSTEMS

Student **Latypov Ruslan Rustamovich**,  
Academic Advisor: Assistant **Gavrilov Stanislav Vitalievich**,  
Ufa State Petroleum Technical University,  
Salavat, Russian Federation

**Abstract.** This paper presents an analysis of today's most popular operating systems: Windows, Mac OS and Linux. The main differences as well as their pros and cons are discussed.

**Keywords:** operating systems, comparison, Apple, Microsoft, Windows, Mac OS, Linux.

Операционная система (Operating system) – является комплексом связанных программ, с помощью которых осуществляется управление ресурсами ПК и взаимодействия с пользователем. ОС также можно назвать программным продолжением устройства управления компьютера. Основная причина использования ОС заключается в поддержании работоспособности компьютера, которому необходимо одновременно выполнять огромное число низкоуровневых операций, количество которых доходит до нескольких тысяч.

На рынке преобладают три основных типа системы: Windows, Mac OS и Linux. За весь жизненный цикл данные продукты потерпели огромное количество изменений, улучшений – появления новых, все более функциональных версий. Рассмотрим самые современные версии каждой операционной системы и сравним их.

Windows – относится к типу проприетарных систем, которые разрабатываются компанией Microsoft. Последней доступной версией ОС является Windows 11. Под контролем Windows находится около 80 % домашних компьютеров – она является самой популярной, благодаря чему для нее разработаны почти все доступные программы. Но это также является и

недостатком системы ввиду большого количества вредоносного ПО, создаваемого под Windows. По мнению многих разработчиков, Windows лучше подходит для корпоративной рабочей среды.

Mac OS – Unix-подобная операционная система, предоставляемая исключительно с техникой Apple. Последней версией данного продукта является Mac OS Monterey. Характерным отличием данной системы является ее закрытость – данную операционную систему не могут использовать устройства других производителей, также Mac OS отличается закрытым исходным кодом и это единственный вариант для полноценной разработки ПО для техники Apple. После версии 10.6 системы поддерживают только процессоры от производителя Intel, в последних версиях используются процессоры собственного производства компании Apple.

Linux – также Unix-подобная ОС основанная на одноименном ядре с открытым кодом. Linux 5.0 – одна из современных версий системы. Система не обладает большой популярностью у владельцев домашних компьютеров, но его ядро доминирует на рынке смартфонов и сама ОС в интернет-серверах, а также ОС используется в качестве операционной системы на 100 % самых мощных суперкомпьютеров.

Таблица – Сравнение ОС

Вид ОС	Windows	Mac OS	Linux
Уязвимость	Наиболее уязвимая, т. к. над более новыми ОС Windows работают менее квалифицированные специалисты этой области, это подтверждают различные ошибки, допущенные в коде. Разрабатываются все более продуманные атаки на систему.	Является наиболее защищенной системой из всех представленных, новая версия системы написана практически с нуля и не совместима с предыдущими, что делает попытки ее взлома безуспешными.	ОС семейства Unix практически не имеют уязвимостей, а если они и есть, то устраняются крайне быстро.

Окончание табл.

Вид ОС	Windows	Mac OS	Linux
Поддержка ПО	Является самой распространенной, соответственно под нее написано и оптимизировано огромное множество программ.	Программ для установки более, чем достаточно, все они доступны к установке через встроенный онлайн магазин приложений AppStore.	ОС имеет два эмулятора Wine и Mono, благодаря которым без труда возможно запустить большинство приложений Windows. Проблемы с установкой возникают крайне редко.
Установка и настройка ОС	Установить систему сможет даже новичок. Единственным минусом является только то, что для полноценной работы пользователю необходимо самостоятельно искать нужные программы.	Крайне проста в установке. А для настройки системы, используются готовые пакеты программ Systems Preferences.	Установка системы почти не отличается от Windows, если рассматривать desktop версию. В случае индивидуальной настройки системы нужно иметь общие знания об устройстве систем и их внутренним взаимодействии.

Стоимость лицензии – Windows (11) поставляется в двух версиях системы – обычной и Про, стоимость которых 17 тысяч и 24 тысячи рублей соответственно. Mac OS поставляется бесплатно с продукцией Apple, но сама стоимость компьютерной техники этого производителя значительно выше стоимости других производителей. Linux в свою очередь полностью бесплатная ОС, что является большим плюсом для крупных компаний, реализующих в качестве операционной системы именно Linux, сохраняя при этом огромный капитал.

Системные требования – практически все современные ПК имеют более чем достаточные характеристики, опуская вопрос системных требований ОС. Однако стоит отметить систему Linux, которая дает работать даже на устаревших ПК, что не всегда может позволить Windows. Mac OS же опускает вопрос системных требований, поскольку оптимизирован под заранее известные характеристики техники Apple.

Удобство эксплуатации (англ. Usability) – интерфейс продуктов Windows имеет удобный интерфейс, с каждой новой версией становясь все более дружелюбным к пользователю. Операционная система на базе Mac OS обладает следующими отличительными чертами: более продуманный, интуитивно понятный интерфейс. Linux же предполагает использования его опытными пользователями, ранее знакомыми с ОС, из-за чего для многих он кажется менее удобным в сравнение с другими ОС, однако многие новые пользователи достаточно быстро привыкают к системе.

Итоги: Windows занимает лидирующую позицию в разделе домашних ПК – простота использования, большой объем поддерживаемого программного обеспечения, доступный для этой системы, а также постоянная поддержка пользователя. Mac OS больше направлена на работу, чем на развлечения – стабильность и безопасность являются приоритетными показателями, а также до мелочей продуманный и привлекательный интерфейс. Linux отличается своей гибкостью в настройках, защищенностью и, как уже было сказано ранее, является бесплатной – все это огромная находка для разработчиков ПО и крупных корпораций. Исходя из этого, можно сделать вывод, что каждый в современном мире может найти ОС, подходящие под его задачи.

### **Список литературы:**

1. Гаврилов, С. В., Трошина, М. В. Тенденции развития операционных систем / С. В. Гаврилов, М. В. Трошина. – Текст : непосредственный // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля. Передовые технологии и современные тенденции : материалы Международной научно-методической конференции / Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2022. – С. 526-528.
2. Гаврилов, С. В., Кашапова, Л. Р. Отличие операционной системы WINDOWS от LINUX / С. В. Гаврилов, Л. Р. Кашапова. – Текст : непосредственный // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля. Передовые технологии и современные тенденции : материалы Международной научно-методической конференции / Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2022. – С. 514-516.
3. Партыка, Т. Л. Операционные системы, среды и оболочки: учебное пособие / Т. Л. Партыка, И. И. Попов. – М. : Форум, 2018. – 256 с. – Текст : непосредственный.
4. Базеева, Н. А., Холодова, Е. А., Радаев, К. Д. Сравнение современных операционных систем. Личное и производственное пользование / Н. А. Базеева, Е. А. Холодова, К. Д. Радаев. – Текст : электронный // E-Scio. – 2020. – № 6 (45). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-sovremennyh-operatsionnyh-sistem-lichnoe-i-proizvodstvennoe-polzovanie> (дата обращения: 09.10.2022).
5. Новиков, Е. М. Развитие ядра операционной системы Linux / Е. М. Новиков. – Текст : электронный // Труды ИСП РАН. – 2017. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-yadra-operatsionnoy-sistemy-linux> (дата обращения: 22.10.2022).

© Латыпов Р. Р., 2022

## ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ СОВРЕМЕННОЙ ЭМИГРАЦИИ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ ИЗ РФ

студент **Сочеева Мария Евгеньевна**,  
науч. руководитель: канд. экон. наук, доцент  
**Стефанова Наталья Александровна**,  
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики,  
г. Самара, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема отъезда большого количества ИТ-специалистов из Российской Федерации. Проводится анализ причин и последствий эмиграции ИТ-специалистов из страны.

**Ключевые слова:** ИТ-специалисты, эмиграция, безопасность данных, развитие технологий, льготные пакеты.

## CAUSES AND CONSEQUENCES OF MODERN EMIGRATION IT SPECIALISTS FROM THE RUSSIAN FEDERATION

Student **Socheeva Maria Evgenievna**,  
Academic Advisor: PhD in Economics, Associate Professor  
**Stefanova Natalia Alexandrovna**,  
Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,  
Samara, Russian Federation

**Abstract.** The paper considers the problem of departure of a large number of IT specialists from the Russian Federation. The analysis of the causes and consequences of emigration of IT specialists from the country is carried out.

**Keywords:** IT specialists, emigration, data security, technology development, preferential packages.

В новостных сводках все чаще можно прочесть об отъезде большого количества ИТ-специалистов из Российской Федерации. Данная проблема является актуальной, а в перспективе может обернуться крайне негативными последствиями. ИТ-сфера включает в себя огромное количество специалистов, нехватка отразится на развитии отечественных технологий. Поэтому была выбрана именно эта тема. Необходимо разобраться в причинах подобного поведения мигрантов и последствиях данной ситуации для экономики страны.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: собрать информацию из достоверных источников о количестве ИТ-специалистов, покинувших Российскую Федерацию, определить причины и тенденции развития данной проблемы, ознакомиться с оценками экспертов об

экономическом эффекте, который либо уже произошел, либо произойдет в будущем как ответная реакция на такие кадровые потери, сделать выводы, исходя из полученной информации.

Согласно данным сервиса Get me IT: «Из 1,5 миллионов российских IT-специалистов в стране готовы остаться всего 420-460 тысяч» [1]. Самая главная причина по версии аналитиков – более высокие доходы. Однако не все эмигранты учитывают разницу в повседневных расходах. 58 % из вернувшихся на родину – люди, не получившие желаемый доход.

Следующая по популярности причина для отъезда среди 150 специалистов, опрошенных посредством сервиса Get me IT – за границей более высокий уровень жизни. Этот пункт выбрали 69 %, из которых 49 % столкнулись по факту с нарушением баланса между работой и свободным временем, что сильно сказалось на их трудоспособности. Отдельно стоит отметить короткий отпуск: 14 дней вместо привычных 28-31 дней.

Карьерный рост – третья причина для эмиграции, выбранная 62 % респондентов, 16 % из которых отметили низкий уровень развития IT-сообщества и странные причины отказа работодателей от назначения иностранцев на руководящие должности.

Кроме того, 43 % опрошенных отметили «желание жить в стране с более подходящим политическим режимом, среди людей с более близким менталитетом». Из этой категории часть эмигрантов возвращаются, не сумев адаптироваться к «культурному сообществу новой локации» [2].

Разобравшись с причинами, по которым происходит миграция, стоит перейти к тому, чем грозит недостаток специалистов данной отрасли.

Международное маркетинговое агентство обозначило угрозы оттока IT-специалистов, назвав подобный феномен «огромным шагом назад в развитии»:

1. Угроза для безопасности данных. В качестве примера приводится случай с февральской утечкой персональных данных клиентов сервиса Яндекс.Еда. Почти все данные на крупных и средних предприятиях сейчас хранятся на серверах, которые находятся в зоне риска из-за оттока специалистов в сфере информационной безопасности.

2. Ущерб для импортозамещения и развития digital-сферы. «В связи с этим [миграцией] страна останется без облачных сервисов, программных обеспечений, информационных систем и так далее».

3. Угроза потери других отраслей. Из-за того, что процесс продажи различных продуктов и оказания услуг из digital-сферы требует сопровождения не только маркетологов и бизнес-аналитиков, но и, например, web-дизайнеров, программистов различных уровней, digital-, SMM- и PR-специалистов. Без обслуживания сайта магазина командой разработчиков, его владелец теряет прибыль, а потребители – необходимый товар.

4. В этих трех пунктах заключаются последствия эмиграции и экономический эффект, который уже оказывает влияние на повседневную жизнь рядовых российских граждан. Отсутствие сотрудников службы безопасности различных

компаний увеличивает риск утечки данных пользователей, отставание в изучении, развитии и внедрении новых технологий, так как необходимых для этого квалифицированных кадров остается в стране все меньше, а сайты и различные технологические процессы, которые некому обслуживать, уменьшат количество производимой или реализуемой продукции, что скажется на росте цен на товары или услуги. В случае, если единственным каналом реализации товара или услуги был сайт, а штатный программист данной компании уволился, то сайт не будет обслуживаться и обновляться. Если данная гипотетическая проблема не будет решена в кратчайшие сроки, то компании придется либо тратить большие средства для открытия нового канала для связи с клиентами и последующей реализации продукции или услуг, либо уходить с рынка, лишая потребителя привычных товаров.

После разбора угроз и реальных последствий необходимо оценить величину последнего оттока. По данным CNews: «За февраль и март 2022 г. Россию покинули 70 тыс. IT-кадров. IT-специалисты спешат как можно быстрее уехать из страны, не желая мириться с резко ухудшившейся экономической ситуацией и не обращая внимание на многочисленные меры поддержки IT-отрасли со стороны государства» [3].

Исследуемая проблема крайне существенная, ее последствия остро ощущаются уже сейчас. Для решения этого вопроса и стабилизации ситуации Правительство РФ разработало ряд мер поддержки IT-специалистов.

Первый пакет подобных мер «включал "налоговый маневр", предусматривающий уменьшение налога на прибыль с 20 % до 3 % для IT-компаний и снижение тарифов страховых взносов с 14 % до 7,6 %. Также российские разработчики программных продуктов были освобождены от уплаты НДС при реализации собственных решений и при приобретении маркетинговых услуг по продвижению продуктов за рубежом» [4].

Второй пакет мер поддержки, опубликованный 9 сентября 2021 года, ограничил возможность приобретения иностранного программного обеспечения и программно-аппаратных комплексов для юридических лиц, принят ряд мер для ускорения разработки отечественных аналогов, увеличении количества цифровых кафедр в высших учебных заведениях, инвестиции в развитие отечественного искусственного интеллекта, big data и IoT (интернет вещей) и программу льготной ипотеки для IT-специалистов, удовлетворяющих некоторым условиям и так далее. Все это достаточно долгосрочные меры [4].

2 марта 2022 года Президентом РФ был подписан указ о третьем пакете мер поддержки для IT-отрасли. Документ утверждает право на отсрочку от службы в армии для специалистов мужского пола «на весь период работы в этой организации или до достижения 27-летнего возраста», однако категории граждан, которые могут получить данную отсрочку определяются Правительством России. До 31-го декабря 2024 года налог на прибыль для IT-компаний составит 0 %, будут выделены средства на улучшение жилищных условий сотрудников и повышения зарплат [5].

Эти меры поддержки не прошли бесследно. «Многие вернулись, потому что ... дома лучше», – так высказался Президент России В. В. Путин [6]. В конце мая 2022 года Председатель правительства РФ Михаил Мишустин сообщил, что 85 % IT-специалистов вернулись на родину. К вышеперечисленным причинам возвращения следует добавить эффективные и своевременные меры поддержки. Специалисты РБК особенно отмечают: «Правительство предложило им меры поддержки, в том числе льготную ипотеку и отсрочку от армии».

Таким образом, в ходе исследования проблемы и достижения поставленной цели был получен следующий вывод: на данный момент массовая эмиграция действительно существует и сказывается на жизни потребителей информационных товаров и услуг, развитии отечественных технологий, а также несет угрозу безопасности данных российских потребителей. Статистика показывает, что далеко не все эмигранты смогли адаптироваться к условиям других стран и вернулись на родину. Правительство активно решает данную проблему, способствуя возвращению IT-специалистов в Российскую Федерацию.

#### **Список литературы:**

1. Антошук, И. А., Леденева, В. Ю. Из России в Великобританию: о механизмах миграции молодых ученых в области компьютерных наук / И. А. Антошук, В. Ю. Леденева. – Текст : непосредственный // Социологические исследования. – 2019. – № 2. – С. 108-118.
2. Арпентьева, М. Р. Медиатизация жизни и цифровое кочевничество: типы цифрового кочевничества и их идентичность / М. Р. Арпентьева. – Текст : непосредственный // Медиаисследования. – 2017. – № 4-1. – С. 5-16.
3. Брага, И. В., Жураховская, И. М. Материальная и нематериальная мотивация IT-специалистов / И. В. Брага, И. М. Жураховская. – Текст : непосредственный // Вестник Московского гуманитарно-экономического института. – 2021. – № 2. – С. 41-50.
4. Добринская, Д. Е. О феномене цифрового кочевничества / Д. Е. Добринская. – Текст : непосредственный // ЭКО. – 2020. – № 2 (548). – С. 37-59.
5. Земнухова, Л. В. IT-специалисты на мировом рынке: стратегии миграции и использование языка (на примере русских в Лондоне) / Л. В. Земнухова. – Текст : непосредственный // Социология науки и технологий. – 2015. – Т. 6. – № 4. – С. 154-164.

© Сочеева М. Е., 2022



## ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

студент **Кокосников Алексей Сергеевич**,  
студент **Чекунов Алексей Валерьевич**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Дятлова Елена Павловна**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Данная работа посвящена обзору информационных систем, применяемых на наиболее продолжительном периоде жизненного цикла объекта капитального строительства – эксплуатации. Авторами рассмотрены часто используемые в мировой практике системы: технологии информационного моделирования объектов (BIM), автоматизированные системы управления самих зданий (BMS) и их эксплуатацией (FM). Проанализирован опыт и объем их применения в России, актуальность их использования, в том числе и совместного.

**Ключевые слова:** эксплуатация, здания и сооружения, информационные системы, информационное моделирование; автоматизированная система управления зданием, система управления эксплуатацией здания.

## INFORMATION SYSTEMS USED AT THE STAGE OF OPERATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Student **Kokoshnikov Alexey Sergeevich**,  
Student **Chekunov Alexey Valerievich**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Dyatlova Elena Pavlovna**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** This work is devoted to an overview of information systems used in the longest period of the life cycle of a capital construction object – operation. The authors considered the most commonly used in the world practice: technologies for information modeling of objects (BIM), automated control systems for the buildings themselves (BMS) and their operation (FM). The experience and scope of their application in Russia, the relevance of their use, including joint use, are analyzed.

**Keywords:** exploitation, buildings and constructions, information systems, information modeling, building management system, facility and supply management.

В последние годы в мире наблюдается строительство уникальных по высоте и технической оснащенности (высокая инженерная насыщенность, наличие подземных парковок и др.) сооружений и жилых зданий с активным использованием информационных систем и технологий. В России первые решения с использованием технологий информационного моделирования (ТИМ) на этапах проектирования и строительства зданий появились около 10 лет назад. Институционно же фаза формирования норм, требований и законов по их внедрению в системы управления объектом капитального строительства началась после поручения Президента РФ Путина В. В. № Пр-1235 от 19.07.2018, что выразило актуальность применения информационных систем не только на этапе строительства и проектирования, но и на этапе эксплуатации.

Наличие информации о текущем состоянии здания важно для осуществления надлежащей эксплуатации объекта. Своевременные обследования и постоянный мониторинг необходимы и для анализа происходящих в строительных объектах процессов. На сегодняшний день многие существующие здания и сооружения требуют оценки их физического износа с целью обеспечения безопасности пользования и экономичности их дальнейшей эксплуатации. Так, по данным различных источников, степень физического износа жилых домов в Российской Федерации составляет от 31 % до 45 %, при допустимом значении этого показателя 25 % [1].

Разнообразные способы получения информации о состоянии зданий и сооружений, в том числе и методики проведения их обследования, делятся на два типа: предварительные (визуальные) и детальные (инструментальные) обследования. Визуальное обследование – это осмотр специалистами объекта капитального строительства и его конструктивных элементов по внешним и косвенным признакам для предварительной оценки его технического состояния. Детальные (инструментальные) обследования проводятся с использованием специализированных средств и приборов (различные измерительные и диагностические комплексы, тепловизоры, рентгеноскопы и т. п.). При инструментальном обследовании используются в том числе и специализированное программное обеспечение для конечно-элементного анализа.

Для реализации инструментального и детального наблюдения за несущими и ограждающими конструкциями здания существует не только специализированное оборудование и приборы, но и множество современных датчиков. Они позволяют измерять различные параметры состояния конструктивных элементов объекта капитального строительства неразрушающими методами контроля. Это обеспечивает базис для реализации автоматизированных систем мониторинга здания. Прототипы таких систем впервые появились и стали развиваться в США и Канаде, там же появились стандарты мониторинга. В России данная технология имеет распространение с 2000-х годов и регламентируется ГОСТ 31937-2011 [2].

В настоящее время можно выделить три типа информационных систем, используемых на этапе эксплуатации зданий и сооружений:

*Информационное моделирование зданий (Building Information Modeling, BIM)* – это функциональные, пространственные и физические характеристики объекта в цифровом отображении. Фактически BIM является общей базой данных и знаний об объекте, информация из которой может служить базисом для принятия решений в течение всего жизненного цикла объекта. Результатом ТИМ является не просто 3D-модель, которую можно создать и в традиционной системе компьютерного проектирования. Это объектно-ориентированная информационная модель объекта, построенная на применении точных и связанных данных, которая обладает возможностью применения на всех этапах жизненного цикла объекта – от создания концепции здания и его проектирования, строительства и сдачи в эксплуатацию до сноса сооружения. Также преимуществом ТИМ является возможность симуляции различных процессов на всех этапах жизни объекта, а сама модель может постоянно изменяться и дополняться, отражая текущее состояние здания в актуальном виде.

Практическое применение ТИМ показало улучшение качества строительства, увеличение скорости, а также возможность экономии финансовых и материальных средств. В России эта технология использовалась при проектировании и строительстве всех олимпийских объектов в городе Сочи.

С 1 января 2022 года отечественная строительная отрасль, руководствуясь постановлением правительства РФ, осуществляет переход на технологии информационного моделирования при проектировании и строительстве зданий и сооружений. Ведутся разработки отечественного программного обеспечения (ПО), которому будет отдан приоритет над иностранным ПО в применении. Основным форматом информационных моделей для прохождения госэкспертизы принят IFC (Industry Foundation Classes) – это открытый формат файлов, используемых в ПО ТИМ.

По данным Минстроя России (на сентябрь 2022 года), уровень внедрения технологий информационного моделирования у застройщиков РФ при строительстве объектов жилого назначения составляет лишь 14 %. Еще ниже (4 %) показатель применения технологий информационного моделирования на этапе эксплуатации зданий [3]. Основная причина, препятствующая активному применению ТИМ у отечественных девелоперов – отсутствие квалифицированных кадров в необходимом объеме и высокая стоимость внедрения.

*Автоматизированная система управления зданием (Building Management System, BMS, АСУЗ)* – это средство, позволяющее получать подробную информацию о состоянии всех систем здания в реальном времени: кондиционирования и вентиляции; энергоустановок и освещения; отопления; систем безопасности и т. п.

Зачастую здания с АСУЗ называют «интеллектуальное здание» или «умный дом». Подавляющее количество таковых построено и/или внедрено за рубежом. На США приходится около 30 %, на Японию – 20 %, а на Западную Европу – 40 % всех реализованных проектов. В России применение технологий АСУЗ носят пока единичный характер и воплощаются преимущественно на объектах нежилой и коммерческой недвижимости. Однако в некоторых регионах

РФ вводятся нормативно-правовые акты, способствующие внедрению АСУЗ. Так, например, Комитет по архитектуре и градостроительству города Москвы не может утверждать и согласовывать задания на проектирование типовых зданий и сооружений по городскому заказу, которые не предусматривают подраздел «Автоматизированные системы управления внутренним освещением».

Для обеспечения оптимальных условий эксплуатации минимальными затратами желательно применять информационную модель здания (BIM) с АСУЗ (BMS) в комплексе. Это позволит осуществлять как наблюдение за состоянием строительных элементов объекта (фундамент, несущие конструкции и т. п.), так и контроль над работой инженерных систем.

Такой подход к объединению АСУЗ и ТИМ увеличит сроки безаварийной работы оборудования и предупредит о потенциально опасных ситуациях, повышая энергетическую эффективность здания и сроки его полезного использования. В общем итоге экономия затрат на эксплуатацию может составить до 40 % и уменьшение стоимости владения зданием до 30 % [4].

*Система управления эксплуатацией здания (Facility management, FM, СУЭЗ)* служит для управления процессами (не относящимися к основной деятельности на данных объектах) внутри зданий и сооружений и материальными ресурсами. СУЭЗ осуществляют обработку и прием заявок от пользователей, содержат всю эксплуатационную документацию и позволяют автоматически формировать наряды на ремонт и обслуживание оборудования. Таким образом, процесс обслуживания здания автоматизируется и становится более прозрачным. Также за счет системы и применяемого в ней электронного документооборота служба эксплуатации и собственник здания видят статистику по всем затратам на содержание объекта, по ремонтным работам, сервисным обслуживанием и т. д.

Применение Facility Management в России находится в начальной стадии. Если в мире уже давно оценили преимущества внедрения СУЭЗ, то в России это еще не так очевидно для собственников недвижимости и управляющих компаний.

Стоит отметить, что наличие обратной связи с пользователями здания позволяет системе FM дополнять BMS (АСУЗ), количество датчиков которой ограничено. Для корректной работы автоматизированной системы управления процессом эксплуатации здания необходимо изначально сформировать базу данных об объекте, которая будет включать информацию об установленном оборудовании и регламенте планово-предупредительных работ и многое другое, включая договоры об аренде и т. д., и т. п. Большую часть этих данных можно перенести из ТИМ и АСУЗ.

#### Заключение

Стоимость владения объектом капитального строительства на 80 % состоит из затрат на его эксплуатацию (персонал – 40 %, коммунальные платежи – 25 %, ремонт – 10 %, утилизация – 5 %) [5]. Следовательно, чем ниже эксплуатационные затраты, тем более экономически эффективным будет являться здание.

Одним из путей снижения затрат на эксплуатационное содержание здания – это применение автоматизированной системы управления зданием (BMS) в комплексе с технологиями информационного моделирования зданий (BIM) и системой управления эксплуатацией здания (FM). Такой подход обеспечивает получение всей необходимой и достаточной для надлежащего содержания объекта информации эксплуатационными службами. Из АСУЗ (BMS) – показания датчиков об актуальном состоянии оборудования и инженерных сетей, их отображение в виде схем и диаграмм на АРМ персонала; из ТИМ (BIM) – проектную и исполнительную документацию, локализацию аварийного участка; из СУЭЗ (FM) – различные инструкции и руководства, эксплуатационную документацию, статистику отказов и ремонтов.

### **Список литературы:**

1. Гнам, П. А. Анализ методик технического обследования объектов с целью определения их физического износа / П. А. Гнам. – Текст : электронный // Alfabuild. – 2019. – Том 11, № 4. – С. 7-21. – URL: <https://alfabuild.spbstu.ru/article/2019.11.1/> (дата обращения: 29.10.2022).
2. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1984-ст.: дата введения 2014-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 54 с. – Текст : непосредственный.
3. Технологии информационного моделирования. Аналитические материалы. Единая информационная система жилищного строительства (Минстрой России): [сайт]. – URL: <https://наш.дом.рф/технологии-информационного-моделирования> (дата обращения: 29.10.2022). – Текст : электронный.
4. Козлов, И. М. Оценка экономической эффективности внедрения информационного моделирования зданий / И. М. Козлов. – Текст : электронный // Архитектура и современные технологии. – 2010. – № 1 (10). – URL: <https://marhi.ru/AMIT/2010/1kvart10/kozlov/kozlov.pdf> (дата обращения: 26.09.2022).
5. Деменев, А. В. Информационное моделирование при эксплуатации зданий и сооружений / А. В. Деменев, А. С. Артамонов. – Текст : электронный // Наукоедение. – 2015. – том 7. – № 3. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/29TVN315.pdf> (дата обращения: 29.10.2022).

© Кокошников А. С., Чекунов А. В., 2022

## БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА БАЗ ДАННЫХ

студент **Исмагилова Динара Айратовна**,  
науч. руководители: канд. техн. наук, доцент **Левина Татьяна Михайловна**,  
ассистент **Масгутова Ирина Салаватовна**,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Салават, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе рассматривается безопасность и защита баз данных, а также методы противодействия угрозам.

**Ключевые слова:** база данных, безопасность, защита, информация, хищение информации.

## DATABASE SECURITY AND PROTECTION

Student **Ismagilova Dinara Ayratovna**,  
Academic Advisors: PhD in Technology, Associate Professor  
**Levina Tatiana Mikhailovna**,  
Assistant **Masgutova Irina Salavatovna**,  
Ufa State Petroleum Technical University,  
Salavat, Russian Federation

**Abstract.** The paper discusses the security and protection of databases, as well as methods of countering threats.

**Keywords:** database, security, protection, information, information theft.

Ни для кого не новость, что современным миром правит информация. Для любой компании база данных очень важна и ценна. Это означает, что ее защита является одной из самых сложных задач, которые стоят перед подразделениями, отвечающими за обеспечение информационной безопасности.

В настоящее время практически ни одна организация не может обойтись без использования баз данных в своей деятельности. Поскольку в базах данных может храниться очень деликатная или конфиденциальная информация, касающаяся финансовой документации и клиентской информации, актуален вопрос ее защиты и безопасности.

Под «защитой БД» понимается способ предотвращения несанкционированного доступа к информации, хранимой в таблицах. Длительное время защита баз данных ассоциировалась с защитой локальной сети предприятия от внешних атак, борьбой с вирусами и т. п. Однако одним из наиболее слабых мест при обеспечении безопасности данных является большое количество лиц, получающих к ним доступ на самых различных уровнях, т. е. угрозы возникают не только извне, но и изнутри, со стороны легальных пользователей [1].

Наиболее типичным примером является скачивание базы данных системным администратором перед увольнением или воровство базы сотрудником, имеющим к ней доступ в связи с должностными обязанностями. Таким образом, возникает проблема защиты конфиденциальной информации от атак злоумышленников.

К основным средствам защиты информации относят следующие:

- парольная защита. Парольная защита представляет простой и эффективный способ защиты баз данных от несанкционированного доступа. Пароли устанавливаются конечными пользователями или администраторами и хранятся в определенных системных файлах СУБД в зашифрованном виде;

- установление прав доступа к объектам баз данных. В целях контроля использования основных ресурсов СУБД во многих системах имеются средства установления прав доступа к объектам базы данных. Права доступа определяют возможные действия над объектами. Владелец объекта, а также администратор имеют все права. Остальные пользователи к разным объектам могут иметь различные уровни доступа;

- защита полей и записей таблиц базы данных. К данным, имеющимся в таблице, могут применяться меры защиты по отношению к отдельным полям и отдельным записям. В реляционных СУБД отдельные записи специально не защищаются. Применительно к защите данных в полях таблиц можно выделить такие уровни прав доступа, как полный запрет доступа, только чтение, разрешение всех операций;

- шифрование данных и программ. Более мощным средством защиты данных от просмотра является их шифрование. Под «шифрованием» понимается преобразование читаемого текста в нечитаемый с помощью стойкого криптоалгоритма. Для дешифрования информации пользователи, имеющие санкционированный доступ к зашифрованным данным, имеют ключ и алгоритм расшифрования.

Главным объектом атаки являются, как правило, административные полномочия. Их можно получить, узнав в хешированном или символьном виде пароль администратора системы.

В таблице рассмотрены методы противодействия типовым угрозам.

Таблица – Методы противодействия типовым угрозам

<b>Угроза</b>	<b>Противодействие</b>	<b>Метод</b>
<p>Хищение информации из БД со стороны легального пользователя (превышение полномочий)</p>	<p>Ролевое управление, подробный аудит</p>	<p>Аутентификация и дополнительный мониторинг действий пользователя</p>

Угроза	Противодействие	Метод
<p>Хищение информации из БД неуполномоченным пользователем</p>	<p>Шифрование базы данных и ролевое управление доступом</p>	<p>Установка системы управления доступом по цифровым сертификатам, шифрование критических сегментов базы</p>
<p>Хищение или использование чужой учетной записи (из-за отсутствия защиты учетной записи)</p>	<p>Аутентификация по цифровому сертификату</p>	<p>Использование механизма SSL-аутен-тификации</p>
<p>Хищение или копирование ключевого контейнера или его резервной копии</p>	<p>Закрытый ключ хранится как не экспортируемый в защищенной памяти интеллектуальной смарт-карты</p>	<p>Использование смарт-карт технологий для безопасного хранения закрытых ключей</p>
<p>Перехват передаваемых по сети данных</p>	<p>Шифрование сетевого трафика</p>	<p>Использование SSL-протокола для шифрования передаваемых по сети данных с помощью встроенных в Oracle алгоритмов симметричного шифрования</p>
<p>Дублирование смарт-карты</p>	<p>Доступ к защищенной памяти смарт-карты, в которой хранятся закрытые ключи, защищен РМ-кодом. Экспорт закрытых ключей из смарт-карты исключен</p>	<p>Закрытые ключи, сгенерированные смарт-картой или импортированные в нее, хранятся в закрытой памяти смарт-карты и не могут быть из нее извлечены</p>
<p>Перехват закрытого ключа (в момент его использования с помощью специального ПО)</p>	<p>Аппаратная реализация криптографических операций в смарт-карте</p>	<p>Использование смарт-карт технологий для аппаратного выполнения криптографических операций (SSL) в процессоре смарт-карты без «выхода» закрытых ключей наружу</p>



Типовые угрозы и технические методы противодействия им с помощью технологий, основанных на применении встроенных в Oracle, приведены в таблице.

Таким образом, для минимизации риска потерь необходима реализация комплекса нормативных, организационных и технических защитных мер, в первую очередь: введение ролевого управления доступом, организация доступа пользователей по предъявлению цифрового сертификата, а в ближайшей перспективе – промышленное решение по выборочному шифрованию и применение алгоритмов ГОСТ для шифрования выбранных сегментов базы [2; 3; 4; 5; 6; 7].

Для полного решения проблемы защиты данных администратор безопасности должен иметь возможность проводить мониторинг действий пользователей, в том числе с правами администратора. Поскольку штатная система аудита не имеет достаточных средств защиты, необходима независимая система, защищающая корпоративную сеть не только снаружи, но и изнутри. В будущем должны также появиться типовые методики комплексного решения задачи защиты баз данных для предприятий разного масштаба – от мелких до территориально распределенных.

#### **Список литературы:**

1. Толковый словарь по вычислительной технике. – М. : Издательский отдел "Русская редакция" ТОО "Channel trading Ltd", 2005. – Текст : непосредственный.
2. Сервер информационных технологий: [сайт]. – URL: [www.citforum.ru](http://www.citforum.ru) (дата обращения: 11.11.2022). – Текст : электронный.
3. Хомоненко, А. Д., Цыганков, В. М. Базы данных: учеб. для вузов / Д. А. Хомоненко, В. М. Цыганков. – СПб. : КОРОНА принт, 2000. – 416 с. – Текст : непосредственный.
4. Фёдоров, А., Елманова, Н. Базы данных для всех / А. Фёдоров, Н. Елманова. – М. : Компьютер пресс, 2001. – Текст : непосредственный.
5. Глушаков, С. В., Ломотько, Д. В. Базы данных / С. В. Глушаков, Д. В. Ломотько. – М. : АСТ, 2001. – Текст : непосредственный.
6. Карпова, Т. С. Базы данных: модели, разработка, реализация / Т. С. Карпова. – СПб. : Питер, 2001. – 304 с. – Текст : непосредственный.
7. Когаловский, М. Р. Энциклопедия технологий баз данных / М. Р. Когаловский. – М. : Финансы и статистика, 2002. – Текст : непосредственный.

© Исмагилова Д. А., 2022

**ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННОЕ СЖИГАНИЕ ТВЕРДЫХ  
ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ И ОТХОДОВ СОРТИРОВКИ МАКУЛАТУРЫ,  
СОДЕРЖАЩИХ СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ,  
В КОТЛОАГРЕГАТЕ БКЗ-85-13**

студент **Федорук Софья Сергеевна**,  
ст. преподаватель **Рыжиков Владимир Александрович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматривается возможность совместного сжигания отходов макулатурных предприятий ЦБП, содержащих синтетические полимеры, с древесными отходами деревообрабатывающих предприятий, сформированных в топливный брикет с дальнейшим измельчением в пыль с помощью системы пылеприготовления, в котлоагрегате БКЗ-85-13 с низкотемпературной вихревой топкой В. В. Померанцева. Такие топливные брикеты пригодны для совместного сжигания с угольной пылью в вихревых топках как топливо с повышенной теплотворной способностью и сниженным углеродным следом.

**Ключевые слова:** экология, энергетика, переработка отходов деревообработки, отходы ЦБП, утилизация, охрана окружающей среды.

**HIGHLY QUALIFIED INCINERATION OF SOLID WOOD WASTE  
AND RECYCLED PAPER SORTING WASTE CONTAINING SYNTHETIC  
POLYMERS IN THE BOILER UNIT BKZ-85-13**

Student **Fedoruk Sofya Sergeevna**,  
Senior Lecturer **Ryzhikov Vladimir Alexandrovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The possibility of co-incineration of waste from recycling pulp and paper enterprises containing synthetic polymers with wood waste from woodworking enterprises, formed into a fuel briquette with further grinding into dust using a dust preparation system, in a BKZ-85-13 boiler unit with a low-temperature vortex furnace by V. V. Pomerantsev is considered. Such fuel briquettes are suitable for co-incineration with pulverized coal in swirl furnaces as a fuel with increased calorific value and reduced carbon footprint.

**Keywords:** ecology, energy, wood processing waste, waste from pulp and paper, disposal, environmental protection.

В России и мире активно идет обсуждение перехода к углеродной нейтральности, что означает сокращение до нуля выбросов углекислого газа в процессе производственной деятельности или их компенсацию за счет углеродно-отрицательных проектов. Процесс минимизации техногенного влияния на окружающую среду и переход на чистые технологии стал уже не трендом, а неизбежной реальностью. В России в июле 2020 года был подписан Указ Президента о национальных целях развития России на период до 2030 года. Новый документ существенно усиливает значимость экологической повестки. В соответствии с ним в ближайшие десятилетия страна будет двигаться по «зеленому» направлению. В числе главных целей станет создание устойчивой системы обращения с твердыми коммунальными отходами, снижение вдвое вредных выбросов в воздух, оказывающих наибольшее негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Помимо этого, должны быть ликвидированы наиболее опасные объекты накопленного вреда природе и проведено экологическое оздоровление водных объектов [1].

В 2021 году Правительство России утвердило Стратегию социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. Приняв долгосрочную стратегию декарбонизации, Россия заняла подобающее ей место в процессе достижения целей глобального характера по защите климата – озвучена цель по достижению углеродной нейтральности Россией к 2060 г. Ряд европейских стран ставят подобную задачу к 2050 г., а Китай – с определенными оговорками – к 2060 г.; таким образом, Россия после данного решения вошла в клуб стран, которые окажут существенное влияние на климатические процессы в ближайшие десятилетия. Для реализации такой цели далеко не на последнем месте стоит переработка отходов производств с получением чистой энергии и минимизацией вредных выбросов, в том числе и двуокиси углерода [2].

В связи с проблемой перехода к низкоуглеродной циркулярной биоэкономике на сегодняшний день актуальна задача переработки отходов картонно-бумажной макулатуры, содержащей целлюлозу и синтетические полимеры. В настоящее время при производстве макулатурного картона не всегда есть возможность утилизировать эти отходы (побочные продукты переработки), и их чаще всего захоранивают на полигонах, что не только увеличивает площади свалок (полигонов), но и приводит при их гниении к дополнительным выбросам диоксида углерода без получения полезной энергии. Таким образом, эти достаточно крупнотоннажные отходы целлюлозно-бумажной промышленности ни в России, ни в мире пока что не нашли своего места в процессе переработки с целью получения полезной энергии или топлива [3; 4; 5].

4 октября 2022 ФАО ООН опубликовала «Глобальный прогноз развития лесного сектора до 2050 года», важнейшим разделом которого является раздел «Древесина для производства энергии». В нем указывается, что в 2020 году 2,3 млрд человек по-прежнему полагались на древесное топливо в качестве основного источника энергии для приготовления пищи и отопления. Учитывая,

что в ноябре 2022 года население Земли превысило 8 млрд человек, четверть населения Земли зависят от древесного топлива [4; 5; 6].

В прогнозе указывается, что древесное топливо останется основным источником энергии для многих домохозяйств в странах с развивающейся экономикой до 2050 года, но многие сценарии предполагают, что темпы роста потребления замедлятся. Мировое потребление топливной древесины из лесов в 2050 году может составить от 2,1 до 2,7 млрд кубометров по сравнению с 1,9 млрд кубометров в 2020 году, увеличившись на 11-42 %.

Четверть века назад в мире и в России стало производиться биотопливо второго поколения – древесные пеллеты и брикеты; за эти годы их производство достигло 50 млн тонн [3; 4; 5; 6]. Благодаря своим специфическим свойствам и эффективным системам сжигания они нашли широкое применение и в быту – для отопления индивидуальных домов, и на электростанциях для совместного сжигания с каменным углем. Мировая добыча каменного угля составляет около 7,5 млрд тонн в год; содержание общей серы в углях колеблется в основном от 0,2 до 10 %. При этом совместное сжигание каменного угля с древесными пеллетами рассматривается как один из важнейших путей уменьшения карбонового следа угольных электростанций.

В 2020 году Россия экспортировала 2,32 млн тонн древесных пеллет – 6 % от мирового объема производства пеллет. (ФАО 2019 – Древесные пеллеты и прочие агломераты – 46 млн тонн). В первом полугодии 2021 года производство топливных пеллет увеличилось на 19 %, цены на гранулы прибавили 17 %. Мировым центром производства и потребления топливных древесных гранул является регион ЕЭК, на долю которого приходится 80 % мирового производства пеллет; а доля стран ЕЭК в ее мировом экспорте составляет 90 %.

В 2019 году в регионе ЕЭК было произведено 36,7 млн т топливных древесных гранул (+8,8 %), при этом показатель их потребления является самым высоким в Европейском субрегионе, в то время как Северная Америка подтвердила свою лидирующую позицию в качестве крупнейшего мирового экспортера этой продукции [3; 4; 5; 6].

Нами предлагается технология утилизации смешанных отходов, содержащих целлюлозу и синтетические полимеры с твердыми древесными отходами в качестве компонентов топливных брикетов, в дальнейшем размолотых в пыль с помощью системы пылеприготовления, в комбинации с угольной пылью с последующим сжиганием в низкотемпературной вихревой топке В. В. Померанцева (НТВ-топке) [7].

В лабораторных условиях Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, при стандартной технологии прессования, были проведены эксперименты по определению низшей теплоты сгорания комбинированного топливного брикета, в соотношении 50/50, без добавления угольной пыли, в калориметрической бомбе на двух разных поверенных калориметрах. С учетом погрешностей средний результат составил – 14.2 МДж/кг при относительной влажности топлива в 6 %. Также была определена зольность топлива с помощью муфельной печи и составила 2.9 % рабочей массы топлива. Химический состав

комбинированного топливного брикета, состоящего из твердых древесных отходов и отходов тонкой сортировки макулатуры, представлен в таблице.

Таблица – Химический состав комбинированного топливного брикета

Низшая теплота сгорания $Q_{г}^i$ , МДж/кг	Влажность, %	Зольность, %	Углерод, %	Водород, %	Азот, %	Кислород, %
14,2	6	2,9	47	4,5	0,6	39

В дальнейшем, с добавлением угольной пыли, химический состав изменится в каждом пункте, начиная от повышения теплотворной способности топлива, заканчивая добавлением в состав серы и повышения зольности топлива.

Для определения целесообразности внедрения данного топлива в промышленных масштабах необходимо провести ряд расчетов энергетической установки, в которой планируется сжечь топливо с дальнейшим полезным использованием выделившейся тепловой энергии. В нашем случае – это котлоагрегат с низкотемпературной вихревой топкой В. В. Померанцева [7]. В качестве примера был взят котел БКЗ-85-13 (рисунок 1) с паропроизводительностью 85 т/ч и давлением перегретого пара 13 кгс/см<sup>2</sup>. В данной энергетической установке необходимо рассчитать: материальный баланс процесса горения топлива, тепловой баланс котлоагрегата, тепловой поверочный расчет топочной камеры и остальных тепловоспринимающих поверхностей нагрева, аэродинамический расчет котлоагрегата, расчет вредных выбросов оксидов азота и в завершении – расчет экономического эффекта от перехода с полностью угольного топлива, на топливо, предложенное в данной работе [8].

В основу технологии низкотемпературного вихревого сжигания заложен принцип организации низкотемпературного сжигания твердого топлива в условиях многократной циркуляции частиц в камерной топке. В НТВ-топке организованы две зоны горения, которые разнесены по ее высоте: вихревая и прямоточная. Вихревая зона занимает объем нижней части топки от устья топочной воронки до горелок. Прямоточная зона горения располагается над вихревой зоной в верхней части топки (рисунок 2).

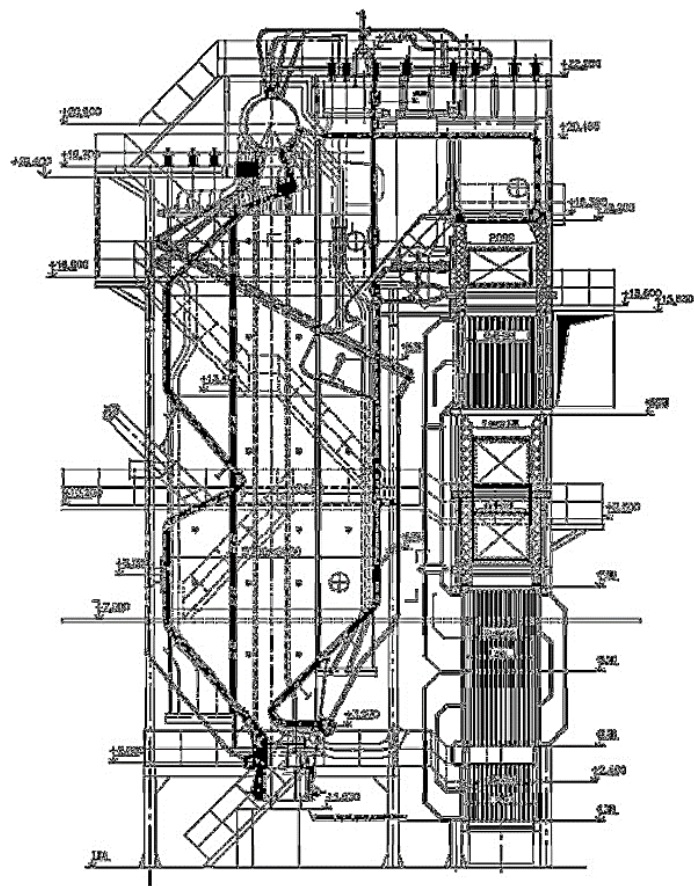


Рисунок 1. Котел БКЗ-85-13

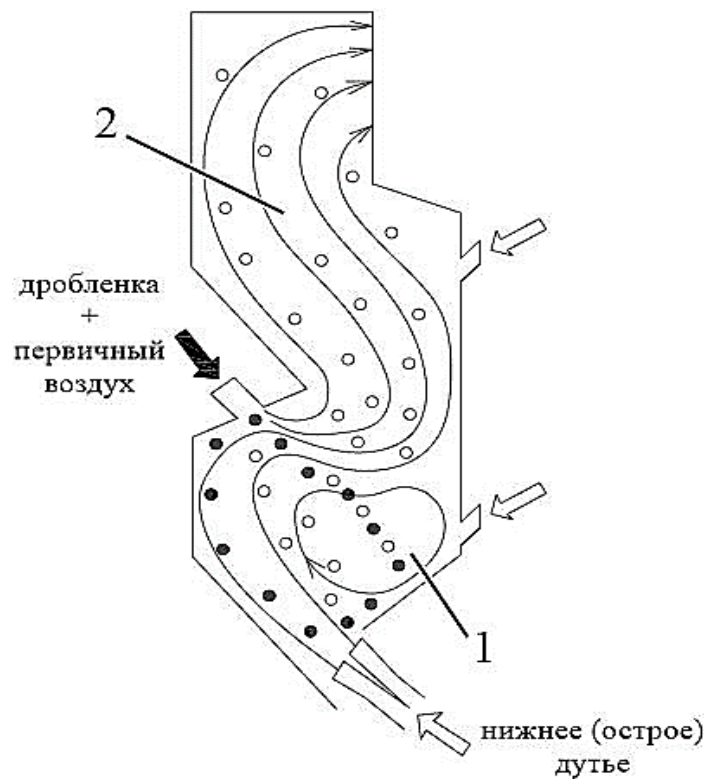


Рисунок 2. Топочная камера НТВ

Аэродинамика вихревой зоны создается за счет взаимодействия двух организованных потоков: первый поток сформирован из топливно-воздушной смеси, поступающей в топку через горелки; второй поток состоит из горячего воздуха, подаваемого в топку через систему нижнего дутья. Потоки направлены навстречу друг другу и образуют пару сил, создающую вихревое движение в нижней части топки [7].

В отличие от традиционной технологии пылеугольного сжигания, где основная часть топлива (до 92-96 %) сгорает в так называемой «зоне активного горения», расположенной в районе горелок, и занимающей относительно небольшой объем камерной топки, в вихревой топке с НТВ технологией сжигания в «зону активного горения» вовлечен значительно больший объем топочного пространства. Это дает возможность снизить максимальную температуру в вихревой топке (примерно на 100-300 °С) и за счет активной аэродинамики выровнять уровень температуры в объеме вихревой зоны. (рисунок 3). Применение вихревой топки позволяет нивелировать различия в скорости витания частиц каменного угля, древесины, целлюлозных и древесных отходов.

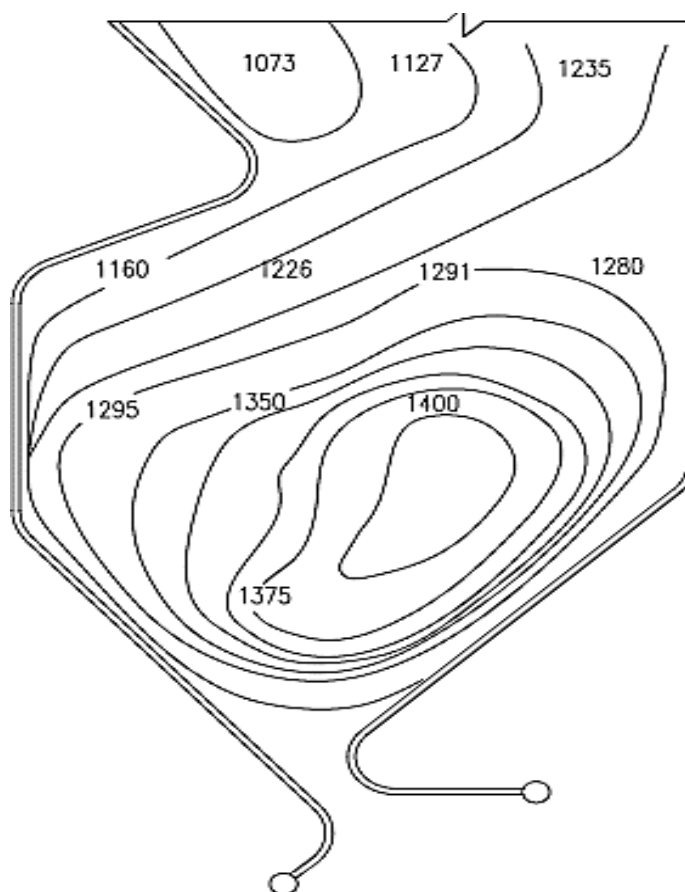


Рисунок 3. Распределение температур в НТВ-топке

В совокупности пониженный уровень температуры, ступенчатый ввод окислителя, многократная циркуляция горящих топливных частиц и угрубление гранулометрического состава золы обеспечивают улучшенные показатели

вихревых топок по вредным выбросам оксидов азота, а также повышают эффективность работы золоулавливающего оборудования котельной установки.

Благодаря предложенной технологии утилизации твердых древесных отходов и отходов картонно-бумажной макулатуры, содержащих синтетические полимеры, с помощью низкотемпературной вихревой топки и добавления их к угольной пыли можно достигнуть положительных эффектов по улучшению экологической составляющей окружающей среды и по полезному использованию тепла, полученного из отходов производства, а также получить сопутствующий экономический эффект от этой технологической цепочки.

### **Список литературы:**

1. Указ Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». – Текст : непосредственный.
2. Распоряжение правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р. – Текст : непосредственный.
3. Hansen E., Panwar R., Vlosky R. The Global Forest Sector: Changes, Practices and Prospects // NY: CRC Press, Taylor & Francis Group. 2017. 462 p.
4. Forest Products Annual Market Review 2021-2022, UNECE, 70 p.; Forest Products Annual Market Review 2019-2020 – Forestry and Timber – UNECE. 82 p.
5. Ежегодный обзор рынка лесных товаров, 2018–2019 годы: Женева: ЕЭК ООН. – 2020. – 173 с. – Текст : непосредственный.
6. Древесина как источник энергии в регионе ЕЭК ООН: данные, тенденции и перспективы в Европе, Содружестве Независимых Государств и Северной Америке // FAO / ЕЭК ООН. – Нью-Йорк; Женева, 2018. – с. 111. – URL: <https://unece.org/DAM/timber/publications/SP-42-R.pdf> (дата обращения: 08.11.22). – Текст : электронный.
7. Померанцев, В. В. Топки скоростного горения для древесного топлива / В. В. Померанцев. – Москва; Ленинград : Ленингр. отд-ние Машгиза, 1948 . – 74 с. – Текст : непосредственный.
8. Смородин, С. Н. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных установок: учеб. пособие / С. Н. Смородин и др. – СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. – 200 с. – Текст : непосредственный.

© Федорук С. С., Рыжиков В. А., 2022



## РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ЗЕЛЕНИ

студент **Чигрунов Дамир Фарходович**,  
науч. руководитель: ст. преподаватель **Муратов Радик Масхутович**,  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А. Н. Туполева,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье представлена технология реализации многофункциональной системы для автоматизированного выращивания зелени с возможностью использования различных технологий орошения, контроля показателей условий среды и угла поворота системы относительно источника света с целью создания благоприятной среды для зелени.

**Ключевые слова:** зелень, автоматизированная система, датчик света, орошение, влажность, температура.

## DEVELOPMENT OF A MULTIFUNCTIONAL SYSTEM FOR AUTOMATED CULTIVATION OF GREENERY

Student **Chigrunov Damir Farkhodovich**,  
Academic Advisor: Senior Lecturer **Muratov Radik Maskhutovich**,  
Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** The article presents a technology for the implementation of a multifunctional system for automated cultivation of greenery with the possibility of using various irrigation technologies, monitoring environmental conditions and the angle of rotation of the system relative to the light source, in order to create a favorable environment for greenery.

**Keywords:** greenery, automated system, light sensor, irrigation, humidity, temperature.

В современном мире многоэтажных домов и отсутствия достаточного количества свободного времени становится крайне тяжело употреблять свежую зелень, хотя это очень важно, так как зелень, срезанная перед употреблением, намного полезнее той, что была куплена в магазине и упакована даже пару часов назад. Для решения таких проблем появились специальные наборы для выращивания зелени, однако они стоят очень дорого и требуют навыков для ухода за ней и времени, чего в современном мире недостаточно у работающих людей. Для решения данной проблемы можно использовать современные технологии, так как благодаря им можно автоматизировать почти

весь процесс выращивания и при необходимости даже создать маленькую ферму на окне, которая будет требовать лишь употребления результатов ее работы.

В качестве управляющего модуля всей конструкции достаточно будет взять Arduino Uno R3 на основе восьмибитного микроконтроллера ATmega 328P. Его мощности будет достаточно для создания маленькой фермы у себя на окне. При необходимости модернизировать конструкцию будет достаточно добавить дополнительные модули с заменой управляющего модуля на более мощный. Пины Arduino используются для подключения внешних устройств и могут работать как в режиме входа (INPUT), так и в режиме выхода (OUTPUT). К каждому входу может быть подключен встроенный резистор 20-50 кОм с помощью выполнения команды `pinMode ()` в режиме `INPUT_PULLUP`. Допустимый ток на каждом из выходов – 20 мА, не более 40 мА в пике. Пины с номерами от 0 до 13 являются цифровыми. Это означает, что вы можете считывать и подавать на них только два вида сигналов: HIGH и LOW. С помощью ШИМ также можно использовать цифровые порты для управления мощностью подключенных устройств [1].

Конструкция фермы будет состоять из отдельных модулей, данные с которых будут передаваться на управляющий модуль, обрабатываться там и в зависимости от полученных результатов будут выполняться определенные действия. Помимо датчиков у нас будет корпус с защитой от воздействия внешних факторов, на его передней панели будут располагаться клапаны естественной вентиляции, которые будут открываться в зависимости от ситуации внутри фермы, а также внешних условий среды (к примеру: если вы оставите окно открытым и система посчитает, что поток ветра, поступающий в ферму, достаточно холодный, то клапаны прикроются для предотвращения охлаждения растений, степень открытия клапанов будет регулировать шаговый двигатель 28BYJ-48. Рядом с клапанами будут располагаться датчики температуры и влаги, которые будут отслеживать кроме температуры еще и влагу, и в случае нежелательного попадания влаги через клапан, будут перекрывать его.

В нижней части корпуса расположен резервуар с водой, внутри которого маленький водяной насос, который будет связан с датчиком влажности почвы. Когда этот датчик будет передавать сигнал на управляющий микроконтроллер о том, что почву пора полить, будет происходить обращение к настройкам системы, которые были установлены изначально пользователем для запуска правильного метода полива с учетом потребностей растений внутри фермы. В резервуар с водой также можно будет подмешивать специальные растворимые удобрения, они будут поступать в почву через воду и подпитывать растения. Так как ферма подходит для выращивания любых растений, то пользователи смогут самостоятельно устанавливать параметры среды внутри фермы, которые будет поддерживать наша система. В зависимости от необходимой степени влажности почвы и метода орошения будут использоваться внутрипочвенный полив или аэрозольное орошение.

При внутрипочвенном орошении корнеобитаемый слой увлажняется посредством подачи воды непосредственно через трубочки, проложенные на

небольшом уровне от поверхности почвы. К достоинствам внутрпочвенного орошения следует отнести:

- 1) сохранение структуры почвы и поддержание ее в рыхлом состоянии; продуктивное использование поливной воды;
- 2) сочетание полива с одновременным внесением непосредственно в зону корней растворимых питательных веществ;
- 3) возможность сочетания увлажнения с одновременным обогревом почвы термальными и сбросными теплыми водами ТЭС.

Внутрпочвенный полив основан на всасывающей способности почвы. Чем выше капиллярная проводимость почвы, меньше диаметр ее частиц, тем больше всасывающая способность почвы. Она зависит не только от механического состава и чередования отдельных слоев почвы, но и от степени насыщения влагой почвы. При влажности почвы, близкой к наименьшей влагоемкости (НВ), всасывающая способность близка к нулю, при абсолютно сухой почве она достигает максимума [2].

Аэрозольное орошение предназначено для регулирования микроклимата над растениями. Дисперсные распылители образуют капли диаметром менее 0,5...1 мм, что позволяет снизить температуру воздуха на 6...12 °С и повысить его влажность. Для возможности распыления по верхней внутренней части корпуса располагаются трубки с распылительными насадками.

Внутри фермы также будет установлен датчик атмосферного давления, влажности и температуры ВМЕ280, который будет следить за текущими показателями среды и передавать их посредством модуля wi-fi ESP8266 в сеть для возможности удаленного мониторинга состояния со смартфона или удаленного компьютера.

В основании фермы будет располагаться мощный сервопривод MG995, который будет отвечать за поворот всей фермы в сторону свечения солнца или при необходимости для предотвращения длительного воздействия будет отворачивать растения от прямых солнечных лучей. Преимуществом использования сервопривода перед обычными двигателями постоянного тока является то, что с помощью команд можно установить привод в определенное положение, в котором он останется до поступления новых команд, таким образом отпадает необходимость проверять текущее положения относительно источника света или окна [3]. Данный привод будет работать на основе информации, которая будет поступать через управляющий модуль с датчика ультрафиолетового излучения GYML8511, расположенного на поверхности корпуса фермы и анализирующего ситуацию круглосуточно. Помимо передачи информации в реальном времени он будет отправлять данные на сервер, где они будут храниться и анализироваться, в случае выявления алгоритмом недостатка ультрафиолетового излучения в виду климатических условий, будет подан сигнал на управляющий модуль, который будет задействовать расположенные внутри фермы лампы ультрафиолетового излучения для создания благоприятных условий (рисунок 1).

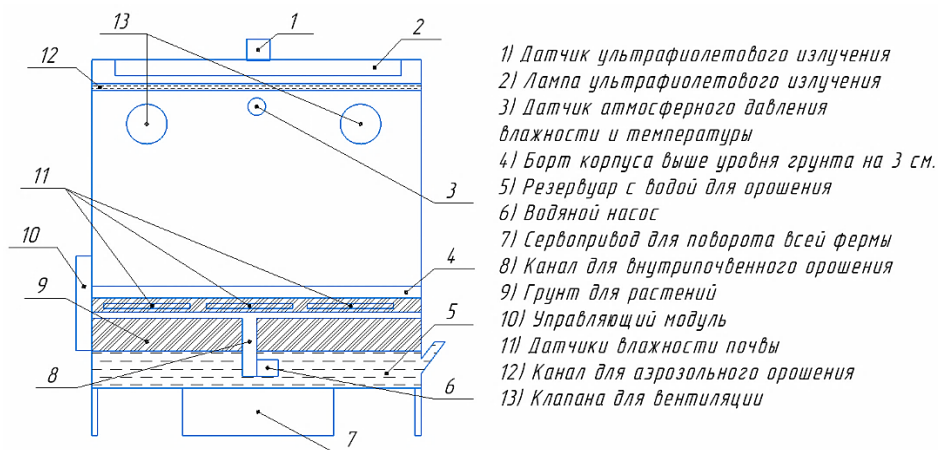


Рисунок 1. Конструкция корпуса фермы с расположением модулей

Всю конструкцию с учетом использованных модулей можно представить в качестве блок-схемы (рисунок 2). Модуль wi-fi будет использован для связи системы с внешними серверами для хранения данных, а также получения и передачи информации пользователям. Также он позволяет использовать соединение с другими электронными устройствами, такими как умный дом, умные шторы и другими устройствами для модернизации возможностей системы автоматического выращивания зелени.



Рисунок 2. Блок-схема модулей автоматизированной фермы

Корпус фермы будет сделан из легкого пластика, в верхней части которого будут выполнены вытяжные отверстия. Передняя панель корпуса будет сделана из прозрачного пластика, она же будет являться откидной дверцей для непосредственного доступа к зелени. Вся конструкция будет регулироваться по углу наклона за счет специальных винтов в основании корпуса, которые будут прикреплены к сервоприводу. Для исключения протекания влаги из резервуара с водой на сервопривод и его затопление бак с жидкостью будет герметично обработан с внешней стороны. При необходимости каждый модуль легко

демонтируется и может быть заменен. Также к управляющему модулю будет подключен ЖК-дисплей для отображения информации о показателях внутри фермы. Благодаря wi-fi-модулю можно будет менять настройки необходимых параметров среды без отключения управляющей платы. Так как наша ферма содержит большое количество различных модулей, то для ее питания необходимо установить блок питания на 12 В, что позволит также питать от одного блока приводы и ультрафиолетовые лампы. Также такой блок питания обеспечит запас по напряжению для будущих модернизаций.

В ходе конструирования корпуса устройства следует помнить о необходимости создания разъемов для установления датчиков температуры, вырезов для возможности получения доступа и установления остальных модулей, но при этом обеспечить защиту воздействия влаги с системы орошения на модули для увеличения их срока службы. Так как внутри нашего корпуса будет располагаться грунт и периодически он будет становиться влажным, то следует позаботиться об отверстиях для дренажа. Помимо них мы укрепим корпус путем добавления ребер жесткости, так как наша конструкция будет вращаться под воздействием источника света. В заключение стоит проверить всю конструкцию на герметичность и в случае необходимости промазать определенные места смесью для герметизации [4].

Несомненным плюсом нашей системы является возможность модернизировать ее под себя путем добавления или удаления различных датчиков. Так как ее функционал построен на основе отдельных модулей, то это не составит труда. Если у пользователя имеется навык программирования, то ему необходимо установить среду программирования, написать код и прошить управляющий модуль. Благодаря реализации фермы на основе модулей arduino становится возможным подключить ее к интернету вещей, концепции «умного дома», где вся техника в доме связана через интернет, что значительно облегчит контроль и мониторинг не только за фермой, но и окружающей ее среды.

### **Список литературы:**

1. Плата Arduino Uno R3: схема, описание, подключение устройств: [сайт]. – URL: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-uno/> (дата обращения: 14.11.2022). – Текст : электронный.
2. Способы орошения: микроорошение: [сайт]. – URL: <http://www.cawater-info.net/bk/4-2-1-4-2.htm> (дата обращения: 02.11.2022). – Текст : электронный.
3. Блум, Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства; пер. с англ. / Д. Блум. – СПб. : БХВ-Петербург, 2015. – 336 с. – Текст : непосредственный.
4. Как разработать корпус из пластмассы: [сайт]. – URL: [https://formlab.ru/kak\\_razrabotat\\_korpus\\_iz\\_plastika](https://formlab.ru/kak_razrabotat_korpus_iz_plastika) (дата обращения: 16.11.2022). – Текст : электронный.

© Чигрунов Д. Ф., Муратов Р. М., 2022

## МАЛЫЕ МОДУЛЬНЫЕ РЕАКТОРЫ

студент **Иванченко Иван Денисович**,  
студент **Леонов Владимир Андреевич**,  
науч. руководитель: канд. ф.-м. наук, доцент

**Демина Маргарита Юрьевна**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе рассматриваются малые модульные реакторы и их перспективы в будущем. В результате анализа сравниваются полноценные атомные электростанции (АЭС) и малые модульные реакторы (ММР).

**Ключевые слова:** атомная электростанция (АЭС), малый модульный реактор (ММР), атомная станция малой мощности (АСММ), реактор, проект.

## SMALL MODULAR REACTORS

Student **Ivanchenko Ivan Denisovich**,  
Student **Leonov Vladimir Andreevich**,  
Academic Advisor: PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor  
**Demina Margarita Yurievna**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The paper considers small modular reactors and their future prospects. As a result of the analysis, full-fledged nuclear power plants (NPPs) and small modular reactors (SMRs) are compared.

**Keywords:** nuclear power plant (NPP), small modular reactor (SMR), small-sized nuclear power plant (SNPP), reactor, project.

Атомная станция – это большой дорогостоящий проект, который способен обеспечивать энергией город больших размеров, а в некоторых случаях даже страну. Новые проекты, известные как малые модульные реакторы мощностью до 300 МВт, за последнее время обрели большой интерес и популярность. Small Modular Reactor (SMR) – проект компактных реакторов, количество которых насчитывает более 60 концепций в мире [1]. Некоторые из них успешно функционируют на сегодняшний день. Малые модульные станции дают надежды в осуществлении всех норм безопасности, облегчении и достижении ликвидности, что позволит упростить внедрение ядерных реакторов во многие страны, а также выразить перспективы использования ядерной электроэнергии

для обеспечения будущих потребностей в целом. Благодаря маленькому размеру и модульности ММР в основной конструктив, можно достичь значительного сокращения сроков строительства, а также увеличить экономическое предложение ядерной энергетики.

#### *Преимущества ММР в сравнении с традиционными реакторами*

Большинство преимуществ малых модульных реакторов заключаются в их строении: они имеют незначительные размеры и состоят из модульных блоков [2]. Маленькая площадь дает возможность расположить ММР в неподходящих локациях, где нет места для традиционных АЭС. Каждый из блоков ММР заранее изготавливаются на заводах, после чего перевозятся и устанавливаются на подготовленной площадке, из-за чего их возведение получается доступным и более быстрым в сопоставлении с реакторами большей мощности, которым необходимо индивидуальное проектирование для определенного местоположения. ММР значительно снижает время постройки и затраты на производство, модульные блоки позволяют своевременно дополнять их для того, чтобы удовлетворять постоянному увеличению потребности на электроэнергию.

Инфраструктура районов является одной из главных проблем расширения доступа к энергии, так как сельские районы имеют ограниченный охват энергосетями, а, следовательно, и высокую стоимость подключения к ним. От всей установленной мощности энергосети на одну электростанцию должно приходиться до 10 % мощности. ММР имеют возможность подключаться к уже имеющимся энергосетям или работать полностью самостоятельно (из-за более низкой мощности) в районах, где отсутствует достаточное количество сетевой мощности и самих линий электропередач. Микрореактор – одна из разновидностей ММР. Они вырабатывают энергию порядка 100 МВт, занимаемая площадь самая маленькая среди всех ММР, а значит, микрореакторы лучше всего пригодны для районов, где другая энергия недоступна. Помимо этого, в случае чрезвычайных ситуаций такие реакторы могут использоваться в качестве резервных.

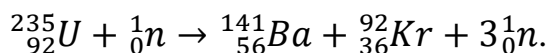
Предложенная структура малых модульных реакторов представляет собой значительно упрощенную версию традиционных реакторов. Идея защищенности для ММР опирается в основном на автономные системы и свойственные данным реакторам внутренние составляющие безопасности, такие как малая мощность и низкое рабочее давление. Из-за этого выключение систем может производиться автономно без различных вмешательств, так как автоматические системы настроены на разные физические явления, например, гравитация, повышенное давление, циркуляция и конвекции. Иногда это дает возможность в случае аварии избавляться или снижать возможные радиоактивные выбросы, которые представляют опасность для людей и окружающей природы.

Малые модульные реакторы обладают пониженными критериями требования к топливу. Например, традиционным электростанциям необходимо осуществление перегрузки топлива раз в 1-2 года, когда станциям на базе ММР требуется такая перегрузка каждые 3-7 лет. Существуют такие ММР, проектировка которых позволяет ей вести работу без перегрузки до 30 лет.

Благодаря маленькому размеру и модульности ММР в основной конструктив и процессы вносятся комплекс новшеств, что может не только сократить сроки сооружения, но и расширить ценностное предложение ядерной энергетики.

#### *Расход ядерного топлива ММР*

Реакция деления ядра  ${}^{235}_{92}\text{U}$  сопровождается испусканием нейтронов  ${}^1_0n$ :



Такая реакция является типичной, хотя существует и немало других реакций. Для урана удельная энергия связи составляет примерно 7,6 МэВ/нуклон, а у осколков деления удельная энергия связи составляет примерно 8,5 МэВ/нуклон. Разность энергии между исходным ядром урана и осколками деления составляет примерно  $8,5 - 7,6 = 0,9$  МэВ. Так как в каждом процессе деления участвует 236 нуклонов, выделяющаяся при делении ядра урана энергия равна:

$$E_{\text{яд}} = 0,9 \text{ МэВ} \cdot 236 \approx 200 \text{ МэВ} \approx 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}.$$

С практической точки зрения выделяющаяся в одном акте деления энергия ничтожно мала, но если одновременно делится большое число ядер урана, то будет выделяться огромная энергия. Так, для 1 грамма урана количество распадов будет равно:

$$N = \frac{m}{A} N_A = \frac{10^{-3} \cdot 6,023 \cdot 10^{23}}{235 \cdot 10^{-3}} = 0,0256 \cdot 10^{23}.$$

Тогда выделяемая энергия при таком количестве распадающихся ядер урана будет составлять:

$$E = E_{\text{яд}} \cdot N = 5,12 \cdot 10^{23} \text{ МэВ} = 8,2 \cdot 10^{10} \text{ Дж} = 82 \text{ ГДж}.$$

Проведем расчет расходуемого топлива при мощности ММР 300 МВт и КПД, равном 40 %. Тогда в максимальном режиме реактор в час будет расходовать:

$$m = \frac{P \cdot t \cdot A}{E_{\text{яд}} \cdot \eta \cdot N_A} = \frac{300 \cdot 10^6 \cdot 3600 \cdot 10^{-3}}{3,2 \cdot 10^{-11} \cdot 0,4 \cdot 6,023 \cdot 10^{23}} = 0,033 \text{ кг} = 33 \text{ г урана}.$$

#### *Недостатки SMR*

Безусловно, есть и минусы, которые приводят к стоимости киловатт-часа, вырабатываемого на атомных станциях малой мощности. Например, в проекте строительства реакторного модуля Toshiba 4S, мощностью 10 МВт, расположенный в городе Галена, штат Аляска, стоимость электроэнергии составляет примерно 36 рублей за кВт·ч. В сравнении дизель-генератор стоит



намного дешевле. Проект 20870 российской плавучей малой АЭС (ПАТЭС) «Академик Ломоносов» в функционирующем без привлечения дотаций режиме имел бы стоимость электроэнергии около 60 рублей за кВт·ч. Эта цена будет также неконкурентоспособна дизель-генерации или угольной ТЭС, которая на сегодняшний день существует сегодня на месте ПАТЭС «Академика Ломоносова».

Разногласие бюрократических преимуществ, намерение занять место на «растущем рынке» и неконкурентоспособности настоящих предприятий приводит в состояние растерянности. Безусловно, проектировщики осведомлены о причинах дорогой стоимости, впрочем, они уже занимаются усиленными работами по уменьшению себестоимости проекта малых реакторов.

Одна из причин высокой стоимости таких проектов – это соотношение атомных регуляторов к малым модульным станциям, как и к большим. В частности, охрана малых модульных реакторов несет очень ответственный характер, несмотря на то, что в данный момент строительство АЭС планируется пока что на территориях военных объектов или в регионах крайнего севера, куда практически невозможно попасть. Также почвой для размышлений является решение вопроса, касаемо использованного ядерного топлива ММР. Для АЭС уже функционирует полноценная дорогостоящая платформа, занимающаяся вопросом отходов, а конструкторы АСММ стремятся отодвинуть ее на второй план и доставлять модули от ядерных реакторов на специализированный разгрузочный завод, но законодательство на данный момент не дает такого права. В результате одни программы ММР уходят от стандартных военных систем расхолаживания реактора на случай аварии.

Вокруг реактора существует запас выкипающей воды, именно он дает возможность реакторам NuScale охлаждаться без ущерба и без вмешательства операторов. Малые модульные реакторы имеют небольшие размеры, что, в свою очередь, дает возможность закопать их под землю, облегчая барьерный механизм, созданный для нераспространения.

#### *Участие стран в развитии АСММ*

На данный момент существует одно государство, которое в ускоренном темпе меняет свое законодательство атомной энергетики в сторону строительства малых модульных реакторов [3]. Великобритания в 2017 г. оценила актуальность, применимость существовавших на тот момент в мире ММР. В национальной ядерной лаборатории были рассмотрены вопросы безопасности такого проекта, готовности к реальным условиям, возможным техническим рискам. Для таких целей предполагалось грантовое финансирование в размере \$262 млн. В данную программу были приняты американские, канадские и английские исполнители ММР. В 2018 году началась программа по проектированию АСММ, которая прежде всего рассматривала вариант смягчения законодательства для упрощения сертификации малых АЭС.

Проекты традиционных АЭС, которые уже функционировали на территории страны, являлись дорогостоящими [4]. Великобритания также является счастливым обладателем реакторного плутония в больших количествах, хранение которого не приносило никакой пользы. Это

способствовало проявлению большого интереса к малым модульным реакторам. На данный момент проект ММР еще не имеет конкретного плана строительства, но разработчики заверяют, что до 2030 г. малые АЭС такого рода будут профинансированы и построены в больших количествах.

Параллельно Англии Канада в 2018 г. разработала «дорожную карту» по ММР с целью развития индустрии малых АЭС. Канада преследовала цель улучшения процесса лицензирования, который, кстати сказать, здесь намного легче и дешевле, в сравнении с США, в связи с чем страна уже заинтересовала некоторое количество групп исполнителей. Канада на тот момент пребывала в некоей яме атомной промышленности. Благодаря данным проектам, получится снизить технические риски и стоимость малых АЭС, ведь страна уже обладает особым опытом в конструировании тяжеловодных энергетических реакторов, полностью проигравших легководным почти 15 лет назад.

В то время как США, Англия и Канада пытаются реализовать свои лучшие идеи, совершенствуя образ и экономическую составляющую своих проектов ММР, Россия, в частности «Росатом» [5], строит здесь и сейчас. Она минует все учеты ценовой субъединицы, потребности. Мнение на этот счет такое, что пускай траты на электроэнергию с данных АСММ достаточно велики, существует большое количество стран, которые не имеют \$9 млрд на строительство полноценных АЭС, но имеют огромное желание заполучить такую атомную энергетику из-за ее привлекательной новизны на рынке.

«Росатом» выпускает на продажу свои реакторы-ледоколы КЛТ-40С и РИТМ-200. На основе данных реакторов вполне реализуется проектирование АЭС с модулями, мощностью по 50 МВт каждый, находящихся на земле. Данный подход не включает в себя снижение стоимости за электроэнергию или промышленной инновации, но зато он обещает надежность, так как такие проекты проверены временем, а также ликвидность от серийного производства.

Помимо этого, Россия предлагает проектирование таких малых модульных реакторов, как СВБР-100, АБВ-6, «Витязь», «Шельф», БЕРЕСТ-300. Хотя эти ММР и существуют в стадии теоретического эскизного проекта без финансовой поддержки, «Росатом» в силах реализовать любые задумки заказчика в течение 6-10 лет.

В итоге можем наблюдать, что существует большое количество разнообразных проектов малых модульных реакторов, к которым повышается спрос от отдельных стран и разных отраслей промышленности, из-за которого в ближайшие десятилетия количество ММР может увеличиться в несколько раз [6]. Сейчас, однако, многие проекты не имеют технической реализации, они существуют лишь на бумаге. Воплощенных проектов пока не очень много, из-за чего не удастся в полном объеме увидеть все достоинства ММР, относящиеся к серийному производству. Помимо этого, особенности малых модульных реакторов требуют производственных и технологических решений, а также добавления новых технологий в вопросе безопасности, экологии, международного права, лицензирования и так далее.

Россия активно развивается в сфере ММР. Поддержка со стороны государства позволяет удерживать высокие позиции на рынке этих реакторов.

Существует множество разработок и реализованных проектов. Например, есть серийное производство малых модульных реакторов с РИТМ-200 и ПАТЭС. Хотя сейчас мировое положение России из-за санкций может привести к сокращению экспортного развития разработок страны и оказать влияние на внутреннее развитие. Большинство внутренних проектов по сооружению ММР в Якутии и Чукотке ориентированы на обеспечение производств по добыче золота, которые также направлены на экспорт. Поэтому технологический потенциал требует налаживания международных отношений для дальнейшего развития российских ММР.

Малые модульные реакторы могут дать сильный толчок в развитии мировой промышленности. Необходимо, чтобы большая часть всех существующих проектов была реализована, что даст не только сильный рывок в развитии атомных технологий, но и сможет заинтересовать множество молодых специалистов, благодаря которым появится много проектов. Использование ММР в разных сферах сможет сделать атомную энергетику более общепринятой, доступной и безопасной.

На сегодняшний день рынка SMR не существует. В ближайшие годы реализуются первые масштабные проекты АЭС малой мощности, что даст возможность в полной мере оценить реальную экономику в этой нише, определит объем рынка и его возможность повлиять на всю атомную промышленность в целом.

### **Список литературы:**

1. Саркисов, А. А. Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики: учебник / А. А. Саркисов. – М. : Академ-Принт, 2015. – 387 с. – Текст : непосредственный.
2. Малые модульные реакторы: проблемы и перспективы // Развитие и экономика ядерных технологий / Агентство по ядерной энергетике; Организация экономического сотрудничества и развития. – 2021. – 53 с. – Текст : непосредственный.
3. Гибалов, В. Битва ядерных компактов рыночные перспективы малых АЭС / В. Гибалов. – 2019. – URL: <https://iz.ru/829566/valentin-gibalov/bitva-iadernykh-kompaktov-rynochnye-perspektivy-malykh-aes> (дата обращения: 23.11.2022). – Текст : электронный.
4. Lashina E. N. Full cycle nuclear power // Original research. 2022. Vol. 12. No. 1. P. 92-101.
5. РосАтом: [сайт]. – 2022. – URL: <https://rusatom-overseas.com/ru/smr/> (дата обращения: 23.11.2022). – Текст : электронный.
6. Лю, Д. Малые модульные реакторы (ММР) / Д. Лю. – 2022. – URL: <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/chto-takoe-malye-modulnye-reaktory-mmr> (дата обращения: 23.11.2022). – Текст : электронный.

© Иванченко И. Д., Леонов В. А., 2022

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ С ОДНИМ ПРИБОРОМ И ОЧЕРЕДЬЮ

студент **Трошина Мария Витальевна**,  
студент **Кашапова Ляйсан Рафисовна**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент  
**Булатова Зульфия Абдрахмановна**,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Салават, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе рассматриваются теоретические и практические основы имитационного моделирования объектов, формализуемых в виде систем массового обслуживания, с использованием среды GPSS. В результате смоделирована работа на примере билетной кассы аэрофлота с входными данными.

**Ключевые слова:** моделирование, транзакты, блок-схема, трансляция, статистика, интервал.

## MODELING OF SYSTEMS WITH ONE DEVICE AND A QUEUE

Student **Troshina Maria Vitalievna**,  
Student **Kashapova Laysan Rafisovna**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Bulatova Zulfiya Abdrakhmanovna**,  
Ufa State Petroleum Technical University,  
Salavat, Russian Federation

**Abstract.** The paper considers the theoretical and practical foundations of simulation modeling of objects formalized in the form of queuing systems using the GPSS environment. As a result, the work is modeled on the example of an Aeroflot ticket office with input data.

**Keywords:** modeling, transactions, flowchart, translation, statistics, interval.

На сегодняшний день абсолютно во всех сферах экономики невозможна деятельность без моделирования поведения и динамики развития процессов, исследования особенностей развития экономических объектов, а также рассмотрения их функционирования. В данном случае программные и технические средства выступают в роли помощника. Вместо того, чтобы учиться на своих ошибках или на ошибках других людей, целесообразно закреплять и проверять познание реальной действительности полученными результатами на компьютерных моделях, экономя при этом время и иные ресурсы [1, с. 30].

Имитационное моделирование является наиболее наглядным, используется на практике для компьютерного моделирования вариантов

разрешения ситуаций с целью получить наиболее эффективные решения проблем. Имитационная модель – это компьютерная программа, которая описывает структуру и воспроизводит поведение реальной системы во времени [2, с. 46].

Ежедневно каждому человеку приходится сталкиваться с системами массового обслуживания (СМО). Например, ожидания очереди к врачу, на автозаправке, в масс-маркете и другое.

Данные системы можно описать, если задать:

- входящий поток требований или заявок, которые поступают на обслуживание;
- дисциплину постановки в очередь и выбор из нее;
- правило, по которому осуществляется обслуживание;
- выходящий поток требований;
- режимы работы [1, с. 27].

Для написания имитационных программ существует язык GPSS, созданный Джеффри Гордоном в фирме IBM в 1962 году. GPSS предназначена для моделирования систем массового обслуживания, а также других аналогичных систем, и содержит в себе специальные операторы, синтаксис, вспомогательные инструменты (статистическая обработка результатов, их накопление, графическое отображение) [3, с. 20]. Сама система GPSS представляет собой язык и транслятор. В нем содержится словарь и грамматика, с помощью которых могут быть разработаны модели систем определенного типа [4, с. 56].

В данной работе рассмотрим моделирование с одной очередью на примере работы билетной кассы аэрофлота. Интервал прихода пассажиров равен  $11 \pm 3$ . Время обслуживания  $11 \pm 4$  также распределено равномерно. Пассажиры обслуживаются в режиме первый в очереди значит первым обслужен. Задача заключается в том, чтобы промоделировать работу кассы в течении 8 часов. Значит имеется 1 касса на всех пассажиров. Процесс происходит за 8 часов, для оптимального понимания резервов моделирования выберем за единицу времени 1 минуту, то есть всего 480 минут.

На первом этапе для описания структур различных систем следует применять блок-схемы. Они состоят из последовательности блоков, описывающих определенный этап действия системы. Линии, соединяющие блоки, указывают на порядок прохождения через систему или описывают последовательность событий, которые необходимо исследовать. Динамические объекты, представляющие собой элементы потока обслуживания, называются в GPSS транзактами. Поэтому для моделирования работы кассы используется установка ADVANCE, в роли транзактов выступают пассажиры, приходящие с помощью блока GENERATE. Блок-схема имитационной модели рассматриваемой очереди представлена на рисунке 1.

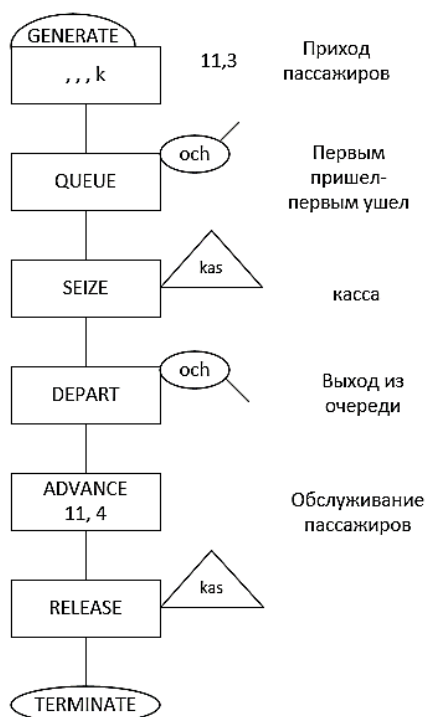


Рисунок 1. Блок-схема имитации обслуживания

На следующем этапе, после составления подробной схемы программы, отражающей все операции логической схемы модели, можно приступить к программированию (рисунок 2).

```

;ochered
generate 11,3
queue och
seize kas
depart och
advance 11,4
release kas
terminate 0
generate 480
terminate 1

```

Рисунок 2. Окно программы GPSS с текстом

Следует заранее оттранслировать получившуюся модель, а затем запустить на выполнение. Трансляция осуществляется через меню Command – Create Simulation [5]. В результате отображается окно JOURNAL – журнал регистрации процесса моделирования. В нем регистрируются ошибки и результаты работы программы. После успешного завершения можно ознакомиться с результатами моделирования в окне REPORT (рисунок 3).

GPSS World Simulation Report - Untitled Model 1.1.2

Monday, November 21, 2022 00:14:56

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	960.000	9	1	0

NAME	VALUE
KAS	10001.000
OCH	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
1		GENERATE	87	0	0
2		QUEUE	87	3	0
3		SEIZE	84	0	0
4		DEPART	84	0	0
5		ADVANCE	84	1	0
6		RELEASE	83	0	0
7		TERMINATE	83	0	0
8		GENERATE	2	0	0
9		TERMINATE	2	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
KAS	84	0.982	11.225	1	86	0	0	0	3

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
OCH	5	3	87	4	2.393	26.409	27.681

FEC XN	PRI	DDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
86	0	960.644	86	5	6		
90	0	966.484	90	0	1		
91	0	1440.000	91	0	8		

Рисунок 3. Окно с результатом моделирования

Таким образом, модель эффективно продемонстрировала работу кассы за 8 часов модельного времени. Исходя из результата (рисунок 3), за указанное время число прошедших пассажиров равно 40, среднее время прохождения одного пассажира – 11,572, загрузка 0,964. Благодаря использованию имитационного моделирования упростили и сократили временные затраты на решение задачи.

### Список литературы:

1. Эльберг, М. С. Имитационное моделирование: учеб. пособие / М. С. Эльберг, Н. С. Цыганков. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – 128 с. – Текст : непосредственный.
2. Кийкова, Е. В., Лаврушина, Е. Г. К 38 Имитационное моделирование: Практикум / Е. В. Кийкова, Е. Г. Лаврушина. – Владивосток : Изд-во ВГУЭС, 2005. – 100 с. – Текст : непосредственный.
3. Девятков, В. В. Имитационные исследования с использованием GPSS WORLD – новые возможности / В. В. Девятков, С. А. Власов, Ф. В. Исаев, М. В. Федотов. – Текст : непосредственный // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 7. – С. 3-8.
4. Боев, В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World: учебное пособие / В. Д. Боев. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2004. – 368 с. – Текст : непосредственный.
5. Официальный сайт GPSS World: [сайт]. – URL: <http://www.gpss.ru> (дата обращения: 14.11.2022). – Текст : электронный.

**МЕТОД ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ  
В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ ПРЕДПРИЯТИЯ,  
ЕГО РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ**

студент **Михайлов Ростислав Игоревич**,  
науч. руководитель: ст. преподаватель **Муратов Радик Масхутович**,  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А. Н. Туполева,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассмотрены методы защиты автоматизированной системы предприятия, проведен анализ системы защиты, выполнена оценка эффективности представленной системы защиты.

**Ключевые слова:** технологический процесс, автоматизированная информационная система предприятия, производственный процесс, система защиты, эффективность системы защиты информации.

**THE METHOD OF PROTECTION OF INFORMATION RESOURCES  
IN THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE PRODUCTION  
PROCESS OF THE ENTERPRISE, ITS DEVELOPMENT AND RESEARCH**

Student **Mikhailov Rostislav Igorevich**,  
Academic Advisor: Senior Lecturer **Muratov Radik Maskhutovich**,  
Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** The methods of protection of the automated system of the enterprise are considered, the analysis of the protection system is carried out, the evaluation of the effectiveness of the considered protection system is carried out.

**Keywords:** automated information system of the enterprise, technological process, production process, protection system, efficiency of the information protection system.

Сегодня промышленные предприятия все больше и больше переводят технологии рутинной обработки информации в автоматизированный режим, иными словами, на предприятиях разрабатываются автоматизированные системы, прикладной аспект которых очень широк: от автоматизации процессов проектирования изделий (продукции) до автоматизации экономических расчетов, связанных с проблемами выпуска принципиально новых изделий.

Проблем в указанной сфере много, среди них можно выделить две основные проблемы [1; 2]:



1. Невозможность разрабатывать программное обеспечение (автоматизированные системы) с использованием сил и средств сторонних (внешних) разработчиков, поскольку в большинстве случаев автоматизированные системы промышленных предприятий обрабатывают секретную, конфиденциальную информацию или информацию для служебного пользования (так называемая, информация ДСП – для служебного пользования).

2. Затруднительное сертифицирование программного обеспечения, которое было разработано с использованием сил и средств сотрудников предприятия, так как необходимо установить авторство разработки, оплатить пошлину органам сертификации программного обеспечения, выделить территории для тестирования автоматизированной системы (так как многие системы подобного рода функционируют только в цехах с применением датчиков, роторных и конвейерных линий, что приводит к невозможности тестировать программное обеспечение на территориях стратифицирующих органов).

Так как автоматизированные системы обрабатывают как минимум информацию ДСП или конфиденциальную информацию, а как максимум секретную (например, информацию, связанную с технологическим процессом получения изделий специального назначения), то существует необходимость разрабатывать систему защиты созданных автоматизированных систем от несанкционированного доступа. И если автоматизированная система разрабатывалась средствами и усилиями сотрудников предприятия, то и система защиты информации от несанкционированного доступа должна быть разработана силами и средствами сотрудников того же предприятия [3; 4].

Разработка системы защиты автоматизированной системы от несанкционированного доступа к обрабатываемой в ней информации подразумевает комплексный (системный) подход к построению системы защиты, означающий оптимальное сочетание взаимосвязанных организационных, программных, аппаратных, физических и других свойств, подтвержденных практикой создания отечественных и зарубежных систем защиты и применяемых на всех этапах технологического цикла обработки информации. Основной принцип, положенный в основу построения комплексной защиты информации, обрабатываемой в автоматизированной системе, – это принцип непрерывного развития системы обеспечения информационной безопасности. Принцип непрерывного развития системы обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем сводится к следующим действиям:

1. Разделение и минимизация полномочий по доступу к обрабатываемой информации и процедурам обработки, т. е. предоставление как пользователям, так и самим работникам автоматизированной системы минимум строго определенных полномочий, достаточных для выполнения ими своих служебных обязанностей.

2. Полнота контроля и регистрации попыток несанкционированного доступа, т. е. необходимость точного установления идентичности каждого пользователя и протоколирования его действий для проведения возможного

расследования, а также невозможность совершения любой операции обработки информации в автоматизированной системе без ее предварительной регистрации.

3. Обеспечение надежности системы защиты, т. е. невозможность снижения уровня надежности при возникновении в системе сбоев, отказов, преднамеренных действий взломщика или непреднамеренных ошибок пользователей и обслуживающего персонала.

4. Обеспечение контроля за функционированием системы защиты информации, обрабатываемой в автоматизированной системе, т. е. создание средств и методов контроля работоспособности механизмов защиты.

5. Обеспечение всевозможных средств борьбы с вредоносными программами, способными собирать и передавать обрабатываемую в автоматизированных системах информацию [2; 5].

Следует отметить, что необходимо рассмотрение различных аспектов при разработке системы защиты информации, обрабатываемой в автоматизированных системах, а именно:

1. Обеспечение экономической целесообразности использования системы защиты, что выражается в превышении возможного ущерба от реализации угроз над стоимостью разработки и эксплуатации защищенной автоматизированной системы.

2. Правовое обеспечение, что представляет собой совокупность законодательных актов, нормативно-правовых документов, положений, инструкций, руководств, требований, которые являются обязательными в рамках сферы их деятельности в системе защиты информации.

3. Организационное обеспечение, которое выражается в том, что реализация информационной безопасности осуществляется определенными структурными единицами, например, такими как служба безопасности предприятия и ее составные структуры: бюро пропусков, служба охраны и прочее.

4. Информационное обеспечение, включающее в себя сведения, данные, показатели, параметры, лежащие в основе решения задач, обеспечивающих функционирование системы защиты информации, обрабатываемой в автоматизированных системах.

5. Техническое (аппаратное) обеспечение, что предполагает широкое использование технических средств как для защиты информации, так и для обеспечения деятельности системы информационной безопасности предприятия в целом.

6. Программное обеспечение, которое предполагает различные информационные, учетные, статистические и расчетные программы, обеспечивающие оценку наличия и опасности различных каналов утечки и способов несанкционированного доступа к информации.

В общем понимании построение системы защиты информации, обрабатываемой в автоматизированных системах, состоит из следующих этапов:

1 этап. Анализ объекта защиты информации. Первый этап заключается в определении того, что необходимо защищать. На этом этапе реализуются процессы:

- а) определяется информация, которая нуждается в защите;
- б) выделяются наиболее важные элементы (критические) защищаемой информации;
- в) определяется срок жизни критической информации (время, необходимое злоумышленнику или конкуренту для реализации добытой информации);
- г) определяются ключевые элементы информации (индикаторы), отражающие характер охраняемых сведений;
- д) классифицируются индикаторы по функциональным зонам предприятия (производственно-технологические процессы, система материально-технического обеспечения производства, подразделения управления и прочее).

2 этап. Выявление возможных угроз. Второй этап подразумевает выявление возможных угроз с точки зрения возможности несанкционированного доступа к информации, обрабатываемой в автоматизированных системах. На этом этапе реализуются процессы:

- а) определяется, кого может заинтересовать защищаемая информация;
- б) оцениваются методы, используемые злоумышленниками или конкурентами для получения этой информации;
- в) оцениваются вероятные каналы утечки информации;
- г) разрабатывается система мероприятий по пресечению действий злоумышленника, конкурента или любого взломщика.

3 этап. Анализ эффективности предлагаемой системы защиты информации, обрабатываемой в автоматизированной системе. Третий этап позволяет определить, насколько надежна и эффективна система. На этом этапе реализуются процессы:

- а) проводится прогноз надежности системы защиты автоматизированной системы;
- б) проводится прогноз эффективности системы защиты (возможно, в сравнении с ранее сложившейся ситуацией), а именно физическая безопасность документации, надежность персонала, безопасность используемых для передачи конфиденциальной информации линий связи и прочее).

4 этап. Реализация системы защиты информации, обрабатываемой в автоматизированной системе. Здесь на основании проведенных на первых трех этапах аналитических исследований вырабатываются необходимые меры и средства по обеспечению безопасности автоматизированной системы предприятия.

5 этап. Утверждение предлагаемой системы защиты информации. Здесь руководителями предприятия рассматриваются представленные предложения по организации системы защиты информации, а также определяются и утверждаются суммы денежных средств, необходимые для реализации предложенных мер в сфере обеспечения информационной безопасности.

6 этап. Реализация мероприятий в рамках предложенной системы защиты информации. На этом этапе осуществляется реализация принятых мер безопасности с учетом установленных приоритетов.

7 этап. Контроль и информационное сопровождение. На этом этапе предполагается контроль и доведение до персонала фирмы реализуемых мер безопасности. С учетом всех изложенных аспектов была разработана автоматизированная система интеллектуального управления качеством производимой продукции. С учетом специфики функционирования предприятия разработанная автоматизированная система предназначалась для оценки параметров качества изделий специального назначения (составных частей патронов стрелкового оружия), а также для выработки рекомендаций по восстановлению эффективности и воспроизводимости технологического процесса. Эффективность технологического процесса предполагает производство изделий, размеры которых находятся в пределах конструкторских и технологических допусков конструкции и реализуемого процесса производства. Воспроизводимость технологического процесса предполагает производство изделий, отвечающим требованиям физической безопасности, что проявляется в качестве поверхности изделий и в безотказности их работы. Функционал разработанной автоматизированной системы подразумевал следующие действия:

- сравнение введенных показателей количества обнаруженной бракованной продукции с нормативами (техническими условиями на приемку, содержащими планы контроля);

- сравнение введенных показателей количества видов обнаруженного брака с нормативами (техническими условиями на приемку, содержащими планы контроля);

- формирование выводов о воспроизводимости и эффективности технологического процесса (если процесс не воспроизводим или не эффективен, автоматизированная система выдает соответствующее сообщение);

- формирование рекомендаций по поводу восстановления воспроизводимости и эффективности технологического процесса (иными словами: что необходимо сделать сотрудникам предприятия, в частности, наладчикам производственного оборудования для того, чтобы количество брака и видов брака было в пределах указанных норм);

- формирование соответствующих отчетов (кто, когда и для какой партии проводил отчет со всеми сопутствующими данными и обстоятельствами). Следует отметить, что разработанная автоматизированная система обрабатывает секретные данные, так как параметры и конструкция спец изделий являются закрытыми. Описанный функционал автоматизированной системы свидетельствует о том, что она является автоматизированной системой управления технологическим процессом предприятия (АСУТП), так как позволяет вырабатывать обоснованные (на основании эмпирических данных) выводы о том, что необходимо наладить в технологическом процессе.

Пользователями представленной АСУТП являются:

- контролеры отдела технического контроля;

– наладчики производственных линий.

Между двумя указанными должностями существует прямое профессиональное взаимодействие: контролер вносит эмпирические данные в систему и формирует рекомендации. Если технологический процесс в норме, то рекомендации могут отсутствовать. Если в ходе технологического процесса производятся изделия с отклонениями по размерам или по альтернативным параметрам качества (функционированию, качеству поверхности), то система формирует рекомендации, которые в бумажной форме за подписью соответствующего контролера передаются наладчику. Именно наладчик восстанавливает эффективность и воспроизводимость технологического процесса.

Представленная АСУТП относится к автоматизированным системам с обратной связью. Неэффективный и невоспроизводимый технологический процесс производит некачественную продукцию (с отклонениями от технологических и конструкторских норм), и по выявленным отклонениям (их видам и количеству) можно судить о том, каким образом нормализовать технологический процесс (восстановить его эффективность и воспроизводимость) [6].

Существует два подхода к разработке, представленной АСУТП (оба подхода на сегодняшний день реализованы):

1. Эмпирические данные получают на основании физических замеров геометрических параметров качества и обследования качества поверхности изделий с использованием измерительного инструмента, шаблонов, проходных и непроходных калибров (в этом случае данные в автоматизированную систему вносятся контролером).

2. Эмпирические данные фиксируются датчиками (лазерными, сенсорными, оптическими в зависимости от производственной среды), в этом случае данные поступают в систему автоматически через аппаратуру сопряжения датчиков и компьютера.

Первый подход применяется в том случае, если производственный цех не оснащен современными измерительными приспособлениями и внедрить их в технологическую среду на сегодняшний день не представляется возможным (этот подход все реже можно встретить в производственных цехах промышленных предприятий, так как предприятия стараются максимально автоматизировать производственные и сопутствующие производству процессы).

Второй подход применяется, когда цеха предприятия оснащены измерительными датчиками и применима система автоматического замера параметров качества производимых изделий. Несомненно, что представленная АСУТП нуждается в системе защиты информации от несанкционированного доступа к ней лиц, не имеющих отношения к производственным процессам и не допущенным к государственной тайне. Ниже представлены мероприятия в рамках разработки системы защиты АСУТП от несанкционированного доступа к обрабатываемой информации.

Характеристика мероприятия:

1. Разграничение прав доступа. К системе могут быть допущены следующие лица:

- системный администратор (взаимодействует с ядром системы);
- контролеры (являются операторами АСУТП).

2. Криптографическая защита.

Данные, обрабатываемые АСУТП, должны быть зашифрованы. В явном виде может быть представлен отчет о мероприятиях, которые необходимо реализовать для восстановления эффективности и воспроизводимости технологического процесса.

3. Хранение информации на выделенном компьютере.

Сегодня большинство промышленных предприятий поддерживают CALS-технологии (технологии комплексной промышленной автоматизации), что подразумевает хранение информации на серверах. В предложенном случае это делать не рекомендуется по следующим причинам:

а) информация, обрабатываемая представленной АСУТП, является оперативной (существует краткосрочно, так как технологический процесс подвержен множественным динамическим изменениям), а, следовательно, не может быть использован для формирования долгосрочных решений;

б) так как объектом защиты представленной АСУТП являются данные (результаты замеров, по которым можно восстановить конфигурацию изделия), то необходимо повысить меры предосторожности, исключив возможности централизованного хранения информации, являющейся государственной тайной.

Указанные действия в рамках разрабатываемой системы защиты, предложенной АСУТП, являются взаимосвязанными, т. е. представляют собой единую систему обеспечения информационной безопасности цехов промышленных предприятий. Разграничение прав доступа к информации, обрабатываемой в АСУТП – это привычный процесс, без которого на сегодняшний день не обходится ни одно предприятие, базирующее свои процессы на современной глобальной автоматизации. Методика разграничения прав доступа к информации, обрабатываемой в АСУТП, устанавливается на конкретном предприятии в соответствии с регламентом служб охраны и действиями системных администраторов и разработчиков информационных автоматизированных систем.

Использование выделенного компьютера для целей автоматизированной системы также не является проблемой, единственно, что при использовании средств вычислительной техники при обработке секретной информации следует помнить о следующих правилах:

- компьютер должен быть установлен в месте, которое обеспечит условия сохранности и целостности обрабатываемой информации;
- компьютер не должен быть подсоединен к локальной сети предприятия и к глобальным сетям;
- компьютер не должен читать флеш-карты и другие съемные носители (соответствующие порты должны быть закрыты);

- доступ к компьютеру и к установленной на нем АСУТП должен регистрироваться в специализированных журналах;

- программное обеспечение (в частности, операционная система, среда или оболочка), применяемое на компьютере, где установлена АСУТП, также должно быть сертифицировано. Особую трудность вызывают методы криптографической защиты информации. Это связано со следующими причинами:

- современные системы разработки приложений, как правило, являются зарубежными и содержат встроенные алгоритмы шифрования данных, что исключает возможность их применения (так как объект защиты – данные, представляющие собой конфигурацию специзделий);

- разработанные методы шифрования должны быть проверены на эффективность, целостность и должны быть сертифицированы в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 26 июня 1995 г. № 608 «О сертификации средств защиты информации» (сегодня готовится законопроект о том, что могут функционировать без соответствующего сертификата средства защиты автоматизированных систем, не касающихся государственной тайны, в противном случае – сертификация обязательна). Процесс криптографического закрытия данных может осуществляться как программно, так и аппаратно.

Аппаратная реализация отличается существенно большей стоимостью, однако ей присущи и ряд преимуществ:

- высокая производительность;

- простота использования (аппаратный уровень не требует пользовательского вмешательства и управления);

- высокая степень защищенности. Программная реализация методов шифрования более практична, поскольку допускает гибкость в использовании и модификации.

Для современных криптографических систем защиты информации сформулированы следующие общепринятые требования, которые необходимо учесть при проектировании системы защиты настоящей АСУТП:

- зашифрованное сообщение должно поддаваться чтению только при наличии ключа;

- число операций, необходимых для определения использованного ключа шифрования по фрагменту шифрованного сообщения и соответствующего ему открытого текста, должно быть не меньше общего числа возможных ключей;

- число операций, необходимых для расшифровывания информации путем перебора всевозможных ключей, должно иметь строгую нижнюю оценку и выходить за пределы возможностей современных компьютеров (с учетом возможности использования сетевых вычислений);

- знание алгоритма шифрования не должно влиять на надежность защиты;

- незначительное изменение ключа должно приводить к существенному изменению вида зашифрованного сообщения даже при использовании одного и того же ключа;

- структурные элементы алгоритма шифрования должны быть неизменными.

Таким образом, предполагается, что разработчики представленной автоматизированной системы разрабатывают и алгоритм шифрования данных в АСУТП. Несомненно, что надежное функционирование представленной защищенной АСУИТ должно быть подтверждено соответствующими сертифицирующими органами.

### **Список литературы:**

1. Мельников, В. В. Безопасность информации в автоматизированных системах / В. В. Мельников. – Москва : Финансы и статистика, 2003. – 368 с. – Текст : непосредственный.
2. Гайдамакин, Н. А. Разграничение доступа к информации в компьютерных системах / Н. А. Гайдамакин. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2003. – 328 с. – Текст : непосредственный.
3. Графкина, М. В., Ангелова, М. В., Совершенствование организации охраны труда и методов оценки производственной среды на предприятиях / М. В. Графкина, М. В. Ангелова. – 2009. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-organizatsii-ohrany-truda-v-nauchno-proizvodstvennom-obedinenii-izmeritelnoy-tehniki> (дата обращения: 10.11.2022). – Текст : электронный.
4. Графкина, М. В. Естественные и технические науки / М. В. Графкина, Ф. Ф. Брюхань, Е. Е. Сдобнякова. – Текст : непосредственный // Промышленная экология. – 2009. – № 2. – С. 306-311.
5. Васильков, А. В. Безопасность и управление доступом в информационных системах / А. В. Васильков, И. А. Васильков. – Москва : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2013. – 368 с. – Текст : непосредственный.
6. Липатов, М. С. Внедрение робототехнического контроля на котельных с целью их более эффективного функционирования / М. С. Липатов, Т. А. Ильяхунов // Дневник науки. – 2022. – № 3 (63). – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_48463552\\_85195596.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48463552_85195596.pdf) (дата обращения: 11.11.2022). – Текст : электронный.

© Михайлов Р. И., 2022



## ВЕТРЯНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

студент **Власова Вероника Игоревна**,  
студент **Чередниченко Валерия Сергеевна**,  
науч. руководитель: канд. ф.-м. наук, доцент **Демина Маргарита Юрьевна**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье речь идет об альтернативном источнике добычи энергии – ветрогенераторах. Также рассматривается основной тип добычи энергии в настоящее время – атомные электростанции. Проводится анализ того, почему их необходимо заменить.

**Ключевые слова:** альтернатива, мощность, ветряные электростанции, ядерная электростанция.

## WIND POWER PLANTS AS AN ALTERNATIVE TO USING NUCLEAR POWER PLANTS

Student **Vlasova Veronika Igorevna**,  
Student **Cherednichenko Valeria Sergeevna**,  
Academic Advisor: PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor  
**Demina Margarita Yurievna**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** In this article we are talking about an alternative source of energy production – wind turbines. It also considers the main type of energy production at the present time – nuclear power plants. An analysis is being made of why they need to be replaced.

**Keywords:** alternative, power, wind power stations, nuclear power plant.

Атомная электростанция (АЭС) – это ядерная установка, в которой ядерная энергия, освобождающаяся в ядерном реакторе, преобразуется в электрическую энергию. Характерной отличительной особенностью АЭС в сравнении с другими электростанциями является наличие ядерного реактора [1].

Для начала необходимо определить принцип работы атомной электростанции:

Первым этапом является преобразование ядерной энергии в тепловую. На этом этапе происходит цепная реакция деления урана. Данный этап

сопровождается выделением тепла, после чего тепло передается в парогенератор.

На втором этапе тепловая энергия переходит в механическую энергию. В парогенераторе теплоноситель нагревает воду и тем самым превращает ее в пар.

На третьем этапе механическая энергия преобразуется в электрическую энергию. Пар вращает турбину и в результате происходит образование электричества.

Стоит отметить, что на данный момент в мире не существует абсолютно безопасных энергетических систем. Однако негативное воздействие атомных электростанций на окружающую среду начинается с момента ее возведения.

#### *Негативное влияние АЭС:*

- 1) Изменение рельефа местности, на которой планируется постройка.
- 2) Уничтожение растительности из-за строительства.
- 3) Загрязнение атмосферы при необходимости проведения взрывных работ
- 4) Возможное истребление популяции местных животных.
- 5) Загрязнение радионуклидами, которое может вызвать необратимые изменения в организмах людей и животных. Эти вещества проникают в организм с воздухом, водой и пищей [2].
- 6) Ионизирующее излучение при выводе станции из эксплуатации при неверном демонтаже постройки.
- 7) Выбросы отходов в окружающую среду. Загрязнение близлежащих территорий, рек.

После анализа вышеперечисленных доводов, почему все-таки стоит отказаться от использования атомных электростанций, необходимо подумать об альтернативных источниках добычи энергии.

На сегодняшний день в мире существует не так много способов для добычи электроэнергии, которые бы смогли стать полноценной заменой атомных электростанций. Основным конкурентом для них являются ветряные электростанции. В наше время их развитие дошло до уровня полноценных станций, способных полностью обеспечивать электроэнергией небольшие города и предприятия.

#### *Принцип работы ветряного электрогенератора*

Сила ветра приводит в движение лопасти, которые приводят в движение лопасти через специальных привод, тем самым заставляя вращаться ротор. С помощью статорной обмотки механическая энергия вращения переходит в электрический ток. Далее сила вращения преобразуется в электричество, которое аккумулируется в батарее. Чем сильнее будет поток ветра, тем быстрее будут вращаться лопасти, производя больше энергии. Поскольку работа ветрогенератора основана на максимальном использовании альтернативного источника энергии, одна сторона лопастей имеет закругленную форму, вторая – относительно ровная. Когда воздушный поток проходит по закругленной стороне, создается участок вакуума. Это засасывает лопасть, уводя ее в сторону. При этом создается энергия, которая и заставляет раскручиваться лопасти. Во время своих поворотов винты также вращают ось, соединенную с генераторным

ротором. Когда двенадцать магнетиков, закрепленных на роторе, вращаются в статоре, создается переменный электрический ток, имеющий такую же частоту, как и в обычных комнатных розетках. Это основной принцип того, как работает ветрогенератор.

Переменный ток легко вырабатывать и передавать на большие расстояния, но невозможно аккумулировать. Для этого его нужно преобразовать в постоянный ток. Такую работу выполняет электронная цепь внутри турбины. Чтобы получить большое количество электроэнергии, изготавливаются промышленные установки. Ветровой парк обычно состоит из нескольких десятков установок. Благодаря использованию такого устройства дома можно получить существенное снижение расходов на электроэнергию.

Чтобы установка не выходила из строя при сильном напоре воздуха, ученые снабдили ее системой торможения вращения лопастей. Работает эта система следующим образом

Для торможения лопастей создается короткое замыкание, которое замедляет работу ротора. Возникающее действие замедляет вращение магнитов, которые служат для индуцирования тока в обмотках. Благодаря этому система реже выходит из строя, что сокращает расходы на ее обслуживание.

Поговорив о принципе работы станции, можно проанализировать плюсы и минусы ветряных электростанций.

#### *Минусы электростанций*

- 1) Ветряные электростанции требуют больших затрат на установку и их обслуживание.
- 2) Из-за непредсказуемости и непостоянства ветра электростанции не способны на ежедневной основе выделять одинаковое количество энергии.
- 3) Они оказывают пагубное влияние на людей, живущих рядом с постройкой, и животных, так как сами по себе ветряные электростанции очень шумные.
- 4) Некоторые станции, обладающие большим диаметром лопастей, способны создавать радиолокационные помехи.
- 5) Строительство электростанций удешевляет стоимость земли рядом с ними из-за вышеперечисленных причин.

Теперь необходимо отметить положительные качества ветряных электростанций.

#### *Плюсы ветряных электростанций*

- 1) Ветряные электростанции значительно экологичнее других способов добычи энергии, поскольку они являются способом получения возобновляемой энергии.
- 2) Постепенно затраты на строительство и обслуживание станций снижаются, что позволяет в большем количестве использовать этот вид получения энергии.
- 3) Использование ветряных электростанций благоприятно сказывается на окружающей среде, так как срок службы у станций достаточно большой (20-30 лет) [3], и после себя они не оставляют следов демонтажа ни в атмосфере, ни в ландшафте.
- 4) Пожалуй, главным преимуществом является быстрый процесс возведения и легкая эксплуатация и обслуживание [4].

Проанализировав преимущества и недостатки ветряных электростанций [5], можно сделать вывод о том, что они являются наиболее подходящей заменой для атомных электростанций.

Зная радиус ветроколеса, скорость ветра до колеса, скорость ветра после колеса, при помощи определенных формул мы можем определить скорость ветра в плоскости ветроколеса, мощность ветрового потока, мощность ветроустановки и силу, действующую на ветроколесо.

Дано:  $R = 7,5\text{ м}$ ;  $v_0 = 9\text{ м/с}$ ;  $v_2 = 5\text{ м/с}$ , где  $R$  – радиус ветроколеса,  $v_0$  – скорость ветра до колеса;  $v_2$  – скорость ветра после колеса, плотность воздуха  $\rho = 1,2\text{ кг/м}^3$ .

*Решение*

Скорость ветра в плоскости колеса  $v_1$ :

$$v_1 = \frac{v_0 + v_2}{2} = \frac{9 + 5}{2} = 7\text{ м/с}.$$

Площадь «заметаемой» ветроколесом поверхности:

$$S = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 7,5^2 = 176,6\text{ м}^2.$$

Мощность ветрового потока  $P_0$ :

$$P_0 = \frac{\rho S v_0^3}{2}, P_0 = \frac{\rho S v_0^3}{2} = \frac{1,2 \cdot 176,6 \cdot 9^3}{2} = 77256\text{ Вт}.$$

Масса воздуха, проходящего через «заметаемую» поверхность в единицу времени:

$$\frac{m}{t} = \rho S v_0, \frac{m}{t} = 1,2 \cdot 176,6 \cdot 9 = 1907,3\text{ кг/с}.$$

Сила, действующая на ветроколесо:

$$F = \frac{m}{t} (v_0 - v_2), F = 1907,3(9 - 5) = 7629\text{ Н}.$$

Мощность ВЭУ равна той мощности, которую теряет ветер при прохождении ветроколеса [5]:

$$P = \frac{m}{t} (v_0^2 - v_2^2), P = 1907,3(9^2 - 5^2) = 106808\text{ Вт} = 106,808\text{ кВт}.$$

По результатам нашего исследования можно понять, что мощность ветряного электрогенератора равна 106,808 кВт, а мощность реактора Toshiba 4S равна 10 МВт. Анализируя эту информацию, мы видим, что для замены атомного реактора потребуется примерно 9 ветряных установок.

Изучив полученные результаты, мы можем сделать вывод о том, что ветряные электростанции могут составить хорошую конкуренцию привычному использованию атомных электростанций, поскольку они экологически чистые, мощные и легкие в обслуживании [6]. С каждым годом открываются новые альтернативные источники энергии, однако на сегодняшний день самым эргономичным способом добычи электроэнергии являются именно ветряные электрогенераторы.

### **Список литературы:**

1. Городов, Р. В., Губин, В. Е., Матвеев, А. С. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие / Р. В. Городов, В. Е. Губин, А. С. Матвеев. – Томск, 2009. –С. 89-98. – Текст : непосредственный.
2. Как устроена АЭС: [сайт]. – 2022. – URL: <https://myatom.ru/enciclopedia/как-устроена-аэс/> (дата обращения: 12.09.2022). – Текст : электронный.
3. Перспективы ветроэнергетики в современном строительстве: [сайт]. – 2022. – URL: [http://zvt.abok.ru/articles/350/Perspektivi\\_vetroenergetiki\\_v\\_sovremennom-\\_stroitelstve/](http://zvt.abok.ru/articles/350/Perspektivi_vetroenergetiki_v_sovremennom-_stroitelstve/) (дата обращения: 15.10.2022). – Текст : электронный.
4. Soldatova I. D., Lashina E. N. Analysis of the concept: “green square” // Theory and Practice of Modern Science: the View of Youth: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference in English., St. Petersburg, November 25, 2021. Comp. E. N. Lashina, M. S. Lipatov. Under the general editorship of V. V. Kirillova. St. Petersburg: HSTE SPbSUITD. 2022. P. 242-246.
5. Сабзалыев, С. А. Анализ развития возобновляемой энергетики в России / С. А. Сабзалыев, М. С. Липатов. – Текст : непосредственный // Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем: материалы Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей. В 2-х частях, Санкт-Петербург, 17 декабря 2020 года. – СПб. : СПбГУПТД, 2021. – С. 6-10.
6. Ветрогенераторы. Виды и устройства. Работа и применение: [сайт]. – 2022. – URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/jelektropitanie-/vetrogenerator/> (дата обращения: 18.10.2022). – Текст : электронный.

© Власова В. И., Чередниченко В. С., 2022

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОЛУЧЕНИЮ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ И ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

доктор техн. наук, профессор **Редина Людмила Васильевна**,  
Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина,  
Москва, Российская Федерация

канд. техн. наук, доцент **Пастухов Алексей Юрьевич**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье приведен анализ факторов, определяющих теплопроводность различных веществ и материалов. Рассмотрено влияние плотности, электропроводности, однородности, кристалличности, аллотропии для сплошных (гомогенных) материалов на теплоперенос в них. Аналогичные зависимости обсуждаются в случае использования в качестве теплозащитных пористых материалов, в том числе полимерных и композиционных материалов. Сделаны практически значимые выводы для разработки теплозащитных и теплоизолирующих материалов.

**Ключевые слова:** теплоперенос, теплопроводность, теплозащитные материалы, теплоизолирующие материалы, углеродные материалы, пористость, электропроводность, плотность.

## THEORETICAL AND PRACTICAL APPROACHES TO OBTAINING EFFECTIVE HEAT-PROTECTIVE AND HEAT-INSULATING MATERIALS

Doctor of Technical Sciences, Professor **Redina Lyudmila Vasilyevna**,  
Russian State University named after A. N. Kosygin,  
Moscow, Russian Federation

PhD in Technology, Associate Professor **Pastukhov Alexey Yurievitch**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The article provides an analysis of the factors determining the thermal conductivity of various substances and materials. The influence of density, electrical conductivity, homogeneity, crystallinity and allotropy for solid (homogeneous) materials on heat transfer in them is considered. Similar dependencies are discussed for the case of porous materials (including polymer and composite materials), used as heat-shielding materials. Conclusions that are practically significant for the development of heat-protective and heat-insulating materials have been made.

**Keywords:** heat transfer, thermal conductivity, thermal protection materials, thermally insulating material, carbon materials, porosity, electrical conductivity, density.

Теплозащитными и теплоизолирующими являются такие материалы, которые снижают теплоперенос, то есть уменьшают интенсивность потока энергии от более горячего тела к менее нагретому. Теплоперенос от горячего к менее нагретому осуществляется за счет теплового излучения, конвекции или теплопроводности. Основным параметром, характеризующим передачу тепла, является коэффициент теплопроводности (КТ):

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{S \cdot \Delta T}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность;

$Q$  – количество передаваемой теплоты;

$d$  – расстояние между двумя изотермическими плоскостями;

$\Delta T$  – разность температур между нагретой и холодной поверхностями.

Наиболее правильным образом с термодинамической и физической точек зрения КТ характеризует сплошные (гомогенные), непрозрачные, неподвижные твердые тела. Однако на практике КТ используется как величина интегральная, являющаяся характеристикой и пористых тел, в которых перенос тепла происходит как за счет теплопередачи, так и за счет конвекции или теплового излучения.

В реальных условиях теплоперенос происходит одновременно за счет всех трех механизмов, а КТ достаточно полно и адекватно характеризует теплофизические свойства любых материалов.

От каких же факторов зависит КТ (теплопроводность)?

Как следует из вышеприведенной формулы (1), КТ зависит от плотности вещества. Чем ниже плотность, тем ниже теплопроводность. Характерные и убедительные примеры, позволяющие сравнить плотность, теплопроводность и электропроводность представлены в таблице.

Таблица – Теплофизические свойства материалов с различной плотностью [1; 2; 3]

Свойства	Материал			
	алюминий	пеноалюминий	графит	аэрографит
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2700	5,1	1800– 2200	0,18–0,20
Теплопроводность, Вт/м·К	200–340	5–30	250–355	0,014
Электропроводность, См/м	$37 \cdot 10^6$	$< 0,2 \cdot 10^6$	$(5-8) \cdot 10^4$	0,3–0,8

Как можно судить по данным таблицы, плотность сплошного (непористого) образца алюминия в пятьсот тридцать (530) раз выше плотности высокопористого пеноалюминия. При этом теплопроводность пеноалюминия (в среднем) в шестнадцать (16) раз ниже. И это с учетом того факта, что

пеноалюминий, являясь металлом, отлично проводит тепло за счет переноса энергии электронами.

Еще более показательным является сравнение теплофизических свойств графита и аэрографита. Плотность графита превышает плотность аэрографита в одиннадцать тысяч раз (11 000), а теплопроводность последнего, в среднем, в двадцать две тысячи (22 000) раз ниже. Это может объясняться различиями не только в пористости аэрографита, но и крайне невысокой электропроводностью аэрографита.

Очевидно, что для несплошных тел КТ зависит от их пористости и морфологии. Чем выше пористость, тем ниже плотность и соответственно ниже теплопроводность. При этом для снижения теплопереноса за счет конвекции необходимо, чтобы поры были закрытыми и, желательно, малого размера.

Существенное значение для понимания процессов передачи тепловой энергии имеет также соотношение масс (объемов) твердой основы теплозащитного материала и пористого пространства.

Если твердое вещество пористого материала высокотеплопроводно, то поры, как правило, заполненные газовой фазой, не играют важной роли в процессе теплопередачи. В этом случае перенос тепловой энергии осуществляется в основном через твердые «тепловые мостики», объединенные в некую тепло-, электропроводящую трехмерную сетчатую структуру. Если же жесткий трехмерный скелет основного вещества малотеплопроводен, то теплоперенос в порах за счет конвекции может играть существенную роль.

Имеет значение и расположение пор – вдоль или поперек теплового потока [4].

Как уже отмечалось, существенно влияет на теплопроводность природа вещества. Металлы и многие углеграфитовые вещества: графит, алмаз, углеродные волокна и т. п. являются высокотеплопроводными, что связано с их электронной проводимостью, которая, как правило, и определяет теплопроводность. В полупроводниках перенос энергии обеспечивается за счет как дырочной, так и электронной проводимости [5].

Кроме того, имеет значение (в особенности для сплошных тел) и аморфно-кристаллическая структура материалов. Теплопроводность в кристаллах выше, чем в аморфных областях. Это особенно важно для понимания механизмов теплопереноса в полимерах и полимерсодержащих композитах.

Интересно отметить, что у различных аллотропных модификаций одного и того же вещества теплопроводность зачастую различна, что характерно для аллотропных форм углерода.

Удивительным и пока не объясненным является то, что диоксид ванадия ( $\text{VO}_2$ ) при температурах выше  $67^\circ\text{C}$  переходит в металлическую токопроводящую фазу, однако, при этом остается тепловым изолятором [6].

На молекулярном уровне, например, в полимерах, теплопроводность обеспечивается за счет передачи энергии движения между молекулами или их сегментами.

Для проводников и с некоторыми допущениями для полупроводников для расчета КТ применима формула (2), учитывающая их электронно-атомные



характеристики.

$$\lambda = \frac{\pi^3 \cdot K^3 \cdot n_0 \cdot l(W_F)}{3 \cdot m \cdot \vartheta(W_F)}, \quad (2)$$

где  $K$  – постоянная Больцмана;

$n_0$  – концентрация электронов в проводнике;

$l(W_F)$  – длина свободного пробега электрона, которая соответствует границе энергии Ферми ( $W_F$ ) для распределения энергии по температурам при  $T = 0$  К;

$m$  – масса электрона;

$\vartheta(W_F)$  – средняя скорость пробега электрона.

Формула (2) является одним из выражений закона Видемала-Франца и хорошо согласуется с результатами экспериментов.

Важно отметить, что многие вещества и материалы обладают ярко выраженной анизотропией свойств: анизотропией плотности, электропроводности, пористости, и в том числе теплопроводности [7; 8; 9].

Известно, что высокоориентированные углеродные волокна хорошо проводят тепло (и электричество) вдоль оси ориентации и намного хуже – поперек.

Так, например, теплопроводность графита вдоль графеновых плоскостей более чем в три раза выше, чем поперек; алмаза – в различных плоскостях составляет от 900 до 2300 Вт/м·К; углеграфитовых волокнистых материалов поперек волокон составляет 0,1-0,11 Вт/м·К, а вдоль – 3,75-4,00 Вт/м·К, что составляет разницу более чем в 30 раз.

Из вышеприведенных сведений можно сделать следующие практически значимые выводы, связанные с разработкой теплозащитных материалов:

- необходимо обеспечить их высокую пористость. Пористая структура материалов должна быть обеспечена за счет достаточно мелких, желательно, закрытых пор;
- для композитов, изготовленных из токопроводящих компонентов, необходимо обеспечить минимальную электропроводность как матриц, так и наполнителей;
- желательно, чтобы плотность композитов стремилась к плотности воздуха или была ниже.

### Список литературы:

1. Фомин, С. И. Исследование жидкофазных процессов формирования композиционных материалов пеноалюминий-титан: магистерская диссертация / С. И. Фомин. – Тольятти : Тольяттинский государственный университет, 2019. – 94 с. – Текст : непосредственный.
2. Куницина, Н. Г. Уникальные свойства пеноалюминия и возможности его применения / Н. Г. Куницина, М. О. Ташметова. – Текст : непосредственный // Наука и производства Урала. – 2017. – Выпуск 13. – С. 2-5.
3. Аэрографит: [сайт]. – URL: <https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Аэрографит/> (дата обращения: 02.11.2022). – Текст : электронный.
4. Серых, Г. М. К вопросу о теплопроводности пористых материалов / Г. М. Серых – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического института им. С. М. Кирова. – 1958. – Т. 101. – С. 59-70.
5. Кириченко, Н. А. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика : учеб. пособие / Н. А. Кириченко. – М. : Физматкнига, 2012. – 176 с. – Текст : непосредственный.
6. Yang S. For This Metal, Electricity Flows, But Not the Heat // Lawrence Berkeley National Laboratory. URL: <https://newscenter.lbl.gov/2017/01/26/electricity-not-heat-flows-in-vanadium-dioxide/> (дата обращения: 02.11.2022).
7. Физические свойства графита: [сайт]. – URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/elementy/fizicheskie-svoystva-ugleroda-c-grafita-teploprovodnost-grafita> (дата обращения: 02.11.2022). – Текст : электронный.
8. Электропроводность и теплопроводность алмазов: [сайт]. – URL: <https://www.chem100.ru/jewel.php?n=alm> (дата обращения: 02.11.2022). – Текст : электронный.
9. Bol'shakova N. V., Kostenok O. M., Il'in A. M., Kostyukhin V. I. Thermal conductivity of carbon-graphite fibers and fabrics // Refractories and Industrial Ceramics. 1990. P. 524-527.

© Редина Л. В., Пастухов А. Ю., 2022

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ВЕДОМОСТИ ОБЪЕМОВ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ BIM-МОДЕЛЕЙ: ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА**

магистрант **Ерофеева Наталья Владимировна**,  
науч. руководитель: канд. экон. наук, доцент **Симченко Ольга Леонидовна**,  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова,  
г. Ижевск, Российская Федерация

**Аннотация.** Составление сметной документации является одной из главных задач инвестиционно-строительного проекта. Применение BIM-технологии в разработке сметной документации помогает автоматизировать подсчет всех необходимых объемов проекта. Такой подход к проектированию создает более комфортные условия для формирования сметной документации, так как, помимо увеличения времени на разработку, меняется и способ получения проектных объемов. В данной статье описан подход к формированию ведомости объемов работ в среде общих данных (СОД) BIMIT.

**Ключевые слова:** BIM-технология, сметная документация, среда общих данных (СОД), Industry Foundation Classes (IFC), цифровая информационная модель (ЦИМ).

## **AUTOMATED FORMATION OF A STATEMENT OF WORK VOLUMES USING BIM-MODELS: MAIN ADVANTAGES**

Master Student **Erofeeva Natalia Vladimirovna**,  
Academic Advisor: PhD in Economics, Associate Professor  
**Simchenko Olga Leonidovna**,  
Kalashnikov Izhevsk State Technical University,  
Izhevsk, Russian Federation

**Abstract.** Making estimates is one of the main tasks of an investment and construction project. The use of BIM technology in the development of estimate documentation helps to automate the calculation of all necessary project volumes. This approach to design creates more comfortable conditions for the formation of estimate documentation, since in addition to increasing the development time, the method of obtaining design volumes is also changing. This article discusses an approach to the formation of a statement of work volumes in the BIMIT common data environment (CDE).

**Keywords:** BIM technology, estimate documentation, common data environment (CDE), industry foundation classes (IFC), digital information model (CIM).

Оценка сметной стоимости в подавляющем большинстве случаев выполняется в условиях ограниченного ресурсного времени, что создает условия для внесения в сметную документацию еще некоторого количества ошибок, также обусловленных человеческим фактором. От корректного подсчета объемов работ зависит качество сметной документации и достоверность определения сметной стоимости.

Подключение специалистов в области сметного ценообразования и нормирования на самых ранних этапах дает возможность постоянного отслеживания изменений, что избавит от риска использования недостоверных данных, даже в случае внесения существенных корректировок. Такой подход к проектированию создает более комфортные условия для формирования сметной документации, так как помимо увеличения времени на разработку меняется и способ получения проектных объемов.

Задачи, связанные с информационным обменом и проверкой моделей на коллизии, проектировщики решают, как правило, с использованием специализированных систем. Для этих целей в СОД BIMiT, согласно концепции OpenBIM, используется формат IFC.

В данной среде разработан обширный функционал, однако сбор сметных данных BIM-модели осуществляется при помощи инструмента «Классификация». Данный инструмент позволяет решать задачу разработки ведомости объемов работ для проектов различного уровня проработки.

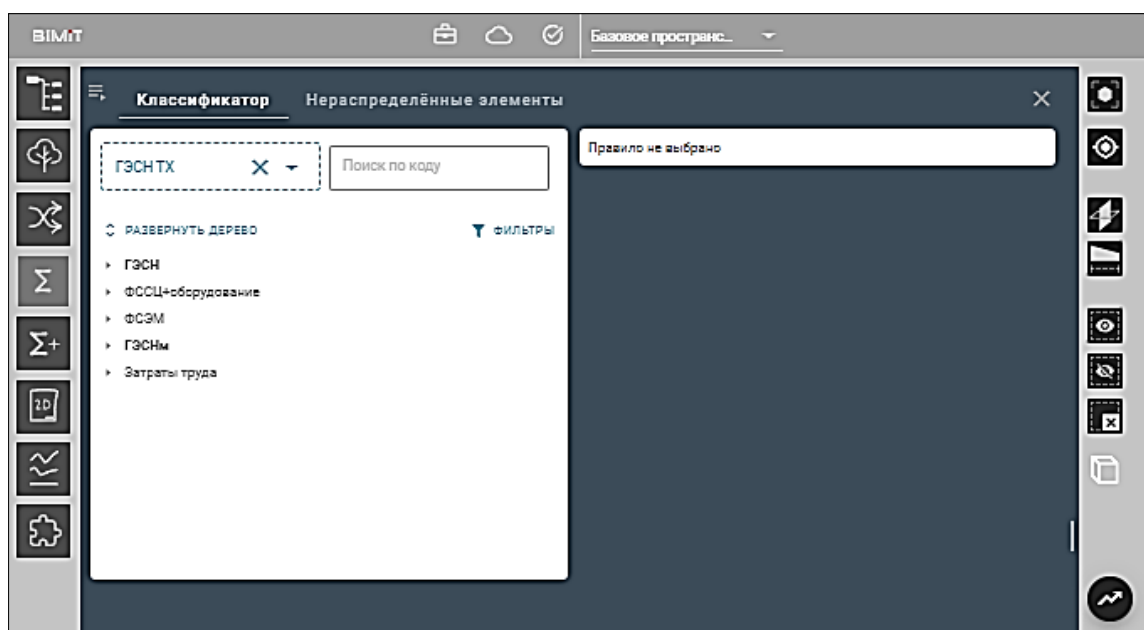


Рисунок 1. Инструмент «Классификация»

Кратко рассмотрим данный подход на одном из проектов общеобразовательной школы, выполняемый в программном комплексе Revit и выгруженный в формат IFC, для работы в среде общих данных. В данном проекте стояла задача сформировать ведомость объемов работ по разделу конструктивных решений (КР) ниже отметки нуля.

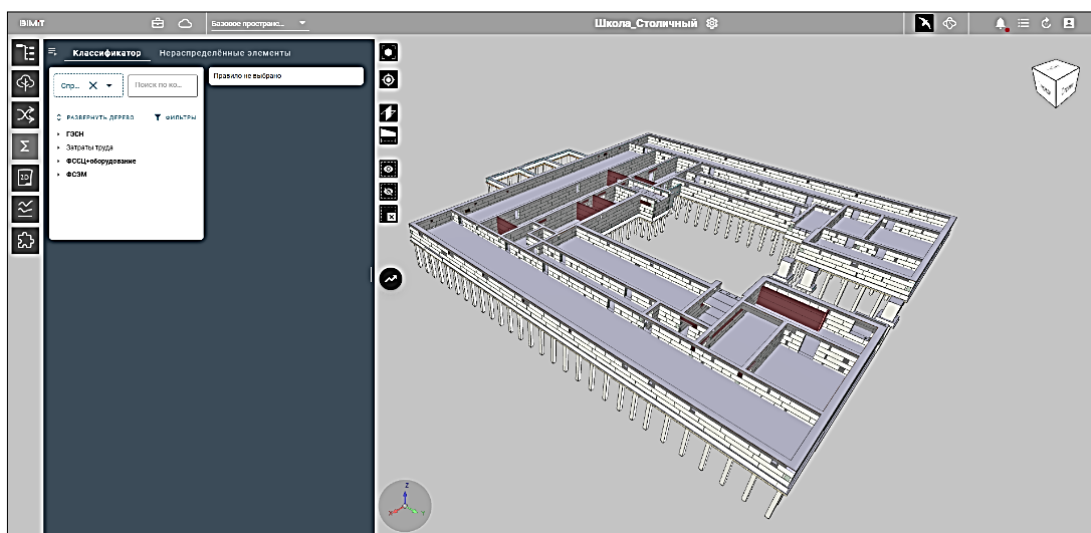


Рисунок 2. Модель проекта общеобразовательной школы по разделу КР (ниже отметки нуля)

Сбор сметных данных осуществлялся на основе классификатора – сборника государственных сметных нормативов на строительные и специальные строительные работы (Справочник ГЭСН).

Выбрав определенный элемент модели, мы можем просмотреть его атрибутивные данные или, другими словами, параметры, которые проектировщик в процессе создания модели назначает элементам согласно требованиям ВМ – стандарта организации. Данные параметры отображают основные наборы характеристик элемента, такие как наименование, габаритные размеры, материал и др.

Для каждого сметного норматива создавалось условие отбора элемента, которое включало атрибутивные данные элемента модели, относящегося к данному нормативу (рисунок 4).

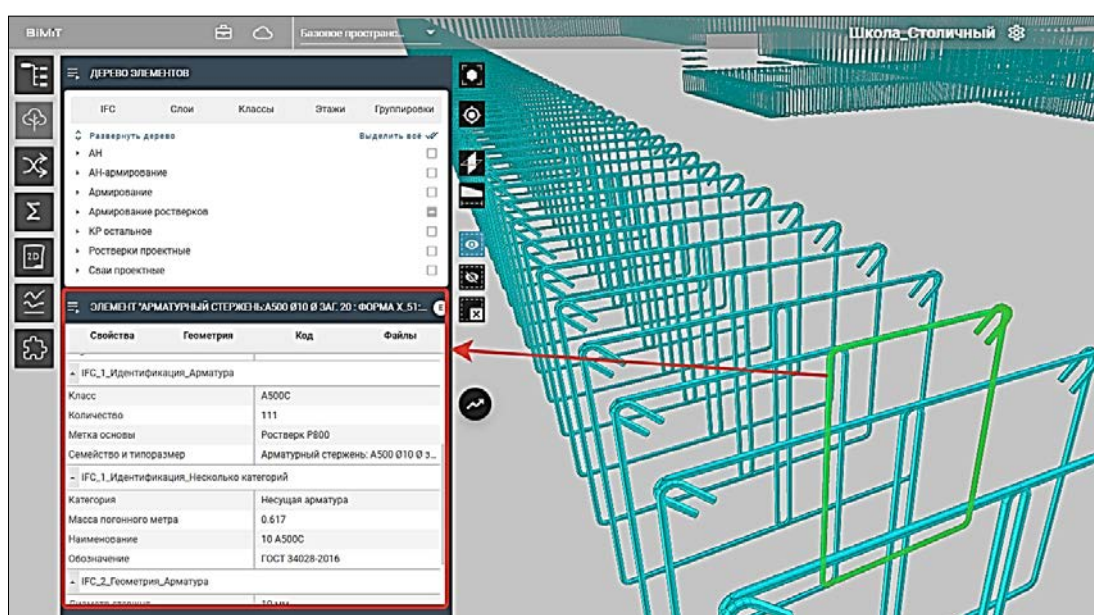


Рисунок 3. Отображение атрибутивных данных элемента в модели

```

Условие отбора элемента

'/IFC_1_Идентификация_Арматура/Метка основы' Содержит
"Ростверк" и '/IFC_2_Геометрия_Арматура/Диаметр стержня' =
"10" и '/IFC_1_Идентификация_Арматура/Класс' = "A500C"

```

Рисунок 4. Пример составления правила – условия отбора элемента

Назначались единицы измерения для выбранной расценки. В данном случае в подсчете арматуры нас интересовал вес стали в тоннах. Для данного поля также создается правило (рисунок 5).

```

Единица измерения - 1 т
(/IFC2X3/IFC_2_Геометрия_Арматура/Объем * 7850) / /IFC2X3/IFC_1_Идентификация_Арматура/
Количество

```

Рисунок 5. Пример составления правила – единица измерения

В поле «Атрибут названия» необходимо создать правило наименования для обоснования в смете по коду конъюнктурного анализа цен.

Элементы, попадающие в условия отбора, можно отобразить в модели (рисунок 6; рисунок 7).

The screenshot shows a software interface for managing classification rules. On the left, there is a tree view of elements under the heading 'Классификатор' and 'Нераспределённые элементы'. The tree includes categories like 'Арматура рифленая 12 мм' and 'Арматура рифленая 10 мм'. The main area displays a rule editor with the following content:

```

"Ростверк" и '/IFC_2_Геометрия_Арматура/Диаметр стержня' =
"10" и '/IFC_1_Идентификация_Арматура/Класс' = "A500C"

```

Below the rule editor, there are fields for 'Единица измерения' (set to '1 т'), 'Атрибут названия', and 'Тип выгрузки' (set to 'Выгрузка по умолчанию'). A checkbox 'Выгружать объем материалов' is checked. A red arrow points to a 'ПОКАЗАТЬ' button. Below this, a list of elements matching the rule is shown, starting with 'ReinforcingBar (Элементов:7316)' and listing various rebar specifications like 'Арматурный стержень:A500 Ø10 Ø заг. 20 : Форма X\_51:1269203: 1'.

Рисунок 6. Рабочее окно по работе с классификаторами

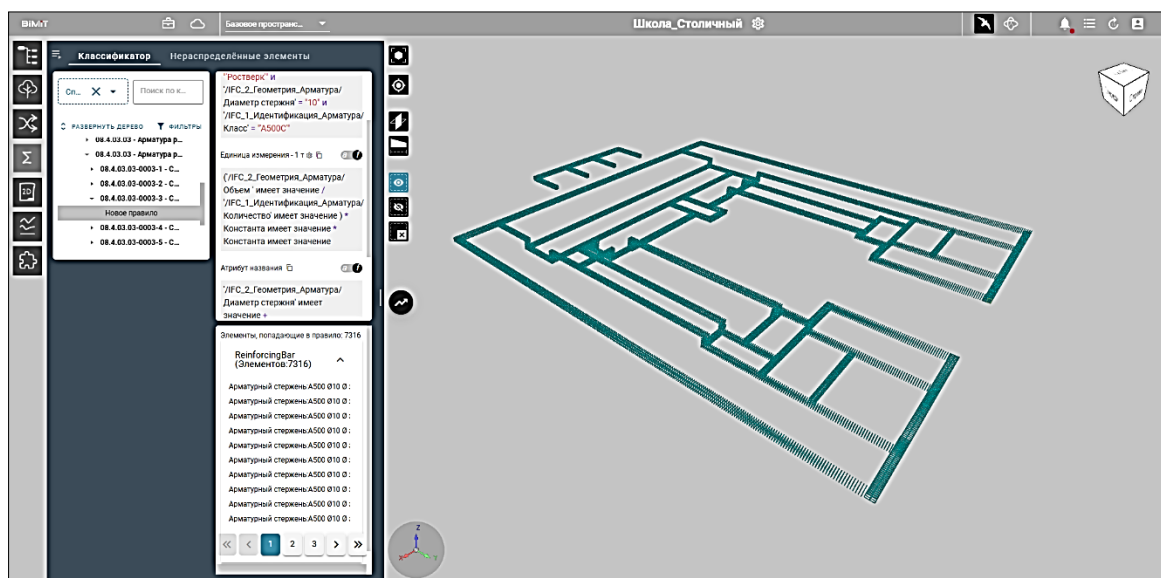


Рисунок 7. Отображение элементов, попадающих в правило в модели

В окне «Нераспределенные элементы» инструмента классификаторов можно отслеживать распределение элементов по правилам, которые не попадают в правила – условия отбора (рисунок 8).

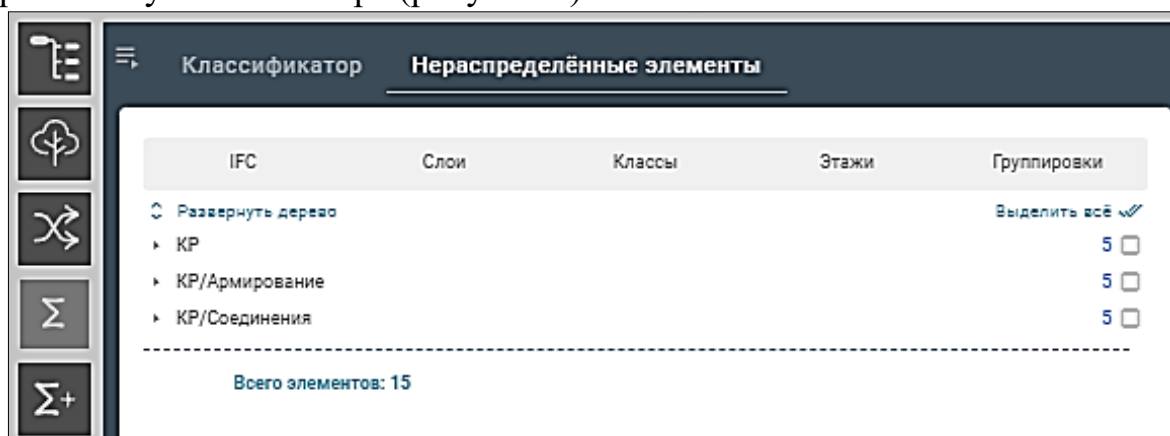


Рисунок 8. Окно нераспределенных элементов

Когда все элементы модели распределены согласно сметным нормативам, то можно экспортировать смету в формате Excel как одной расценки, так и всю смету целиком для последующего импорта в программу Гранд-смета.

В ходе разработки данного подхода выявился ряд проблем. Так одна из них заключалась в связи между элементами BIM-модели и сметно-нормативной базой, которая была не такой однозначной, и потребовалось решение, позволяющее алгоритмизировать процесс передачи параметров (атрибутов) в сводную цифровую информационную модель (ЦИМ), при этом создавать гибкие наборы правил по применению сметных нормативов как под конкретный проект, так и для универсальных решений для определенных строительных технологий.

Основная суть проблемы в том, что проектировщики и сметчики рассуждают разными понятиями. Проектировщики создают строительный объект в программном комплексе, предназначенного для моделирования, используя наборы инструментов, представленные в виде категорий – стен,

перекрытий, арматуры и т. д. Когда дело доходит до стоимостных оценок, то эти же элементы в каких-то случаях начинают рассыпаться на отдельные материалы, части конструкций, а в каких-то случаях наоборот, объединяются в единый набор и расцениваются комплексно. Сметчики используют свой набор инструментов, как правило, выраженный в виде систематизированного набора сметных нормативов, сформированных не для законченных конструкций, а для отдельных видов работ и операций над этими конструктивными элементами. К примеру, инженер сметного отдела может подразделять сметные нормативы на арматуру не только в зависимости от класса и диаметра стали, но также в зависимости от того, к какой конструкции она принадлежит, что определяется конкретным проектом.

Важным следствием из выше сказанного является то, что процесс проектирования приводит к созданию конструктивных элементов модели, а процесс разработки смет – к созданию видов работ и формированию на их основе ведомости объемов работ, служащей прообразом сметы.

Также в ходе проделанной работы потребовалось: доработка модели и отдельных ее элементов; редактирование существующего BIM-стандарта компании, подбирая комплексный подход по выгрузке данных в открытый формат IFC; доработка функционала и инструментов СОД [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8].

Продемонстрированный пример показывает, каким образом разработаны инструменты по автоматизации расчета объемов работ и назначения сметных норм элементам BIM-модели в среде общих данных BIMТ, в ходе которого были выявлены следующие преимущества данного подхода:

1. Повышение скорости выпуска документации. Благодаря стандартизации атрибутов и элементов модели, а также доработанному функционалу программного комплекса, на данном проекте были сформированы универсальные правила, которые возможно импортировать в последующие проекты, что максимально сократит потраченное время на создание аналогичных правил и экспорту данных из модели.

2. Решение задач в ходе единого BIM-процесса позволяет получать актуальные данные из BIM-модели и отслеживать изменения в ходе проекта, в результате чего формируется более точная и достоверная сметная документация с минимальными издержками.

Таким образом, можно предположить, что данный подход найдет применение в сметном деле. Применение автоматизированного расчета смет в рамках BIM-процесса напрямую связано с уровнем распространения информационного моделирования в строительстве, которое в последние годы стало стандартным инструментом для всех участников инвестиционно-строительного процесса, так, согласно Постановлению РФ № 331 от 05.03.2021, применение системы информационного моделирования на всех объектах государственного финансирования является обязательным.



### Список литературы:

1. Грахов, В. П. Обоснование необходимости использования BIM-технологий с целью повышения эффективности проектной деятельности предприятия / В. П. Грахов, О. Л. Симченко, Н. С. Русинова, А. Ю. Макарова, Е. Л. Чазов. – Текст : непосредственный // Социально-экономическое управление: теория и практика. – 2019. – № 2 (37). – С. 103-106.
2. Бачурина, С. С, Голосова, Т. С. Инвестиционная составляющая в проектах внедрения BIM-технологий / С. С. Бачурина, Т. С. Голосова. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2016. – № 2. – С. 126-134.
3. Садриева, А. Р. Особенности создания BIM-модели на разных этапах разработки архитектурного проекта: «BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры»: материалы Всероссийской науч.-практич. конф. СПбГАСУ / А. Р. Садриева, Р. Х. Ахтямова, И. И. Ахтямов. – СПб., 2018. – С. 148-151. – Текст : непосредственный.
4. Отчет «Оценка применения BIM-технологий в строительстве. Результаты исследования эффективности применения BIM-технологий в инвестиционно-строительных проектах российских компаний»: [сайт]. – URL: [poriz.ru/upload/iblock/2cc/4.7\\_bim\\_rf\\_otchot.pdf](http://poriz.ru/upload/iblock/2cc/4.7_bim_rf_otchot.pdf) (дата обращения: 05.11.2022). – Текст : электронный.
5. Янаева, М. В., Цилик, К. Ю., Сафонова, Н. В. Автоматизация процессов составления расчетно-сметной документации на предприятиях автодорожного профиля / М. В. Янаева, К. Ю. Цилик, Н. В. Сафонова. – Текст : непосредственный // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3.
6. Абакумов, Р. Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве / Р. Г. Абакумов, А. Е. Наумов, А. Г. Зобова. – Текст : непосредственный // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2017. – № 5. – С. 171-181.
7. СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла». – Текст : непосредственный.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 г. № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства». – Текст : непосредственный.

© Ерофеева Н. В., 2022

## ОБЗОР СВЕДЕНИЙ О КЛАСТЕРНОМ АНАЛИЗЕ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВАХ ОБРАБОТКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

ассистент **Новикова Мария Андреевна**,  
канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой автоматизации технологических  
процессов и производств **Ковалёв Дмитрий Александрович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье приводятся общие сведения о кластерном анализе, его определение, задачи, процесс проведения. Помимо этого, в статье описываются программные инструменты, с помощью которых можно проводить кластерный анализ с большей эффективностью и скоростью.

**Ключевые слова:** кластеризация, кластерный анализ, кластер, STATISTICA, Stata, MATLAB, Colaboratory.

## OVERVIEW OF INFORMATION ABOUT CLUSTER ANALYSIS AND STATISTICAL DATA PROCESSING SOFTWARE TOOLS

Assistant **Novikova Mariya Andreevna**,  
PhD in Technology, Associate Professor, Head of the Department of  
Automation of Technological Processes and Productions  
**Kovalev Dmitry Alexandrovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** This article provides general information about cluster analysis, its definition, tasks, and process. In addition, the article describes software tools that can be used to perform cluster analysis with greater efficiency and speed.

**Keywords:** clustering, cluster analysis, cluster, STATISTICA, Stata, MATLAB, Colaboratory.

Одним из важнейших этапов любого исследования является сбор и обработка полученных данных для дальнейшей работы с ними. Для сбора и организации данных в наглядные структуры можно использовать кластерный анализ.

Кластерный анализ – это процесс, относящийся к многомерной статистике, в ходе которого собираются данные, содержащие информацию о выборке объектов, а затем упорядочивает эти объекты в примерно однородные группы [1, с. 4]. Кластерный анализ решает задачу кластеризации.

Общепризнанно верного определения задачи кластеризации не существует. Это связано с тем, что существует множество разнообразных ее применений: от сегментирования ключевой аудитории в маркетинге до сегментирования изображений и распознавания образов.

В обобщенном смысле кластеризация является задачей группировки множества объектов на подмножества (кластеры) таким образом, чтобы объекты из одного кластера были более похожи друг на друга, чем на объекты из других кластеров по какому-либо критерию.

Кластер представляет собой объединение нескольких однородных элементов. Это объединение можно рассматривать как самостоятельную единицу, которая обладает определенными свойствами.

Графическое пояснение терминов «кластеризация» и «кластер», соответственно, представлено на рисунке 1.

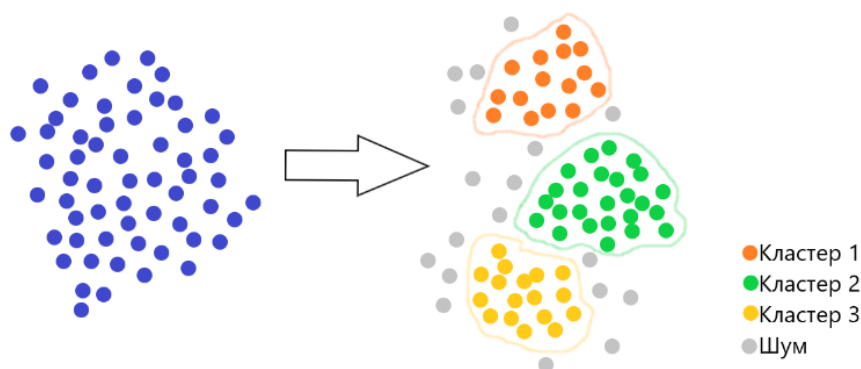


Рисунок 1. Графическое изображение кластеризации

Основные задачи, выполняемые кластерным анализом, перечислены в [2, с. 87].

Процесс кластерного анализа можно разделить на 5 этапов:

1. Формулировка проблемы.
2. Определение меры сходства (различия) объектов.
3. Выбор метода кластеризации, т. е. способа вычисления расстояния между кластерами.
4. Выбор количества кластеров.
5. Интерпретация и профилирование кластеров, проверка адекватности полученного результата.

В кластерном анализе считается, что:

- а) выбранные характеристики допускают в принципе желательное разбиение на кластеры;
- б) единицы измерения (масштаб) выбраны правильно [3, с. 1].

Решением задачи кластерного анализа являются группы данных, которые удовлетворяют некоторому критерию оптимальности. Этот критерий выражает уровни желательности различных разбиений и группировок, который называют целевой функцией. Например, в качестве целевой функции может быть взята внутригрупповая сумма квадратов отклонения [4]:

$$W = \sigma_n = \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x}) = \sum_{j=1}^n x_j^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{j=1}^n x_j \right)^2,$$

где  $x_j$  – измерение  $j$ -того объекта.

У групп данных, т. е. кластеров, имеются следующие математические характеристики, указанные в [3, с. 2].

Все методы кластерного анализа можно разделить на: иерархические и неиерархические.

Наиболее популярными среди иерархических методов кластерного анализа являются: алгомеративные методы (последовательное объединение исходных объектов и соответствующее уменьшение числа кластеров) и дивизимные (разделение одного общего кластера всех данных на меньшие кластеры) методы.

Самым известным неиерархическим методом кластерного анализа является итерационный метод  $k$ -средних. Для начала классификации методом  $k$ -средних необходимо задать  $k$ , т. е. центры кластеров, которые будут служить эталонами. После чего происходит группировка данных в пределах заданного радиуса кластера.

Производить кластерный анализ без использования специальных программ – довольно длительный и трудоемкий процесс, который будет сложно выполнить без ошибок. Поэтому для проведения кластерного анализа используются различные программные средства. В их числе MS Excel, STATISTICA, Stata, MATLAB и т. д. Кроме того, кластерный анализ можно проводить с помощью программы Colaboratory с использованием библиотеки Scikit-learn.

MS Excel для кластерного анализа довольно часто применяется начинающими исследователями, поскольку имеется практически на каждом компьютере с операционной системой Windows (MS Excel доступен также для работы через браузер или мобильные приложения, хотя и с ограниченным функционалом) и не требует дополнительных знаний в языках программирования. Однако для того чтобы произвести кластерный анализ с помощью данного средства, необходимо знать алгоритм данной процедуры и формулы для вычислений. В процессе выполнения пользователю будет необходимо создать несколько таблиц и строить график вручную. За счет этого процесс проведения кластерного анализа становится весьма длительным и трудоемким.

Наиболее популярной для кластерного анализа является программа STATISTICA. В первую очередь это связано с тем, что программный пакет STATISTICA был разработан и начал совершенствоваться с 1984 г. Поэтому в общем доступе имеется большое количество руководств пользователя, а также литературы, в которой описано, как производить кластерный анализ в данной программе.

Кроме того, выполнение кластерного анализа с применением STATISTICA не требует подробных знаний алгоритма (в отличие от MS Excel): от пользователя требуется лишь ввод значений, которые запрашивает программа (рисунок 2).

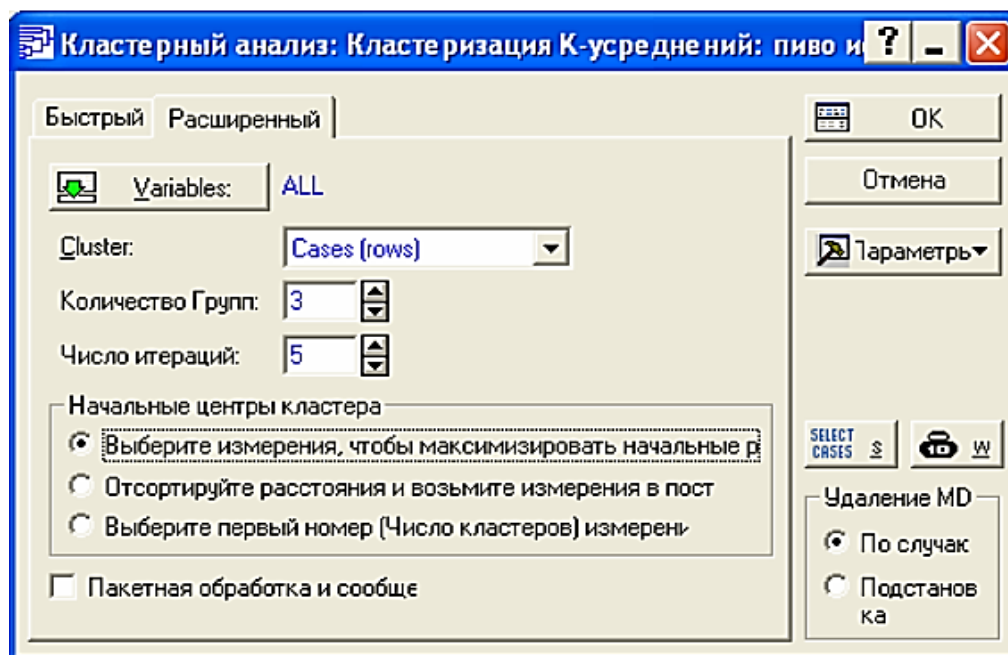
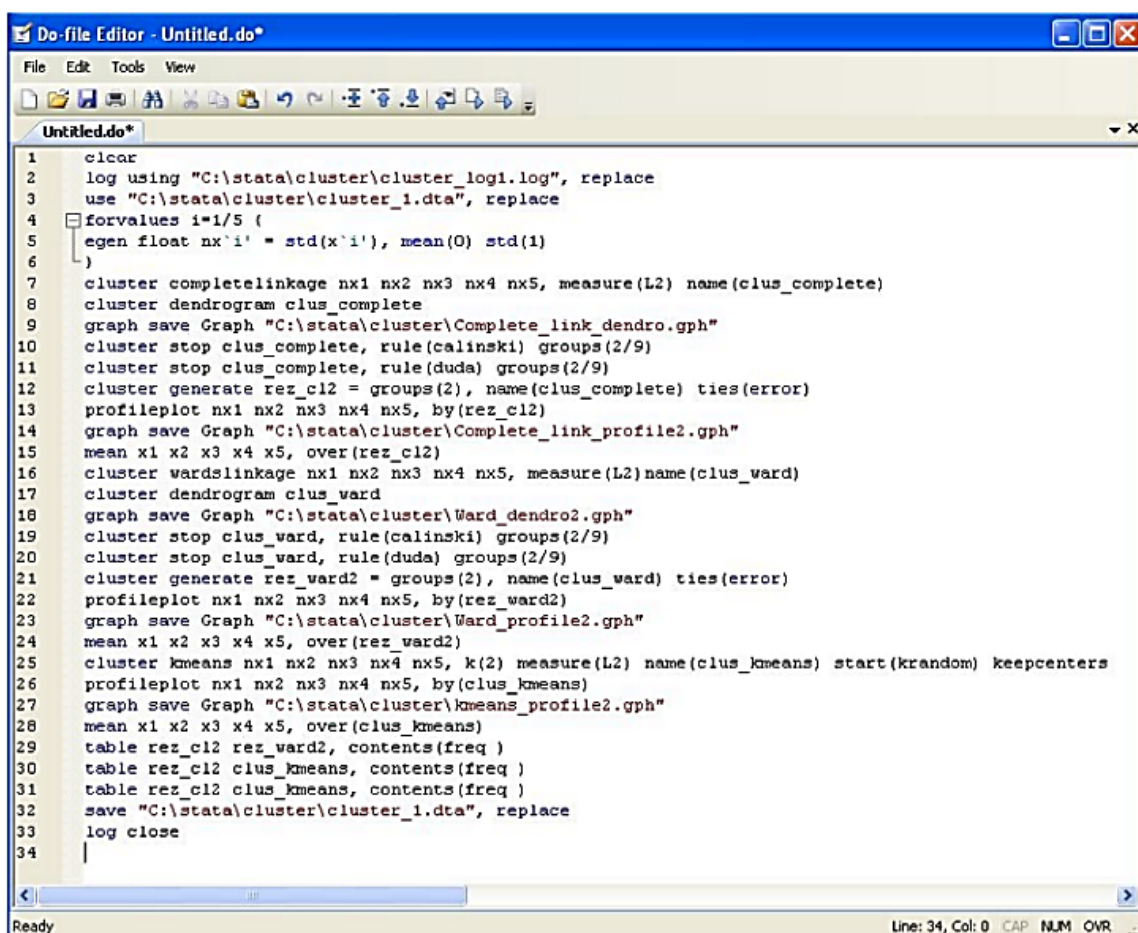


Рисунок 2. Диалоговое окно в STATISTICA для кластерного анализа методом k-средних

В программе STATISTICA имеется возможность использования командного языка SCL. Его можно применять и для проведения кластерного анализа. При знании синтаксиса SCL время на проведение кластерного анализа может быть существенно сокращено.

Также в STATISTICA для кластеризации данных можно применять нейронные сети. Для этого нужно установить дополнительный пакет STATISTICA Automated Neural Networks. Его главное преимущество перед конкурентами – его полный перевод на русский язык. Однако его лицензия оплачивается дополнительно.

Другой часто используемой программной средой для проведения кластерного анализа является статистический программный пакет Stata. Он также начал свой путь достаточно давно – первая версия вышла в 1985 г. В пакете Stata можно работать не только через кнопочный интерфейс, но и с помощью введения команд. Последовательность этих команд записывается в do-файл [5, с. 48]. Для такого способа необходимо знать алгоритм выполнения кластерного анализа и синтаксис языка программирования в Stata. На рисунке 3 представлен пример командного кода кластерного анализа в Stata, содержащийся в do-файле.



```
1  clear
2  log using "C:\stata\cluster\cluster_log1.log", replace
3  use "C:\stata\cluster\cluster_1.dta", replace
4  forvalues i=1/5 {
5      egen float nx`i' = std(x`i'), mean(0) std(1)
6  }
7  cluster complete linkage nx1 nx2 nx3 nx4 nx5, measure(L2) name(clus_complete)
8  cluster dendrogram clus_complete
9  graph save Graph "C:\stata\cluster\Complete_link_dendro.gph"
10 cluster stop clus_complete, rule(calinski) groups(2/9)
11 cluster stop clus_complete, rule(duda) groups(2/9)
12 cluster generate rez_c12 = groups(2), name(clus_complete) ties(error)
13 profileplot nx1 nx2 nx3 nx4 nx5, by(rez_c12)
14 graph save Graph "C:\stata\cluster\Complete_link_profile2.gph"
15 mean x1 x2 x3 x4 x5, over(rez_c12)
16 cluster ward linkage nx1 nx2 nx3 nx4 nx5, measure(L2) name(clus_ward)
17 cluster dendrogram clus_ward
18 graph save Graph "C:\stata\cluster\Ward_dendro2.gph"
19 cluster stop clus_ward, rule(calinski) groups(2/9)
20 cluster stop clus_ward, rule(duda) groups(2/9)
21 cluster generate rez_ward2 = groups(2), name(clus_ward) ties(error)
22 profileplot nx1 nx2 nx3 nx4 nx5, by(rez_ward2)
23 graph save Graph "C:\stata\cluster\Ward_profile2.gph"
24 mean x1 x2 x3 x4 x5, over(rez_ward2)
25 cluster kmeans nx1 nx2 nx3 nx4 nx5, k(2) measure(L2) name(clus_kmeans) start(krandom) keepcenters
26 profileplot nx1 nx2 nx3 nx4 nx5, by(clus_kmeans)
27 graph save Graph "C:\stata\cluster\kmeans_profile2.gph"
28 mean x1 x2 x3 x4 x5, over(clus_kmeans)
29 table rez_c12 rez_ward2, contents(freq)
30 table rez_c12 clus_kmeans, contents(freq)
31 table rez_c12 clus_kmeans, contents(freq)
32 save "C:\stata\cluster\cluster_1.dta", replace
33 log close
34
```

Рисунок 3. Пример содержания do-файла для кластерного анализа

Пакет MATLAB появился в те же годы, что и STATISTICA и Stata. Он является самым популярным инструментом, используемым для решения задач технических вычислений. С помощью MATLAB также можно производить кластерный анализ. Но исследователю, который плохо знаком с данной средой, будет довольно затруднительно справиться с этой задачей. Это связано с тем, что кластерный анализ в MATLAB предполагает не только знание самого алгоритма данного процесса, но и языка программирования в этой среде. Для продвинутого пользователя у MATLAB есть расширенные возможности – в качестве инструмента кластеризации данных можно использовать нейронные сети. В системе MATLAB имеется пакет Neural Network Toolbox (NNT), который является гибким инструментом создания нейронных сетей.

Помимо этого, в MATLAB имеется возможность создания приложения, с помощью которого вводом запрашиваемых данных можно будет осуществлять кластерный анализ. На рисунке 4 представлен пример приложения, решающего задачу кластерного анализа для системы анализа финансового состояния предприятия.

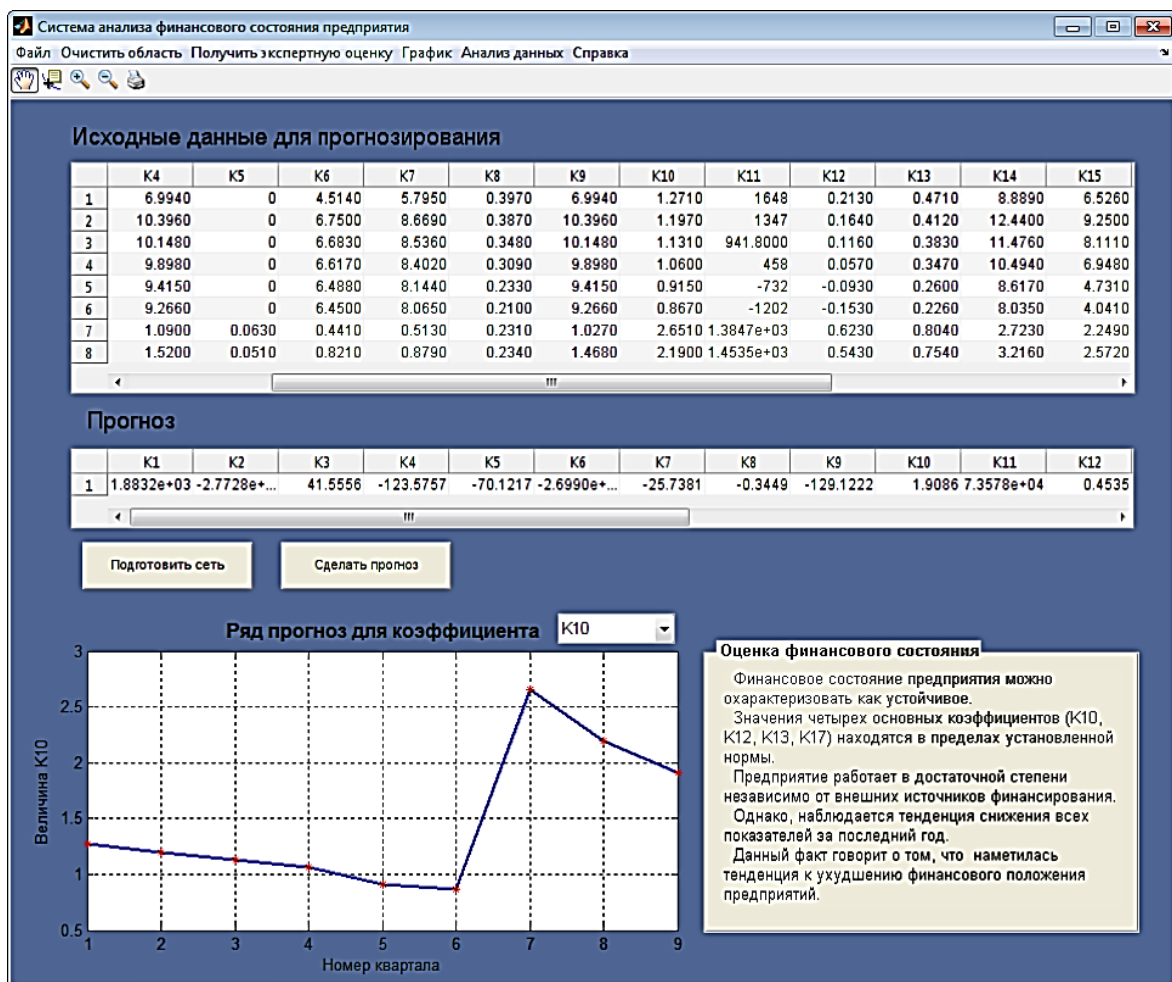


Рисунок 4. Приложение, разработанное в MATLAB с помощью утилиты guide, решающее задачу кластерного анализа

Новым способом проведения кластерного анализа является программа Colaboratory, или просто Colab, с использованием библиотеки Scikit-learn. Его несомненным преимуществом является бесплатность программы Colab, которая к тому же не требует установки. Colab позволяет писать и выполнять код Python в браузере. Для выполнения кластерного анализа в данном случае необходимо использовать библиотеку Scikit-learn. Scikit-learn – это библиотека программного обеспечения для машинного обучения для языка программирования Python, содержащая различные алгоритмы, используемые в статистике [6]. Данная библиотека также является бесплатной.

Таким образом, кластерный анализ в Colaboratory производится достаточно быстро, поскольку не требует дополнительных временных затрат на установку программного обеспечения. Но для выполнения данной процедуры необходимо знать алгоритм кластерного анализа и язык программирования Python. Пример результата выполнения кластерного анализа в Colaboratory представлен на рисунке 5.

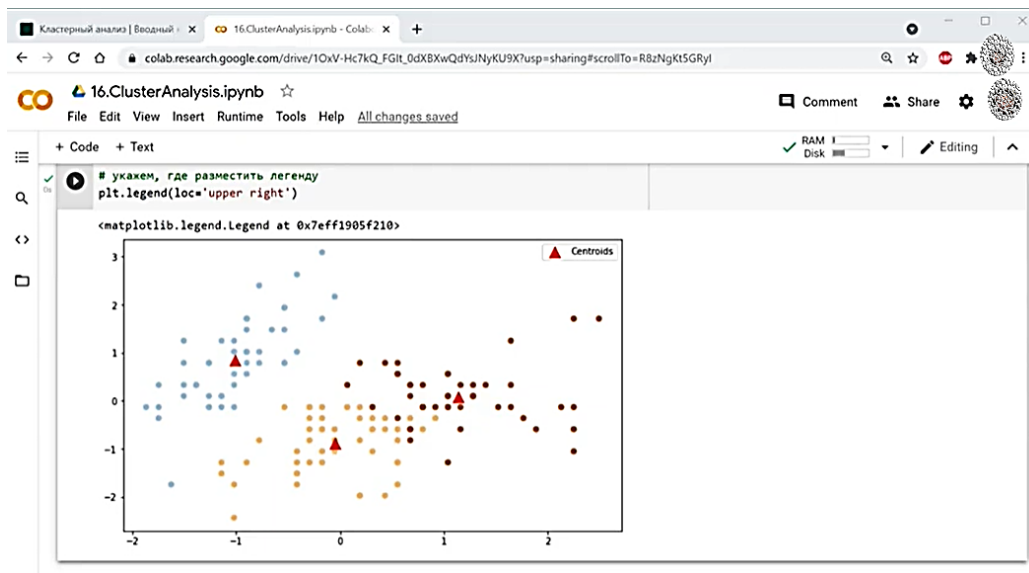


Рисунок 5. Пример результата выполнения кластерного анализа в Colaboratory

Для большей наглядности имеет смысл обобщить информацию об описанных программных средствах, используемых для кластерного анализа, в таблице.

Таблица – Характеристики программных средств, используемых для кластерного анализа

	<b>STATISTICA</b>	<b>Stata</b>	<b>MATLAB</b>	<b>Colaboratory</b>
Платное / бесплатное программное обеспечение	Платное	Платное	Платное	Бесплатное
Количество инструкций для проведения кластерного анализа	Много	Немного	Мало	Мало
Наличие кнопочного интерфейса для проведения кластерного анализа	Да	Да	Нет	Нет
Наличие командного интерфейса	Да	Да	Да	Да
Возможность использования нейронных сетей для кластеризации данных	Да	Нет	Да	Да
Возможность создания шаблона/ приложения для выполнения кластерного анализа	Да	Да	Да	Да



Таким образом, в статье были приведены основные сведения о кластерном анализе и рассмотрены наиболее популярные средства и способы для его проведения.

### **Список литературы:**

1. Мандель, И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – М. : Издательство “Финансы и статистика”, 1988. – 176 с. – Текст : непосредственный.
2. Тюрин, А. Г. Кластерный анализ, методы и алгоритмы кластеризации / А. Г. Тюрин, И. О. Зуев. – Текст : электронный // ВЕСТНИК МГТУ МИРЭА. – 2014. – № 2. – Выпуск 3. – С. 86-97. – URL: <https://rtj.mirea.ru/upload/medialibrary/fba/09-tyurin.pdf> (дата обращения: 15.11.2022).
3. Кластерный анализ данных: [сайт]. – 2022. – URL: [https://moodle.kstu.ru/pluginfile.php/383237/mod\\_resource/content/1/ЦМХТП\\_T2\\_Статистические%20характеристики%20процессов\\_ЛР3.pdf](https://moodle.kstu.ru/pluginfile.php/383237/mod_resource/content/1/ЦМХТП_T2_Статистические%20характеристики%20процессов_ЛР3.pdf) (дата обращения: 13.11.2022). – Текст : электронный.
4. Кластерный анализ: [сайт]. – 2022. – URL: [https://ru.bmstu.wiki/Кластерный\\_анализ](https://ru.bmstu.wiki/Кластерный_анализ) (дата обращения: 16.11.2022). – Текст : электронный.
5. Бантикова, О. И. Методы кластерного анализа. Классификация без обучения (непараметрический случай): методические указания к лабораторному практикуму, курсовой работе, дипломному проектированию и самостоятельной работе студентов / О. И. Бантикова, Е. Н. Седова, О. С. Чудинова; под ред. А. Г. Реннера. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2011. – 93 с. – URL: <http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/9207/1/Бантикова.pdf> (дата обращения: 20.11.2022). – Текст : электронный.
6. Scikit-learn. 2022. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Scikit-learn> (дата обращения: 17.11.2022).

© Новикова М. А., Ковалёв Д. А., 2022

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ОБЪЕКТАХ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

студент **Богорадников Данила Вячеславович**,  
науч. руководитель: ассистент **Ершов Кирилл Константинович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье идет речь об использовании электропривода в объектах альтернативной энергетики. Рассматриваются электроприводы ветрогенератора: привод поворота гондолы и привод поворота лопастей. Подчеркивается необходимость применения этих приводов для большинства видов ветрогенераторов. Также рассматривается электропривод солнечной панели, который позволяет поворачивать панель для наилучшей энергоэффективности.

**Ключевые слова:** электропривод, ветрогенераторы, солнечные панели, привод рысканья.

## APPLICATION OF A CONTROLLED ELECTRIC DRIVE IN ALTERNATIVE ENERGY FACILITIES

Student **Bogoradnikov Danila Vyacheslavovich**,  
Academic Advisor: Assistant **Ershov Kirill Konstantinovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** This article deals with the use of an electric drive in alternative energy facilities. The electric drives of the wind generator are considered: the drive for turning the nacelle and the drive for turning the blades. The necessity of using these drives for most types of wind turbines is emphasized. A solar panel motor is also being considered, which allows the panel to be rotated for the best energy efficiency.

**Keywords:** electric drive, wind turbines, solar panels, yaw drive.

В современном мире люди каждый день создают новые технологии, которые требуют все больше и больше электроэнергии. Это привело к развитию альтернативной энергетики. Эта область науки, которая в отличие от традиционных методов выработки электроэнергии, которая использует нефть, газ, уголь и т. д. использует возобновляемые источники электроэнергии, например, энергию ветра, солнца, геотермальной энергии и т. д. Однако эффективность устройств, преобразующих эти виды энергии в электрическую, относительно невысока. Для ее повышения может быть целесообразно

использовать регулируемый электропривод. В этой статье речь пойдет об электроприводах ветрогенераторов и солнечных батарей.

Ветрогенератор – устройство, состоящее из лопастей, ротора, гондолы, поворотного механизма и башни (рисунок 1), которое служит для преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим ее преобразованием в электрическую энергию.

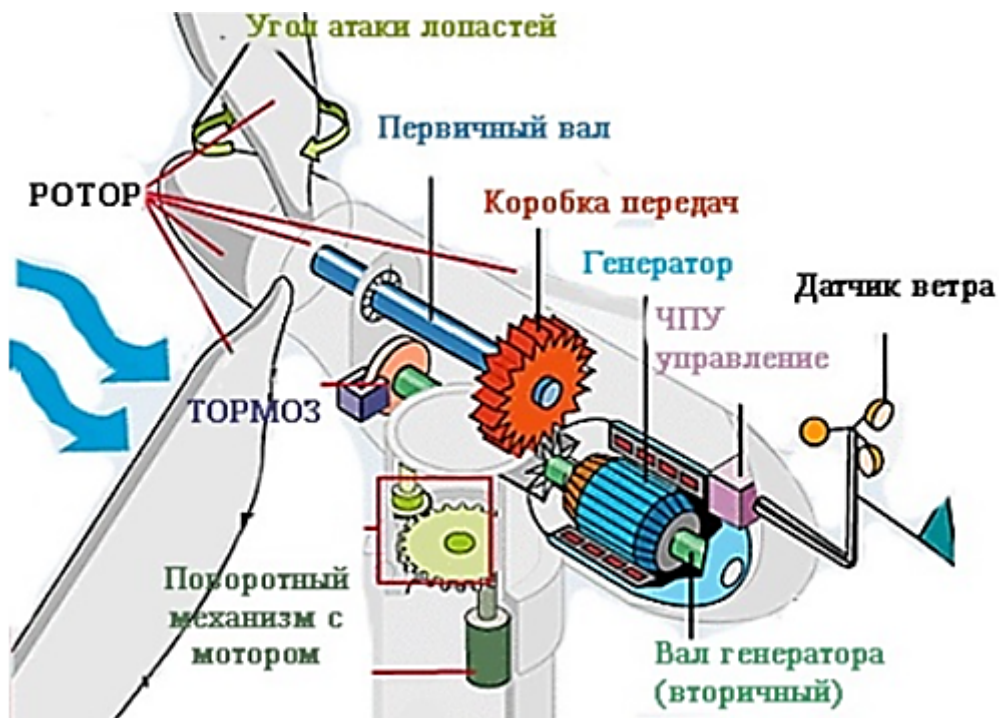


Рисунок 1. Устройства ветрогенератора

В таких типах устройств необходима система регулирования для того, чтобы получить максимальную эффективность и предотвратить механические поломки при сильном ветре [1, с. 1-2].



Рисунок 2. Зависимость мощности от скорости ветра

Рисунок 2 показывает режимы работы генератора при различной скорости ветра. При достижении номинальной мощности необходимо поддерживать номинальную скорость генератора.

Для поддержания этой скорости используется поворот гондолы/лопастей. Гондола вращается на верхней части башни с помощью активной системы управления рысканием, состоящей из электрических приводов и соответствующих редукторов (рисунок 3), так что ротор всегда находится поперек ветра.

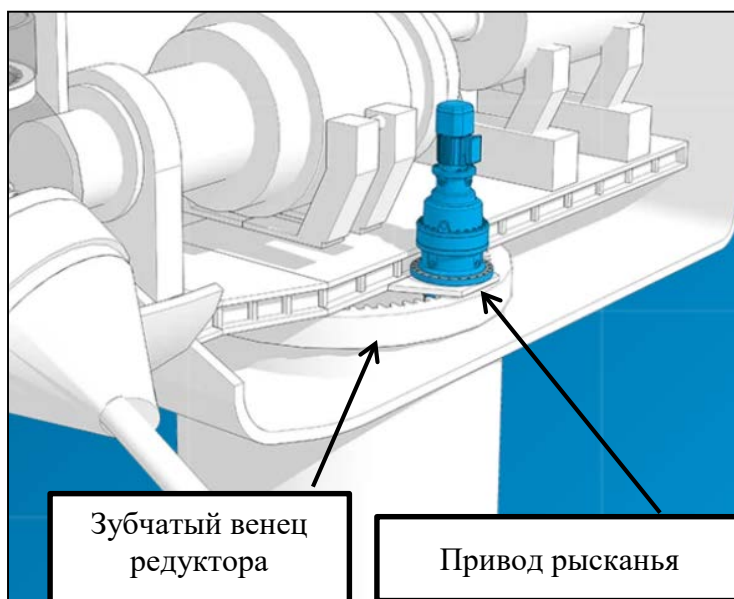


Рисунок 3. Механизм управления углом поворота гондолы

Направление и скорость ветра непрерывно контролируются датчиками, подключенными на крыше гондолы. Ротор обычно позиционируется в соответствии со средним направлением ветра, рассчитанным за 10-минутный период системой управления турбиной [2, с. 28]. Для турбин с горизонтальной осью и подветренными роторами система рыскания не является необходимой, поскольку турбина по своей сути самоориентирующаяся и следует направлению ветра как флюгер. Вместо этого ветряные турбины с подветренной стороны имеют либо хвостовое оперение задней ориентации (ветряные турбины малого и среднего размера), либо активное управление рысканием; поэтому опорная башня также должна иметь соответствующие размеры, чтобы выдерживать нагрузки на кручение, возникающие в результате использования систем рыскания.

Для технического обслуживания или остановки турбины гондола поворачивается против ветра, чтобы снять ветровую нагрузку с ротора. Приводы представляют собой двигатели, соединенные со ступенчатым редуктором для увеличения крутящего момента. В современных ветряных турбинах мощностью несколько мегаватт для береговых и оффшорных работ установлено несколько приводов рыскания для равномерного распределения нагрузки на основной подшипник [3]. Схематичное изображение механической передачи таких турбин изображено на рисунке 4.

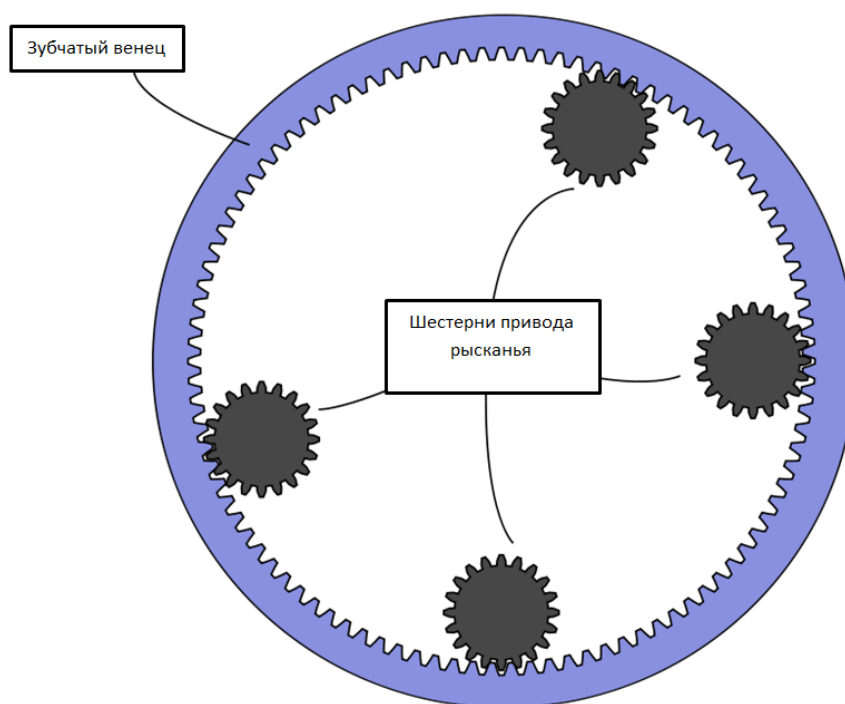


Рисунок 4. Зубчатый венец и шестерни привода рысканья мощных турбин

Лопасты – это компоненты, которые взаимодействуют с ветром и спроектированы с таким профилем, чтобы максимизировать аэродинамическую эффективность. На рисунке 5 показана типичная форма лезвия и его поперечные сечения; лезвие загибается вверх, а общий угол между корнем и кончиком составляет около  $25^\circ$ .

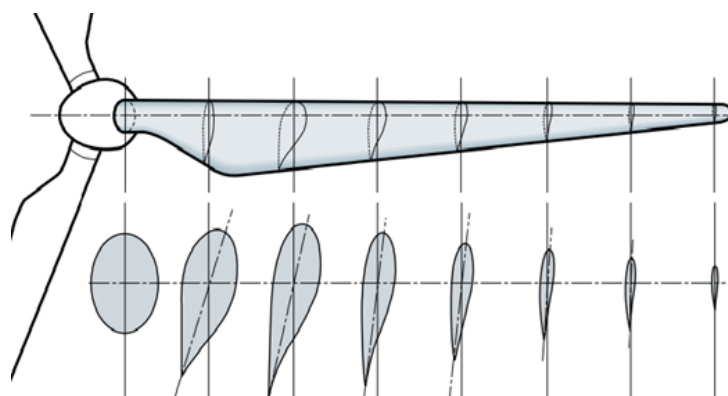


Рисунок 5. Лопасть ветрогенератора

В основании лопасти установлены механизмы поворота лопасти (рисунок 6). Регуляторы управляют механизмами поворота лопасти в ветряных турбинах, вращая их так, чтобы они использовали правильную долю доступной энергии ветра для получения максимальной выходной мощности, при этом гарантируя, что турбина не превысит максимальную скорость вращения. Это обеспечивает безопасность турбины в случае сильного ветра, потери электрической нагрузки или других катастрофических событий.

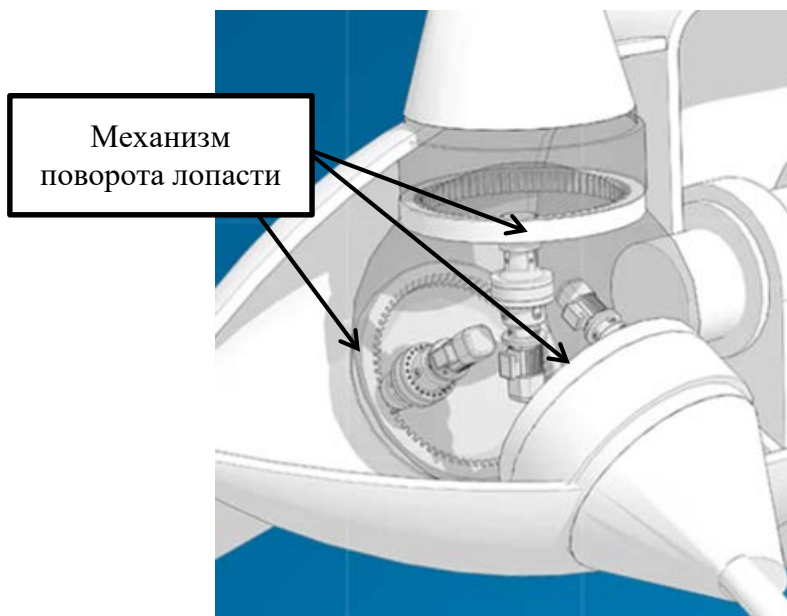


Рисунок 6. Механизм поворота лопасти

Регулируемый электропривод также может повысить энергоэффективность солнечных панелей. Солнечная панель представляет собой устройство, которое преобразует энергию фотонов света от солнца в электричество или тепло. Состоит панель из рамки, в которую вмонтированы кремниевые фотоэлектрические элементы.

Максимальную эффективность солнечная панель выдает, когда солнечные лучи падают по нормали на фотоэлектрические элементы. Известно, что солнце не стоит на месте, а движется как по горизонтали, так и по вертикали, следовательно, солнечная панель должна также двигаться вслед за солнцем; если это не соблюдается, солнечная панель теряет до 35 % мощности. Для того чтобы нивелировать эти потери, нужно увеличивать число панелей, что приводит к увеличению стоимости энергии. За счет того, что увеличивается количество занимаемой площади, нужно также подвести коммуникации и обслуживать их.

Другим способом повышения энергоэффективности является использование регулируемого электропривода [4, с. 7]. Для получения максимальной эффективности от солнечной панели требуется минимум две оси солнечного трекера: одна – азимутный угол, а другая – наклонный угол, который измеряет угол наклона солнечного света (рисунок 7).

Поскольку солнечный трекер – это невзаимодействующая система, контроллер, предназначенный для одной оси, также будет аналогичной копией другой оси [5, с. 3]. Работает эта система следующим образом: солнечный трекер измеряет угол подающих на панель лучей, этот угол сравнивается с углом поворота батареи, и при несоответствии формируется сигнал управления электроприводом соответствующей оси. Воздействие ветра может вносить отклонения положения батареи, для компенсации этого отклонения может потребоваться сложная система управления. Однако даже в таких случаях применение электропривода будет экономически выгоднее, чем увеличение силы панелей [6].

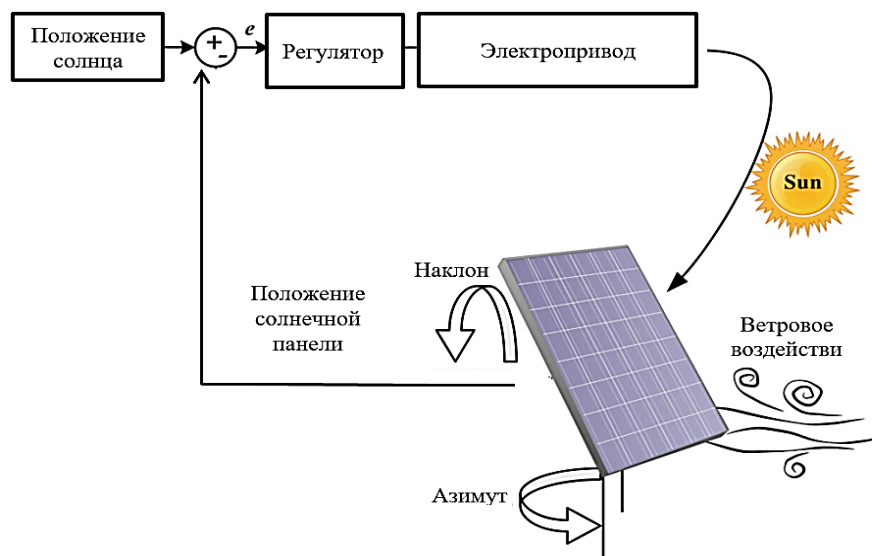


Рисунок 7. Структурная схема системы управления позиционирования солнечной батареи

Таким образом можно сделать вывод о том, что применение регулируемого электропривода в ветрогенераторах и солнечных панелях имеет следующие достоинства:

- Привод рысканья дает гондole поворачиваться на более выгодный угол по отношению к ветру, что позволяет поддерживать высокую энергоэффективность при любом направлении ветра.
- Привод поворота лопастей в ветрогенераторе защищает генератор при слишком большой скорости ветра, не снижая энергоэффективность.
- Регулируемый привод в солнечных панелях позволяет поддерживать максимальную эффективность на протяжении светлого времени суток.

### Список литературы:

1. Wright A., Fingersh L. Advanced Control Design for Wind Turbines // Part I: Control Design, Implementation, and Initial Tests. 2008.
2. Technical Application Papers No.13. Wind power plants // Technical Report, document ABB 1SDC007112G0201. 2011.
3. Kascheev K. O., Lashina E. N. Comparison of the efficiency of valve electric motors: reactive and convectional // Dialogue of cultures. St. Petersburg: HSTE SPbSUITD. 2021. P. 51-54.
4. Huang Y-Ch., Chen G-Yu., Hsu P-Ch., Li K. Improving Solar PV System Efficiency Using One-Axis 3-Position Sun Tracking // Energy Procedia. 2013.
5. Hanwate S., Hote Yo. Design of PID controller for sun tracker system using QRAWCP approach // International Journal of Computational Intelligence Systems. 2018.
6. Табанаков, А. А. Энергоэффективные технологии для энергосбережения жилого здания / А. А. Табанаков, М. С. Липатов // Оригинальные исследования. – 2021. – Т. 11. – № 12. – С. 165-173. – Текст : непосредственный.

© Богорадников Д. В., 2022

УДК 681.5

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВНУТРИ КОРПУСОВ

студент **Чигрунов Дамир Фарходович**,  
студент **Алмазхан Нурбек Алмазханулы**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Идиатуллов Заур Рафикович**,  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А. Н. Туполева,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье исследуется технология и возможности автоматизированного контроля охлаждения внутри различных корпусов на базе управляющего микроконтроллера, двухсторонних вентиляторов и датчиков температуры путем анализа текущей температуры и изменения необходимых параметров для достижения оптимальных показателей.

**Ключевые слова:** корпус, температура, автоматизированный контроль, двухсторонний вентилятор, методы охлаждения.

## DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED COOLING SYSTEM INSIDE THE CASES

Student **Chigrunov Damir Farkhodovich**,  
Student **Almazkhan Nurbek Almazkhanuly**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Idiatullov Zaur Rafikovich**,  
Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** The article explores the technology and possibilities of automated control of cooling inside various cases, based on a control microcontroller, two-way fans and temperature sensors, by analyzing the current temperature and changing the necessary parameters to achieve optimal performance.

**Keywords:** case, temperature, automated control, two-way fan, cooling methods.

На сегодняшний день в условиях быстрого развития технологий одной из важных проблем в процессе конструирования электронных средств является правильный выбор системы охлаждения и ее реализация с учетом ценовых и качественных требований. Ежедневно мы повсеместно сталкиваемся с системами охлаждения, начиная от корпуса персонального компьютера, в котором установлены специальные вентиляторы, до автомобилей, в которых используется антифриз для охлаждения двигателя в процессе его работы. Если говорить о персональных компьютерах или различных электронных аппаратах,



которые имеют корпус, то можно сказать, что не всегда степень охлаждения соответствует желаемой пользователем. В таких случаях начинается самостоятельная модернизация для увеличения возможностей системы охлаждения определенного устройства.

Одним из готовых вариантов с наибольшей эффективностью является жидкостное охлаждение, так как теплоемкость жидкостей значительно выше, чем газов, однако оно стоит достаточно дорого, из-за того, что качественное жидкостное охлаждение требует специального расположения трубок, по которым будет течь жидкость, выполненных по требованиям безопасности. Эффективность жидкостного охлаждения зависит от таких факторов как скорость охлаждающей жидкости и ее состава, наличия турбулентности, а также материала радиатора. Одним из минусов жидкостного охлаждения является риск выведения из строя всего устройства при протечке в трубках циркуляции или самом резервуаре [1].

В данной статье расскажу об одном из вариантов воздушного охлаждения, реализуемое с использованием управляющего модуля на базе микропроцессора для систем, главный функционал которых не основан на работе центрального управляющего устройства (процессора), так как для них существует возможность реализации подключения и управления всеми модулями нашей системы на программном уровне. Наша система не имеет жесткой конструкции, поэтому ее можно располагать в различные корпуса, в которых есть отверстия для воздушного охлаждения. При их отсутствии можно вырезать самостоятельно в удобных для вас местах с учетом движения тепла.

Для начала познакомимся с методами воздушного охлаждения. Охлаждение делится на естественное и принудительное, которое является более эффективным. Естественное воздушное охлаждение не способно справиться с большим перегревом и для его использования следует учитывать направление тепла от радиоэлементов и правильно их располагать на этапе конструирования плат. Более эффективным является принудительное воздушное охлаждение, однако оно отводит лишь 5 % создаваемого тепла в случае прямого обдува радиатора [2].

Наша система содержит в себе возможность как менять скорость вращения лопастей вентилятора, так и воздействовать на общую схему движения воздушных масс за счет анализа данных с датчиков, что может увеличить процент отводимого тепла. Минимальная конфигурация системы обязательно должна включать в себя два датчика температуры, которые располагаются в корпусе следующим образом (рисунок 1):

- один датчик располагается в самой верхней части корпуса, непосредственно над источником тепла, для получения значений температуры, которая будет являться наибольшей температурой среды внутри корпуса, так как холодный воздух более плотный, и он вытесняет теплый воздух, за счет чего он перемещается вверх, перенося тепло вместе с собой [3];

- второй располагается в ближайшей точке к источнику тепла, в случае, когда источников тепла несколько, следует увеличить количество датчиков.

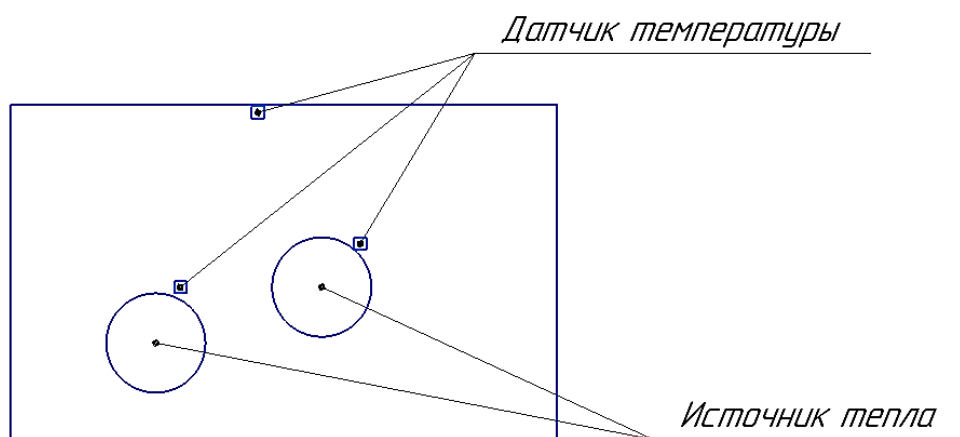


Рисунок 1. Схема расположения датчиков температуры внутри корпуса

Помимо датчиков температуры система включает в себя три двухсторонних вентилятора, два из которых будут располагаться на передней и задней панели корпуса, а третий – на верхней, для создания дополнительной тяги теплого воздуха (рисунок 2). Данные вентиляторы строятся по подобию обычных компьютерных вентиляторов, однако их лопасти сделаны таким образом, что при изменении полярности они могут работать в различных направлениях. К примеру, на передний вентилятор в обычном состоянии будет подаваться положительное напряжение, следовательно, он будет работать на вдув воздуха в корпус, однако в случае необходимости управляющий модуль сменит полярность, за счет чего вентилятор начнет выдувать теплый воздух из корпуса.

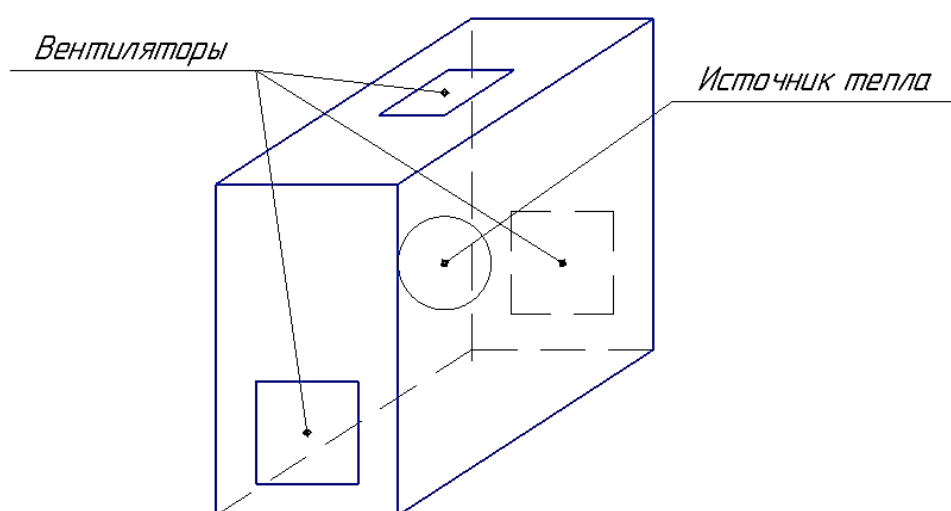


Рисунок 2. Схема расположения вентиляторов на корпусе

Также вентиляторы будут располагаться в отдельной рамке, прикрепленной к миниатюрным сервоприводам, которые будут управляться микропроцессором и при необходимости менять угол наклона рамки, за счет чего будет меняться направление потока вдуваемого воздуха. Это необходимо для изменения схемы движения воздушных масс внутри корпуса. На основе

данных, полученных с датчиков температуры, микропроцессор будет просчитывать возможные схемы движения воздуха внутри корпуса и за счет возможности управления углом наклона вентиляторов и режимами их работы находить наиболее оптимальные значения параметров.

Для повышения эффективности воздушного охлаждения в базовые настройки системы будут выставляться параметры вентиляторов таким образом, чтобы они могли создавать либо зону пониженного давления внутри корпуса для создания мини-циклона, что приведет к улучшенному теплоотводу от источника тепла, либо будут работать в обычном режиме, когда передний и задний вентиляторы будут иметь угол, при котором воздушный поток будет пересекаться в точке расположения источника тепла, тем самым ускоряя поднятие теплого воздуха к верхнему вентилятору и охлаждению радиатора, а верхний вентилятор будет работать на выдув, для передачи теплого воздуха во внешнюю среду, за пределы корпуса, так как это является одним из наиболее простых и эффективных методов охлаждения электротехники [4].

Сервоприводы в данной конструкции имеют преимущества перед двигателями постоянного тока, так как появляется возможность лучшего контроля момента вращения, а также они обладают широким диапазоном регулирования, который в нашей системе будет ограничиваться на уровне микропроцессора для предотвращения поломок. Также использование сервоприводов дает возможность запоминать состояние, благодаря чему отпадает необходимость в перенастройке угла наклона при перезагрузке всей системы [5].

Кроме того, за счет получения данных о температуре с источников тепла микропроцессор определяет, являются ли все источники на данный момент активными, и в случае отключения одного из них, сервопривод поворачивает вентилятор в сторону активного источника тепла. В случае, если источников тепла несколько, а вентиляторов на передней и задней панели всего два, то они будут направлены в точку, из которой излучается наибольшее тепло, за счет наложения излучения с соседних элементов. Данная точка будет определяться алгоритмами в микропроцессоре на основе данных, полученных с датчиков температуры, расположенных вблизи источников тепла, однако для выполнения данной функции необходима установка отдельного датчика около каждого источника.

Питание системы следует рассчитывать исходя из количества подключенных вентиляторов, а также с учетом расчета нагрузки от системы на охлаждаемое устройство, и при необходимости следует использовать отдельный блок питания. Для работы через программу с использованием мощностей центрального управляющего устройства в перспективе возможна разработка приложения с графическим отображением текущих показателей температуры, а также с получением информации непосредственно с материнских плат, так как в настоящее время большинство из них оборудовано встроенными датчиками температуры.

### **Список литературы:**

1. Меркульев, А. Ю. Системы охлаждения полупроводниковых электрорадиоизделий / А. Ю. Меркульев, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков. – Текст : электронный // Молодой ученый. – 2013. – № 11 (58). – С. 143-145. – URL: <https://moluch.ru/archive/58/8228/> (дата обращения: 25.11.2022).
2. Дульнев, Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре: учебник для вузов по спец. “Конструиров. и произв. радиоаппаратуры” / Г. Н. Дульнев. – М. : Высш. шк., 1984. – 247 с. – Текст : непосредственный.
3. Каменев, П. Н., Тертичник, Е. И. Вентиляция: учебное пособие / П. Н. Каменев, Е. И. Тертичник. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 624 с. – Текст : непосредственный.
4. Дульнев, Г. Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры: учеб. пособие для вузов / Г. Н. Дульнев, Н. Н. Тарновский. – Л. : Энергия, 1971. – 248 с. – Текст : непосредственный.
5. Дементьев, Ю. Н., Чернышев, А. Ю., Чернышев, И. А. Автоматизированный электропривод: учебное пособие / Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев, И. А. Чернышев. – Томск : Изд-во ТПУ, 2009. – 224 с. – Текст : непосредственный.

© Чигрунов Д. Ф., Алмазхан Н. А., 2022

## ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН КАК МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ПРОЦЕССАХ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

студент **Белова Мария Юрьевна**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент  
**Назаревич Станислав Анатольевич**,  
Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматривается возможность оптимизации производства, а также решение задач национальной программы повышения производительности с помощью внедрения цифровых двойников, обеспечение которых происходит за счет создания имитационной модели, имеющей контактный параметрический интерфейс с возможностью мониторинга в режиме реального времени потока процесса и корректировкой его управляемых параметров.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, имитационная модель, оптимизация, производственный процесс, технология, система.

## INDUSTRIAL DESIGN AS A METHOD OF RISK MANAGEMENT IN PRODUCTION ORGANIZATION PROCESSES

Student **Belova Maria Yurievna**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Nazarevich Stanislav Anatolyevich**,  
St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The possibility of optimizing production is being considered, as well as solving the tasks of the national productivity improvement program through the introduction of digital twins, which are provided by creating a simulation model with a contact parametric interface with the ability to monitor the process flow in real time and adjust its controlled parameters.

**Keywords:** digital twin, simulation model, optimization, production process, technology, system.

Современные тенденции диктуют нынешним производствам набирать обороты в развитии и производственных мощностях. Непрерывные улучшения и внедрение инноваций позволяют предприятиям оставаться прибыльными в среде растущей конкуренции, которая обусловлена открытием новых сфер деятельности и улучшением технологий. Каждое развитие, включающее изменение технологии изготовления, внедрение нового оборудования, смена

поставщиков и др., содержит в себе определенные риски, которые предприятия должны рассчитывать, чтобы избежать больших потерь [1].

В таблице приведены примеры основных 7 видов потерь, которые распространены на производстве. Каждая потеря приносит свои убытки, из-за которых многие производства не могут выйти на новый уровень развития. Решением данных потерь можно осуществить с помощью «Системы 20 ключей» Кобаяси, которая обуславливается внедрением 100-бальной системы, способствующая организации и включению данных инструментов в производственный процесс. «Система 20 ключей» предполагает, что «обладание» каждым из них обеспечит компании конкурентоспособность на рынке. Главной задачей является выявление лидирующих видов деятельности и ликвидация затратных и не приносящих прибыли [2]. Таким образом, каждое предприятие для успешного развития должно перейти к lean-технологиям.

Таблица – Виды потерь и их решения

<i>№</i>	<i>Виды потерь</i>	<i>Пример</i>	<i>Решение потерь, созданных на основе «Системы 20 ключей» Кобаяси</i>
1	Перепроизводство	Избыточные мощности оборудования	Рационализация системы управления (ключ 2) Учет и распределение рабочего времени (ключ 10) Планирование производства (ключ 16) Общая технология, технология производства (ключ 20)
2	Излишние запасы	Запасы сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих	Упорядочивание или наведение чистоты и порядка (ключ 1) Сокращение материально-производственных запасов (ключ 4) Стоимостной анализ производственных операций (ключ 6)
3	Ненужная транспортировка	Большое расстояние между производствами	Рационализация системы управления (ключ 2) Деятельность малых групп (ключ 3) Управление производительностью труда (ключ 17)
4	Лишние движения	Поиск документов / инструментов	Упорядочивание (ключ 1) Технология быстрой переналадки (ключ 5) Связанные производства (ключ 8) Планирование производства (ключ 16) Общая технология, технология производства (ключ 20)
5	Ожидание	Ожидание согласований, проверок, решений, разрешений	Обслуживание машин и оборудования (ключ 9) Учет и распределение рабочего времени (ключ 10)

№	Виды потерь	Пример	Решение потерь, созданных на основе «Системы 20 ключей» Кобаяси
6	Избыточная обработка	Избыточные информационные потоки	Сокращение материально-производственных запасов (ключ 4) Стоимостный анализ производственных операций (ключ 6) Энергосбережение и экономия материалов (ключ 19)
7	Брак	Нарушение технологий/ дополнительные затраты на доработку	Система контроля качества (ключ 11) Устранение потерь (ключ 13)

Проблемы в организации с точки зрения lean-технологий (бережливого производства) основаны на больших затратах и малой прибыли от получившихся результатов. Данная концепция делит подпроцессы технологии на две категории: создающие ценность и ценность не добавляющие. Следовательно, при внедрении данной технологии необходимо увеличить количество первых и минимизировать вторые.

Бережливое производство включает в себя 15 основных инструментов, которые необходимо применять в зависимости от присутствующих потерь на предприятии (рисунок 1).

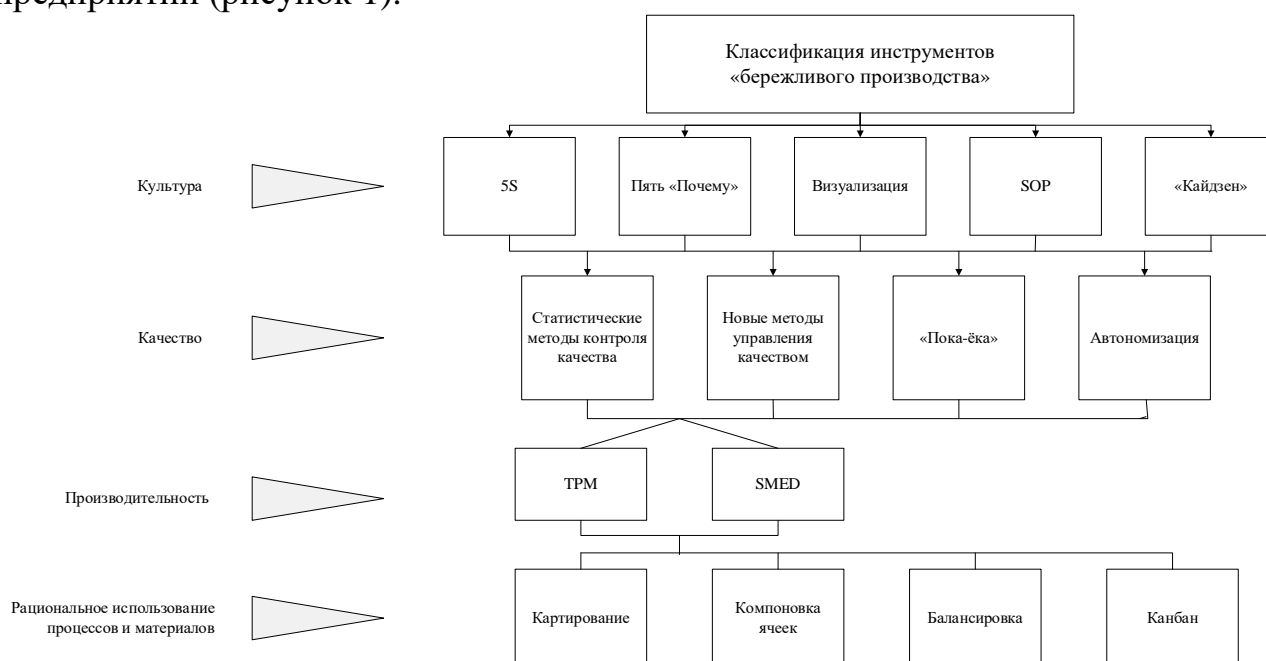


Рисунок 1. Классификация инструментов «бережливого производства» [3]

Включение в тех процесс инструментов бережливого производства позволит не только сократить потери в цепочке производства, но и снизить затраты, увеличив при этом мощности предприятия. Как показывает практика организации и внедрении Бережливого производства на предприятиях РФ, через

6 месяцев после внедрения данной концепции компания выходит на новый уровень развития, становится конкурентоспособной.

Инструменты основаны на главных принципах действия [4]:

- гибкий подход (внедрение инструментов в систему, не ломая ее);
- создание непрерывного обновления производства товаров;
- постоянное совершенствование;
- определение потока создания ценности.

Таким образом, производству необходим контроль, за счет которого можно получить данные результатов внедрения инструментов бережливого производства, оценить их и определить все возможные риски для избежания потерь.

Для грамотного управления процессами, обеспечения их непрерывного взаимодействия, минимизации высокочрезвычайных и однотипных действий необходимо подготовить производство к следующему уровню развития.

Раз производственная система должна иметь динамический характер, быть способной реагировать на изменяющуюся среду, при этом не противоречить своей стратегии снижения затрат, тогда нужно внедрить такое управление изменениями и знаниями, которое способствовало быстрому развитию, соответствовала требованиям тенденций, а также приносило минимальные потери.

В настоящее время активно развивается и внедряется новая парадигма цифрового проектирования и моделирования. Все большее применение и развитие получает промышленный дизайн, изначально предназначенный для создания внешнего дизайна вещей массового производства. Сейчас промышленный дизайн – это система, основанная на бизнес-моделях с определенными технологическими условиями и набором комплексных вариантов развития бизнесов заказчиков. Промышленный дизайн как традиционный способ прототипирования бытовой техники, производственных установок и их интерфейсов уходит на второй план [5]. Данные технические возможности позволяют применять способ создания интерфейсов не исключительно на объект, а на систему объектов, в том числе систему оборудования, которая будет включена в технологию создания товаров и услуг. Промышленный дизайн как часть управляющего интерфейса производства будет отображать и контролировать запущенные процессы, предупреждая все риски и потери [6]. Таким образом, будет создана имитационная модель, включающая не только графическую визуализацию исследуемого процесса, а также имеющая контактный параметрический интерфейс с возможностью мониторинга в режиме реального времени потока процесса и корректировкой его управляемых параметров.

Цифровой двойник позволяет обеспечить при развитии машиностроительных и приборостроительных предприятий управление изменениями и знаниями за счет построения математической модели, соответствующую всем фундаментальным законам, основанную на вычислительной геометрии и содержащую данные об материалах, эксплуатационных режимах и т. д. Цифровой двойник соответствует принципам



бережливого производства, основанных на контроле появления возможных потерь, а также создании функциональности и технологичности продукта до того состояния, насколько он соответствует потребностям и ожиданиям целевой аудитории, т. е. управление технологическим процессом для создания максимальной ценности.

Такая интеграция всех знаний при создании цифрового двойника позволяет оптимизировать многие трудозатратные задачи, которые не осуществимы без создания цифровой модели, так как гибкость данного инструмента позволяет производить все анализы и рассчитывать показатели мощностей процессов без остановки самой технологии и без ее видоизменений (рисунок 2).

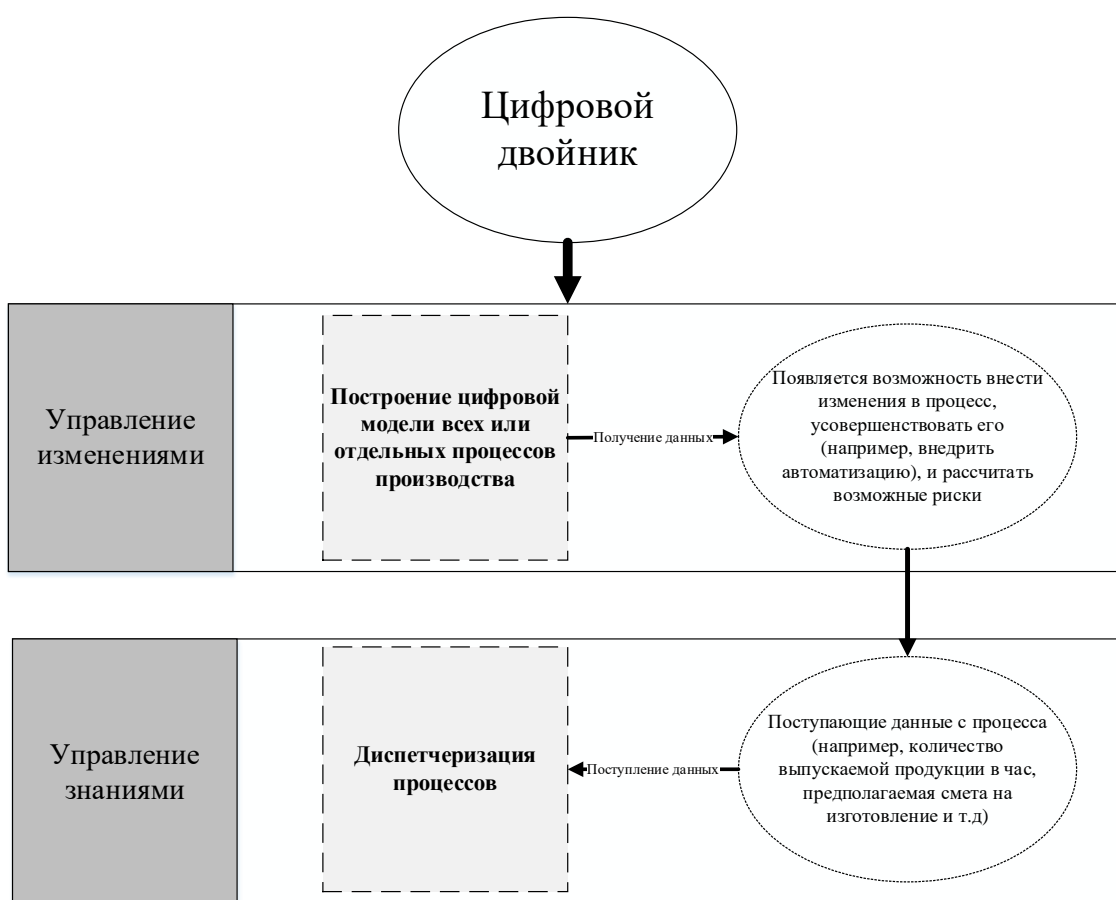


Рисунок 2. Оптимизация процессов производства с помощью создания математической модели

Внедрение цифрового двойника будет эффективно на любом этапе производства [7]:

1. На начальной стадии налаживания производственного процесса.

Цифровой двойник – это не просто видеоизображение существующего процесса на предприятии; это модель системы, которая является управляемой и изменяемой на настоящий момент времени и приближенной к реальной. Программы позволяют получить действительные данные хода протекания процесса, а также оценить риски при его изменении.

2. На стадии перехода к новому процессу и его окончании.

Цифровая диспетчеризация позволяет контролировать нововведения, ход протекания неизменных процессов, а также работу всей системы. Цифровой контроль позволяет быстро адаптироваться предприятию к новым условиям и трендам, получать актуальные данные и эффективно их использовать.

Таким образом, использование на практике цифрового проектирования и моделирования обеспечит наибольший результат для интеграции технологических изменений в производственные процессы технологических систем. Именно создание цифровых эквивалентов является ключевым компонентом к развитию машиностроительных и приборостроительных предприятий, поэтому создание машиночитаемых стандартов будет первым шагом к внедрению цифровой экосистемы.

### **Список литературы:**

1. Фролов, Е. Б., Климов, А. С. Цифровой двойник производственной системы на основе программного обеспечения категории MES / Е. Б. Фролов, А. С. Климов. – Текст : электронный // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – № 12 (73). – С. 66-73. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/> (дата обращения: 02.11.2022).
2. Что мешает современным компаниям повысить качество процессов ТОиР: [сайт]. – URL: <https://up-pro.ru/library/repair/> (дата обращения: 02.11.2022). – Текст : электронный.
3. Выбор приоритетов в развитии производственной системы: [сайт]. – URL: <https://www.cfin.ru/management/> (дата обращения: 04.11.2022). – Текст : электронный.
4. Тарасов, И. В. Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития / И. В. Тарасов. – Текст : электронный // Стратегии бизнеса. – 2018. – № 6 (50). – С. 57-63. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-ponyatie-kontseptsiitendentsii-razvitiya> (дата обращения: 08.11.2022).
5. Тихомиров, С. Г. Российские реалии использования машиночитаемого формата нормативной документации // Машиночитаемые стандарты: перспективы применения в промышленности : мат. конф. / С. Г. Тихомиров. – 2021. – URL: [http://www.rgtr.ru/data/events/2021/маш\\_стандарты\\_25.02.2021/](http://www.rgtr.ru/data/events/2021/маш_стандарты_25.02.2021/) (дата обращения: 11.11.2022). – Текст : электронный.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-2-2009 Информационная технология. Оценка процесса. Ч. 2. Проведение оценки. – М. : СтандартИнформ, 2009. – 18 с. – Текст : непосредственный.
7. Назаревич, С. А., Винниченко, А. В., Курлов, В. В. Применимость модели обратного инжиниринга для задач унификации в процессах системного проектирования инженерных предприятий // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: мат. конф. / С. А. Назаревич, А. В. Винниченко, В. В. Курлов. – Красноярск : Красноярская научно-техническая мэрия Российского союза научных и инженерных ассоциаций, 2020. – Текст : непосредственный.

© Белова М. Ю., 2022

## КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭФФЕКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

студент **Кадырмятов Юлиан Ряшитович**,  
Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** На сегодняшний день общая протяженность воздушных линий напряжением 35-110 кВ в России составляет более 5 миллионов километров. В силу географических особенностей нашей страны большая часть этих линий электропередач находится в труднодоступных местах, что не всегда позволяет безопасно осмотреть и продиагностировать данные линии. В статье рассмотрены инновационные способы диагностики, увеличивающие как эффективность диагностики, так и безопасность проводимых работ.

**Ключевые слова:** воздушные линии, беспилотные устройства, экономия, безопасность персонала, дроны.

## A SET OF MEASURES FOR EFFECTIVE DIAGNOSTICS OF POWER TRANSMISSION LINES

Student **Kadyrmyatov Julian Ryashitovich**,  
Kazan State Power Engineering University,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** To date, the total length of overhead lines with a voltage of 35-110 kV in Russia is more than 5 million kilometers. Due to the geographical features of our country, most of these power lines are located in hard-to-reach places, that does not always allow you to safely inspect and diagnose these lines. This article discusses innovative diagnostic methods that increase both the effectiveness of diagnostics and the safety of the work carried out.

**Keywords:** overhead lines, unmanned devices, economy, personnel safety, drones.

Своевременная и качественная диагностика воздушной линии (ВЛ) в целом и каждого ее элемента в отдельности способствует уточнению необходимых мер для безопасной и бесперебойной работы ВЛ. По данным Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы, более 40 % воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) эксплуатируются более 25 лет, что обуславливает необходимость реновации электрооборудования и модернизации ВЛЭП. При техническом обследовании электрооборудования информация о его состоянии зачастую не является достоверной. По статистике Министерства энергетики РФ, за 2018 г. произошло 10 889 аварий на ВЛЭП 110 кВ и выше, а за 2019 г. – 9606 аварий. Главные причины – схлестывания проводов в связи с их

провисанием, неудовлетворительное техническое состояние изоляторов, грозозащитных тросов (ГЗТ), аппаратов релейной защиты и автоматики. Все вышеуказанные причины подтверждают актуальность дополнительных исследований, которые позволят оценить техническое состояние электрооборудования, его надежность и безотказную работу элементов электросистемы, а также принимать решения о целесообразности реконструкции оборудования [1].

При стандартном осмотре ВЛ внимание обращается на определенные параметры:

1. Отсутствие посторонних предметов, построек, деревьев на территории охранной зоны.

2. Состояние фундаментов (приставок). Не должно быть повреждений самого фундамента и должно отсутствовать вспучивание или оседание грунта вокруг него.

3. Состояние опор. Опоры должны стоять ровно, сварные швы, заклепочные и болтовые соединения должны быть без повреждений. Должна отсутствовать коррозия металла. Если опора выполнена из дерева, то не должно быть обгорания и расщепления, также опоры не должны загнивать.

4. Осматриваются провода и тросы. Не допускается их обрыв, изменение расстояния до земли и стрел провиса.

5. Целостность, чистота и температура гирлянд изоляторов. Отсутствие отклонений подвесных гирлянд изоляторов от оси и полное наличие гаек, шпилек или замков.

6. Отсутствие повреждений арматуры.

7. Температура, чистота и целостность разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжения. Также целостность элементов заземляющего устройства и отсутствие коррозии на них [2].

Анализ аварий воздушных линий показывает, что ежегодно происходят многочисленные отказы ВЛ в результате изменения свойств материала проводов и их контактных соединений (КС): разрушение проводов из-за коррозии и вибрационных воздействий, истирание, износ, усталостные явления, окисление и др. Кроме того, с каждым годом растет число повреждений фарфоровых, стеклянных и полимерных изоляторов. Существует множество методов и систем для диагностики вышеперечисленных элементов, однако они, как правило, являются трудоемкими, обладают повышенной опасностью и, кроме того, требуют отключения оборудования от напряжения. Учитывая, что довольно большая часть ВЛ России находится в местах как труднодоступных, так и климатически неблагоприятных, их диагностика в классическом исполнении становится долгой, малоэффективной и опасной для жизни персонала, выполняющего данную диагностику. Решить данную проблему и увеличить скорость и эффективность осмотров ВЛ в принципе может применение летательных аппаратов [3].

В некоторых случаях для ускорения процедуры диагностики применяется вертолетное патрулирование. С его помощью можно провести тепловизионную диагностику изоляторов, контактных соединений и арматуры,

ультрафиолетовую диагностику тех же элементов на наличие коронных разрядов. Также можно визуально осмотреть ЛЭП. Такой способ осмотров является неэкономичным. К тому же данный способ осмотров является не самым безопасным, так как пилот может не заметить провода даже при ярком солнечном свете, не говоря уже об условиях тумана, снегопада или сумерек. Можно отметить проблему, связанную с отсутствием вертолетных площадок и самих вертолетов, так как не во всех районах есть к ним доступ [4].

Наиболее инновационным способом проведения диагностики ВЛ является использование беспилотников и дронов. Некоторые модели дронов могут делать весьма детализированные снимки как всей ЛЭП, так и ее отдельных компонентов. Также данные аппараты снабжены термальными камерами (рисунок 1), которые способны не только определить температуру частей ВЛ, но и сопоставить значения с прошлыми замерами, используя искусственный интеллект. Благодаря машинному обучению, дроны могут запоминать произведенные действия и воспроизводить их самостоятельно. Данный способ диагностики воздушных линий является самым безопасным для обслуживающего персонала, также он способен предоставить необходимые данные для анализа состояния ВЛ в хорошем качестве. Стоимость приобретения может варьироваться, но она явно будет меньше стоимости вертолета. Необходимо отметить, что для управления дронами нужно будет организовать обучение обслуживающего персонала и выделить место для хранения и зарядки дронов, но возможно с развитием отрасли производства дронов появятся фирмы, выдающие данные аппараты в аренду, предоставляя к ним уже обученный персонал. Если появятся такие фирмы, то использование беспилотных летательных аппаратов станет гораздо дешевле, а соответственно и выгоднее.



Рисунок 1. Замер температуры гирлянды изоляторов

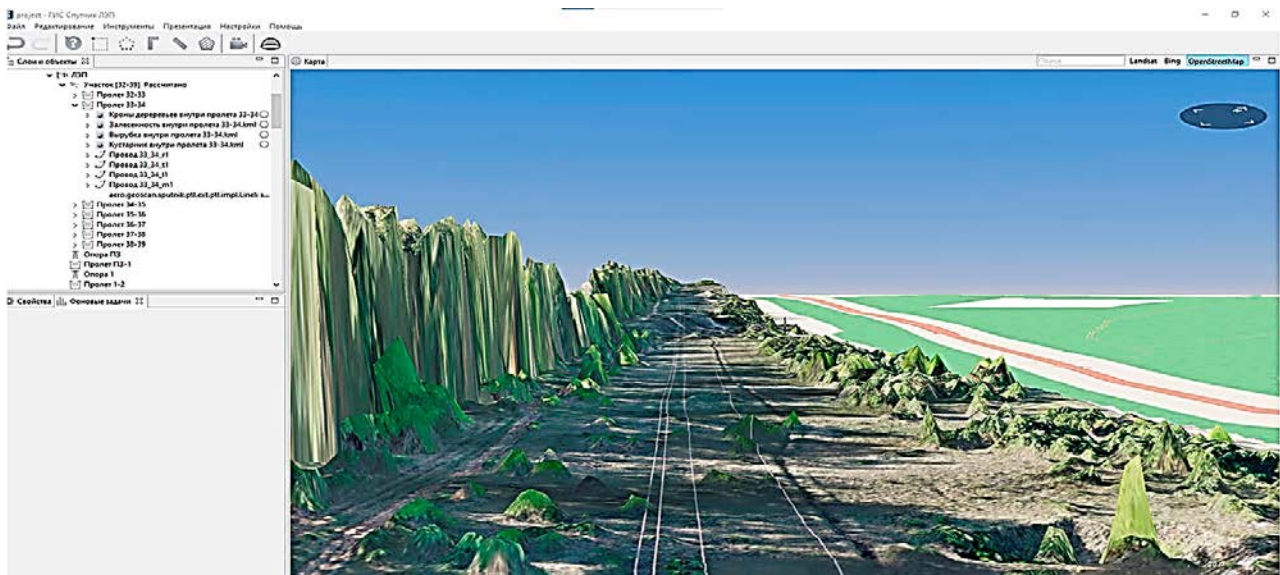


Рисунок 2. Цифровые модели поверхности

Можно сделать выводы, что воздушные линии электропередач нуждаются в своевременном и качественном обслуживании, так как большая их часть эксплуатируется более 25 лет. Такое обслуживание можно обеспечить благодаря квалифицированной диагностике с применением новых технологий, в частности, используя беспилотные летательные аппараты или дроны, которые способны выполнять полный перечень необходимых действий во время осмотра ЛЭП. Также стоит рассчитывать на развитие отрасли производства и использования дронов, что приведет к появлению фирм, выдающих беспилотные летательные аппараты в аренду вместе со специально обученными людьми.

### Список литературы:

1. Солёная, О. Я. Характеристики и параметры технического состояния воздушных линий электропередачи / О. Я. Солёная, А. В. Рысин, С. В. Солёный, В. П. Кузьменко, Е. С. Квас. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – Том 64, № 7. – 2021. – С. 583-588.
2. Методические указания по проведению технического освидетельствования оборудования подстанций, линий электропередачи: [сайт]. – URL: [https://www.rosseti.ru/investment/standart/corp\\_standart/doc/СТО\\_34.01-35-001-2020.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/standart/corp_standart/doc/СТО_34.01-35-001-2020.pdf) (дата обращения: 26.11.2022). – Текст : электронный.
3. Диагностика воздушных линий: [сайт]. – URL: <https://studfile.net/preview/7518248/page:20/> (дата обращения: 26.11.2022). – Текст : электронный.
4. Осмотр воздушных линий электропередач в процессе эксплуатации: [сайт]. – URL: <https://elektro-montagnik.ru/?address=lectures/part2/&page=page12> (дата обращения: 26.11.2022). – Текст : электронный.

© Кадырмятов Ю. Р., 2022

## ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ НА БАЗЕ ПРОДУКЦИИ ОВЕН

студент **Герт Сергей Александрович**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Бахтин Андрей Владимирович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассматривается, что такое программируемые логические контроллеры, их возможности и преимущества. А также подробно описывается логический контролер ПЛК200.

**Ключевые слова:** программируемые логические контроллеры, ОВЕН, ПЛК200, производство.

## PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS BASED ON OWEN PRODUCTS

Student **Gert Sergey Alexandrovich**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Bakhtin Andrey Vladimirovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The article discusses what programmable logic controllers are, their capabilities and advantages. The PLC 200 logic controller is also described in detail.

**Keywords:** programmable logic controllers, OWEN, PLC 200, production.

Современный уровень требований к автоматизации технологических процессов достиг таких высот, что уже ни у кого не вызывает сомнений, что будущее автоматизации за свободно программируемыми и свободно конфигурируемыми устройствами, такими как программируемые реле, программируемые контроллеры и программно-аппаратные комплексы (ПАК). Это обусловлено тем, что все меньше типовых задач можно решить простыми устройствами КИП, и все большие требования предъявляются к алгоритму работы системы. Как следствие, системы управления становятся более интеллектуальными.

Термин ПЛК (Programmable Logic Controller, PLC) впоследствии был определен в стандартах EN 61131 (МЭК 61131). ПЛК – это унифицированная цифровая управляющая электронная система, специально разработанная для использования в производственных условиях. ПЛК постоянно контролирует

состояние устройств ввода и принимает решения на основе пользовательской программы для управления состоянием выходных устройств.

Современные ПЛК, использующие инновационные технологии, далеко ушли от первых упрощенных реализаций промышленного контроллера, но заложенные в систему управления универсальные принципы были стандартизированы и успешно развиваются уже на базе новейших технологий [1; 2; 3].

Упрощенное представление состава и принципа действия ПЛК хорошо демонстрирует рисунок 1. Из него видно, что ПЛК имеет три основные секции:

- входную;
- выходную;
- центральную



Рисунок 1. Состав и принцип действия ПЛК

ПЛК незаменимый объект на любом современном производстве, однако для более широкого применения свободно программируемых контроллеров в проектах по автоматизации есть несколько сдерживающих факторов. Во-первых, финансирование автоматизации и модернизации объектов управления на российских предприятиях крайне скудное по сравнению с финансированием на западных предприятиях. Во-вторых, существует проблема отсутствия квалифицированных специалистов в отрасли, причем она актуальна не только для отдаленных регионов, но и для центральной полосы России: программист, имеющий опыт работы с контроллерами, до сих пор «на вес золота» [4]. Да и держать в штате квалифицированных программистов могут позволить себе



только крупные предприятия, имеющие свои отделы автоматизации. Третий и ключевой фактор – основная часть программируемых контроллеров, используемых на отечественных предприятиях, были произведены за рубежом. Принимая во внимание текущую ситуацию, можно смело сказать, что импортозамещение единственный вариант.

Компания ОВЕН, приступая к производству программируемых контроллеров, основательно изучила российский рынок автоматизации, с тем чтобы учесть все его особенности и сделать свою продукцию максимально доступной для потребителя. Именно поэтому производство современных средств автоматизации сопровождалось одновременным развитием дилерской сети и сервисных центров, совершенствованием системы обучения и подготовки специалистов по работе с ПЛК, гарантированной технической поддержкой на любом этапе реализации проекта с использованием наших контроллеров. Все это позволило компании стать одним из лидирующих производителей и поставщиков программируемых контроллеров в России и странах СНГ.

Наш выбор пал на ОВЕН ПЛК200 – новая линейка моноблочных контроллеров для малых и средних систем автоматизации со встроенными дискретными и аналоговыми входами/выходами (DI/DO/AI/AO) [5]. Контроллеры универсальны благодаря широкому спектру коммуникационных протоколов.

#### *Особенности и преимущества*

##### *Высокая производительность*

- Процессор ARM® Cortex-A8 с частотой 800 МГц.
- Большой объем памяти:
  - ROM 512 Мбайт (NAND).
  - RAM 256 Мбайт (DDR3).
  - RETAIN 64 Кбайт (MRAM).
- Операционная система Linux с RT-патчем.
- Поддержка быстрых входов/выходов до 95 кГц на выделенном PRU.

##### *Эргономичный корпус*

- Крепление на DIN-рейку или на стену.
- Съёмные клеммники с невыпадающими винтами.
- Удобная система укладки кабеля.
- Тумблер Старт/Стоп и разъем для MicroSD-карты под крышкой.

##### *Коммуникационные возможности*

- Ethernet дает ряд преимуществ:
  - высокая скорость опроса;
  - мультимастерность;
  - вариативная топология сети.
- Поддержка промышленных протоколов Modbus RTU/ASCII/TCP, OPC UA (Server), MQTT (client/broker), SNMP (Manager/Agent).
- Поддержка протоколов тепло- и электросчетчиков, возможность реализации нестандартных протоколов.

- Поддержка GSM/GPRS-модемов.
- Поддержка прикладных протоколов NTP, FTP, FTPS, HTTP, HTTPS, SSH, SMTP/IMAP/POP3, OpenVPN, WireGuard.
- Возможность подключения к СУБД MySQL и MsSQL.
- Встроенный Firewall.
- Поддержка Web-визуализации CODESYS.
- Web-интерфейс для настройки и диагностики контроллера.
- Простое подключение к OwenCloud.

*Эксплуатация в тяжелых условиях*

- Расширенный диапазон питающего напряжения: =10...48 В.
- Расширенный диапазон температуры окружающей среды: от -40°C до +55°C

*Области применения:*

- ЖКХ: ИТП, ЦТП.
- Энергетика.
- Автоматизация зданий.
- Деревообрабатывающая промышленность.
- Водоснабжение и водоотведение.
- Машиностроение и металлообработка.

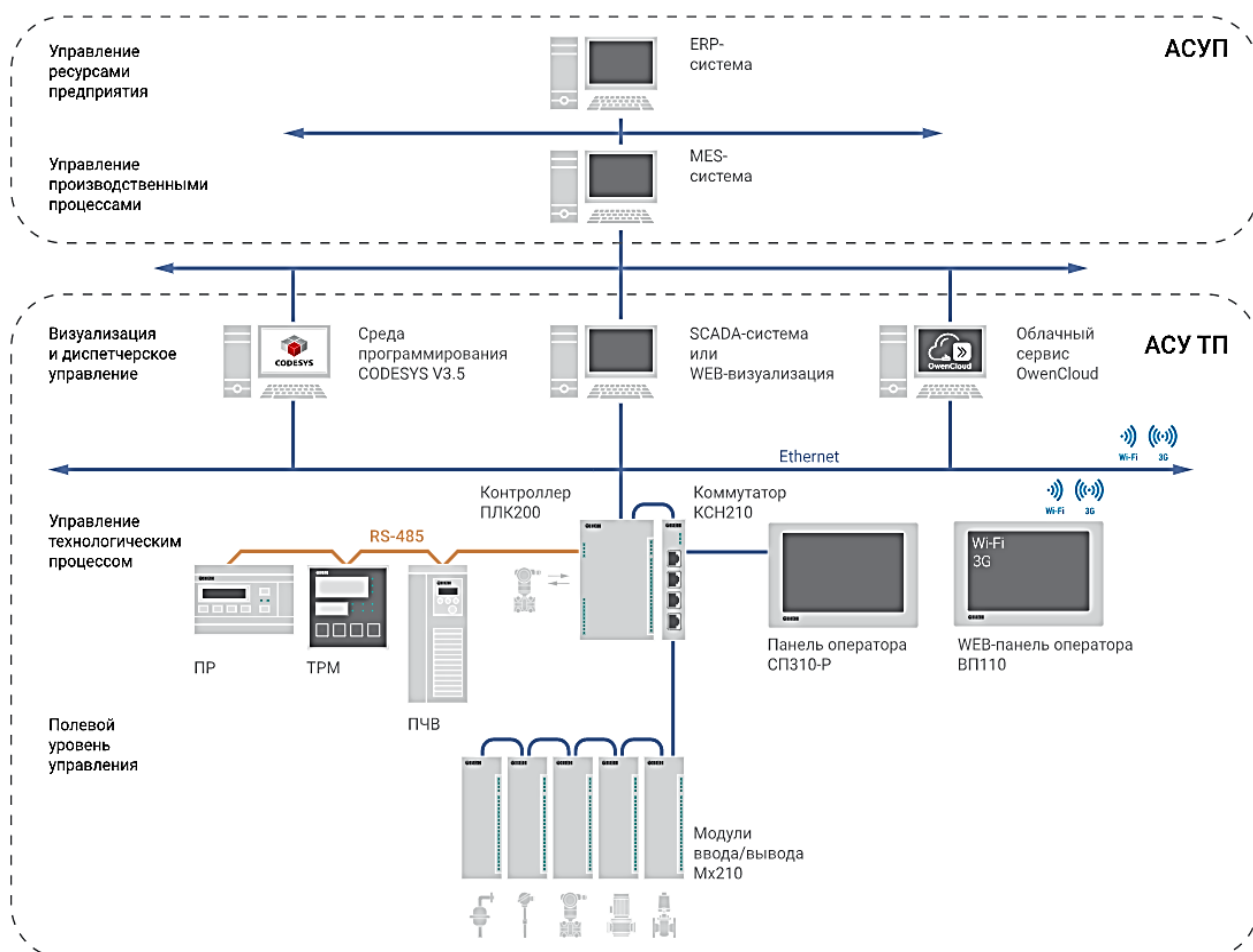


Рисунок 2. Схема применения

Современный ПЛК стал чрезвычайно востребованным универсальным рабочим инструментом в системах автоматизации производственных процессов, а также для управления отдельными устройствами различного назначения [6]. Это особый тип программируемых логических автоматов, отличающийся повышенной надежностью, легко встраиваемый и модернизируемый, способный длительное время работать практически без обслуживания. Рассмотрев ПЛК200, мы можем понять, что компания ОВЕН способна в полной мере обеспечить российские предприятия.

### **Список литературы:**

1. Рыбалев, А. Н., Усенко, В. И., Русинов, В. Л. Теория автоматического управления : учеб. пособие / А. Н. Рыбалев, В. И. Усенко, В. Л. Русинов. – 2010. – URL: [https://studopedia.net/12\\_88621\\_geotes-tipi-opit-ispolzovaniya.html](https://studopedia.net/12_88621_geotes-tipi-opit-ispolzovaniya.html) (дата обращения: 02.11.2022). – Текст : электронный.
2. Душин, С. Е., Зотов, Н. С., Имаев, Д. Х. Теория автоматического управления : учебник / С. Е. Душин, Н. С. Зотов, Д. Х. Имаев. – 2005. – URL: <https://obuchalka.org/2017092396595/teoriya-avtomaticheskogo-upravleniya-dushin-s-e-zotov-n-s-imaev-d-x-2005.html> (дата обращения: 03.11.2022). – Текст : электронный.
3. Жолобов, А. А. Технология автоматизированного производства : учебник / А. А. Жолобов. – 2000. – URL: <https://obuchalka.org/20210530132996/tehnologiya-avtomatizirovannogo-proizvodstv-jolobov-a-a-2000.html> (дата обращения: 04.11.2022). – Текст : электронный.
4. Липатов, М. С. Внедрение робототехнического контроля на котельных с целью их более эффективного функционирования / М. С. Липатов, Т. А. Ильяхунов // Дневник науки. – 2022. – № 3 (63). – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_48463552\\_85195596.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48463552_85195596.pdf) (дата обращения: 03.11.2022). – Текст : электронный.
5. Руководство пользователя ПЛК200 10.2022 версия 1.19: [сайт]. – URL <https://owen.ru> (дата обращения: 01.11.2022). – Текст : электронный.
6. Юревич, Е. И. Теория автоматического управления / Е. И. Юревич. – 2016. – URL: <http://list-of-lit.ru/avtomat/teoriya-avtomaticheskogo-upravleniya.htm> (дата обращения: 04.11.2022). – Текст : электронный.

© Герт С. А., 2022

## **МЕТОД ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ЦИФРОВЫХ ЭЛЕГАЗОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ**

студент **Абрамова Юлия Геннадьевна**,  
студент **Афанасьева Валентина Викторовна**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент  
**Гатауллин Айрат Мухамедович**,  
Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассмотрены методы частичных разрядов и их применение относительно диагностики высоковольтного электрооборудования цифровых элегазовых подстанций в соответствии с концепцией цифровой трансформации российской экономики. Более подробно описаны акустический, электромагнитный, электрический, совмещенный акустический и электромагнитный методы, а также их преимущества. Проведена аналогия между методами и выбран наиболее перспективный к использованию.

**Ключевые слова:** частичные разряды, метод частичных разрядов, диагностика изоляции высоковольтного электрооборудования, электромагнитное излучение, полимерные изоляторы.

## **PARTIAL DISCHARGE METHOD FOR DIAGNOSTICS OF HIGH- VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT AT DIGITAL GAS SUBSTATION**

Student **Abramova Julia Gennadevna**,  
Student **Afanasyeva Valentina Victorovna**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Gataullin Ayrat Mukhamedovich**,  
Kazan State Power Engineering University,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** The article discusses the method of partial discharges and its application regarding the diagnosis of high-voltage electrical equipment of digital gas substations, in accordance with the concept of digital transformation of the Russian economy. Acoustic, electromagnetic, electrical, combined acoustic and electromagnetic methods are described in more detail, as well as their advantages. An analogy is drawn between the methods and the most promising one is selected for use.

**Keywords:** partial discharges, partial discharge method, diagnostics of insulation of high-voltage electrical equipment, electromagnetic radiation, polymer insulators.

Аварии на крупных объектах энергетики влекут за собой социально-экономические и технические последствия. Из годовых отчетов ФСК ЕЭС за 2016-2018 гг. видно, что количество повреждений оборудования подстанций сохраняется на уровне 2017 года за счет неправильной работы релейной защиты и автоматизации, износа оборудования и дефектов изготовления [1, с. 2]. Анализ частичных разрядов является одним из наиболее надежных методов неразрушающего контроля изоляции, а также позволяет оценить срок службы высоковольтного оборудования.

Частичный разряд – это искровой разряд невысокой мощности, возникающий внутри изоляции за счет наличия неоднородностей, пустот, пузырьков газа в диэлектрическом слое, поверхностные разряды, коронные разряды. Основную информацию относительно состояния изоляции дают внутренние частичные разряды. Периодически повторяющееся локальное возникновение искровых пробоев разрушает диэлектрический слой. Системный оператор требует постоянного контроля изоляции цифровых элегазовых подстанций методом частичных разрядов в УВЧ диапазоне электромагнитного излучения. Рассмотрим причины таких требований.

Частичный разряд сопровождается следующими явлениями: появлением импульсного тока в цепях; электромагнитным излучением в окружающее пространство; разложением изолирующего слоя из-за воздействия тока; локальным нагревом изоляции; возникновением светового излучения; появлением ударных волн [2, с. 2]. Это определяет ряд методов регистрации частичных разрядов.

Электрический метод требует контакта объекта измерения с измерительным прибором, однако он позволяет проводить анализ без подачи повышенного напряжения и исключить помехи.

Электромагнитный метод предполагает использование антенн, которые отличаются частотным диапазоном и диаграммой направленности. Это позволяет записать более точно частичные разряды и выделить самые важные из них – внутренние. На сегодняшний день известно, что спектр внутренних разрядов проявляется на частотах более 400 МГц, а коронные разряды на данном диапазоне не заметны [3, с. 2].

Акустический метод основывается на использовании сверхчувствительных микрофонов, которые улавливают звуковые частоты выше порога слышимости. Онлайн-анализ не требует изоляция объекта и источника питания. Исследование радиочастотных помех позволяет определить местоположение частичных зарядов в коммутационном устройстве, получаемый сигнал может быть уточнен наложением и сравнения с фоновой сигнатурой, записанной за пределами разделительного устройства на частоте от 50 кГц до 1 МГц [4, с. 2].

Для увеличения чувствительности возможно совмещение акустического и электромагнитного способов. Осуществляется прием одновременно электромагнитного и акустического излучений, индикация и совместная компьютерная обработка сигналов, которую осуществляют путем определения в каждом из дискретных интервалов фазового напряжения средних значений и

интенсивности импульсов реального заряда. Изначально оба приемника предварительно градуируют по чувствительности с учетом расстояния от источника измерения, затем для каждого типа полимерных изоляторов контактным способом определяют предельные значения, далее регистрируют данные сигналы излучения от частичных разрядов, синхронизированные с фазой высокого напряжения, накапливают их по узким фазовым интервалам, это фазовое распределение числа импульсов и интенсивности сравнивают с ранее записанным распределением аналогичных сигналов для эталонного полимерного изолятора, выделяют сигналы, превышающие уровень, безопасный для нормального функционирования полимерных изоляторов [5, с. 3].

Поскольку на элегазовых подстанциях имеется большое количество электрооборудования, применять метод частичных разрядов затруднительно, нужно различать сигналы различных источников друг от друга. На цифровых элегазовых подстанциях предпочтительно регистрировать частичные разряды в УВЧ диапазоне по причине наличия широкого ряда антенн и большого соотношения сигнал-шум.

### **Список литературы:**

1. Федеральная Сетевая Компания Единой Энергетической Системы. Правила предотвращения и ликвидация последствий аварий на электросетевых объектах ПАО «ФСК ЕЭС»: [сайт]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293734/4293734419.pdf> – (дата обращения: 10.11.2022). – Текст : электронный.
2. БО-ЭНЕРГО системы мониторинга. Частичные разряды в изоляции: [сайт]. – URL: <https://www.bo-energo.ru/press-center/articles-and-publications/chastichnye-razryady/> (дата обращения: 10.11.2022). – Текст : электронный.
3. Методы обнаружения частичных разрядов. [сайт]. – URL: [https://studwood.net/1601852/tehnika/metody\\_obnaruzheniya\\_chastichnyh\\_razryado\\_v\\_energetike](https://studwood.net/1601852/tehnika/metody_obnaruzheniya_chastichnyh_razryado_v_energetike) (дата обращения: 10.11.2022). – Текст : электронный.
4. Голенищев-Кутузов, В. А., Голенищев-Кутузов, А. В., Евдокимов, Л. И., Черномашенцев, А. Ю. Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных полимерных изоляторов / В. А. Голенищев-Кутузов, А. В. Голенищев-Кутузов, Л. И. Евдокимов, А. Ю. Черномашенцев. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_37510954\\_73517129.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_37510954_73517129.pdf) (дата обращения: 10.11.2022). – Текст : электронный.
5. Толкачев, Я. М., Авакян, М. К., Тютин, Д. А., Толкачев, В. М., Пожидаев, Н. К. Анализ частичных разрядов на месте в различных высоковольтных аппаратах / Я. М. Толкачев, М. К. Авакян, Д. А. Тютин, В. М. Толкачев, Н. К. Пожидаев. – Текст: непосредственный // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – Вып. 9. – 539 с.

© Абрамова Ю. Г., Афанасьева В. В., 2022

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ДИФРАКЦИИ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ГРАФЕНОВОМ ЦИЛИНДРЕ  
НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ C++**

студент **Михайлов Максим Александрович**,  
студент **Черных Владимир Дмитриевич**,  
науч. руководитель: доктор ф.-м. наук, профессор  
**Лерер Александр Михайлович**,  
Южный федеральный университет,  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе рассмотрено программное обеспечение, позволяющее произвести расчет диаграммы направленности на графеновом цилиндре. Для реализации была решена краевая задача методом Фурье. Далее разработан алгоритм на языке программирования C++ в среде Microsoft Visual Studio 2022.

**Ключевые слова:** дифракция, метод Фурье, графен, программирование, плазмон.

**SOFTWARE FOR CALCULATION OF ELECTROMAGNETIC  
WAVE DIFFRACTION ON GRAPHENE CYLINDER  
IN C++ PROGRAMMING LANGUAGE**

Student **Mikhailov Maksim Aleksandrovich**,  
Student **Chernykh Vladimir Dmitrievich**,  
Academic Advisor: Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Professor **Lerer Alexander Mikhailovich**,  
Southern Federal University,  
Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** The paper considers the software, which allows to calculate the directional diagram on the graphene cylinder. For the implementation, the boundary value problem was solved by the Fourier method. Then the algorithm was developed in the programming language C++ in the environment of Microsoft Visual Studio 2022.

**Keywords:** diffraction, Fourier method, graphene, programming, plasmon.

На сегодняшний день графен является популярным материалом, используемым в электронике. На основе данного вещества можно произвести множество промышленных разработок. Данный химический элемент, известный как графен, был открыт в 2004 году в Манчестерском университете учеными российского происхождения Андреем Геймом и Константином Новосёловым, после чего сразу результаты работы, а именно получение монослоя углерода на подложке окисленного кремния, были опубликованы в журнале Science [1].

Разработка программного обеспечения для рассмотрения дифракции на графене носит научно-исследовательский интерес, который в дальнейшем позволит совершить прорыв в некоторых областях электроники и схемотехники.

По своей структуре графен – это не что иное, как двумерная аллотропная модификация углерода. Атомы углерода в графене соединены  $sp^2$  – связями в гексагональную двумерную 2D-решетку [2; 1]. Стоит отметить, что в силу своих уникальных механических, электронных и оптических свойств графен является перспективной основой для создания нанoeлектронных устройств [3; 1]. Также данный материал используется себя в создании солнечных батарей [4; 1].

Цель данной работы разработать программное обеспечение, позволяющее производить расчет диаграммы рассеяния на графеновом цилиндре.

Для реализации данной цели поставлены следующие задачи:

1. Решить краевую задачу дифракции на графеновом цилиндре методом разделения переменных.

2. Реализовать полученные формулы в среде программирования Microsoft Visual Studio на языке программирования C++.

3. Сделать выводы по полученным результатам.

В качестве рассматриваемой модели взят цилиндр с бесконечной длиной. Это действие ввелось лишь для упрощения расчетов физической модели.

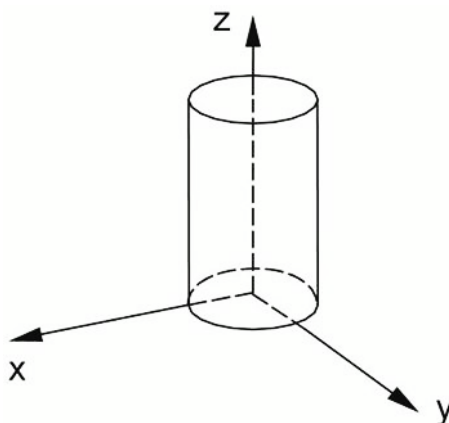


Рисунок 1. Цилиндр с бесконечной длиной

Так как решение задачи зависит от поляризации, то будет рассмотрена Н поляризация ( $\mathbf{H} = (0, 0, H_z)$ ,  $\mathbf{E} = (E_r, E_\varphi, 0)$ ).

Немаловажным этапом в решении задачи – это решение уравнения Геймгольца в цилиндрических координатах:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} + k^2 U = 0. \quad (1)$$

Граничное условие у данного уравнения является следующим:

$$\mathbf{j} = \sigma \cdot \mathbf{E}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – поверхностная проводимость цилиндра.



Согласно методу Фурье, решение данного уравнения запишется в виде сложной функции:

$$U(r, \varphi) = -\sqrt{\frac{2}{\pi r}} \cdot e^{i(\frac{\pi}{4}-kr)} \cdot \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \frac{(i^m (J_m(ka) + i\frac{Z_0 \cdot \sigma}{2} (J_{m+1}(ka) - J_{m-1}(ka))))}{H_m^{(2)}(ka) + i \cdot \frac{\sigma Z_0}{k} \cdot \left. \frac{\partial H_m^{(2)}(kr)}{\partial r} \right|_{r=a}} \cdot e^{im(\varphi + \frac{\pi}{2})}, \quad (3)$$

- где  $J_m$  – функция Бесселя первого порядка;  
 $H_m^{(2)}$  – функции Бесселя второго порядка;  
 $k$  – волновой вектор;  
 $\sigma$  – поверхностная проводимость цилиндра;  
 $a$  – радиус цилиндра;  
 $r$  – расстояние от поверхности цилиндра.

Приведем графики, показывающие диаграмму рассеяния (ДР), полученные путем написания программы на языке C++ в среде программирования Visual Studio 2022. Реализация заключается в программировании формулы (3), используя библиотеку комплексных чисел “complex”. В качестве графического интерфейса использовалась библиотека “OpenGL”.

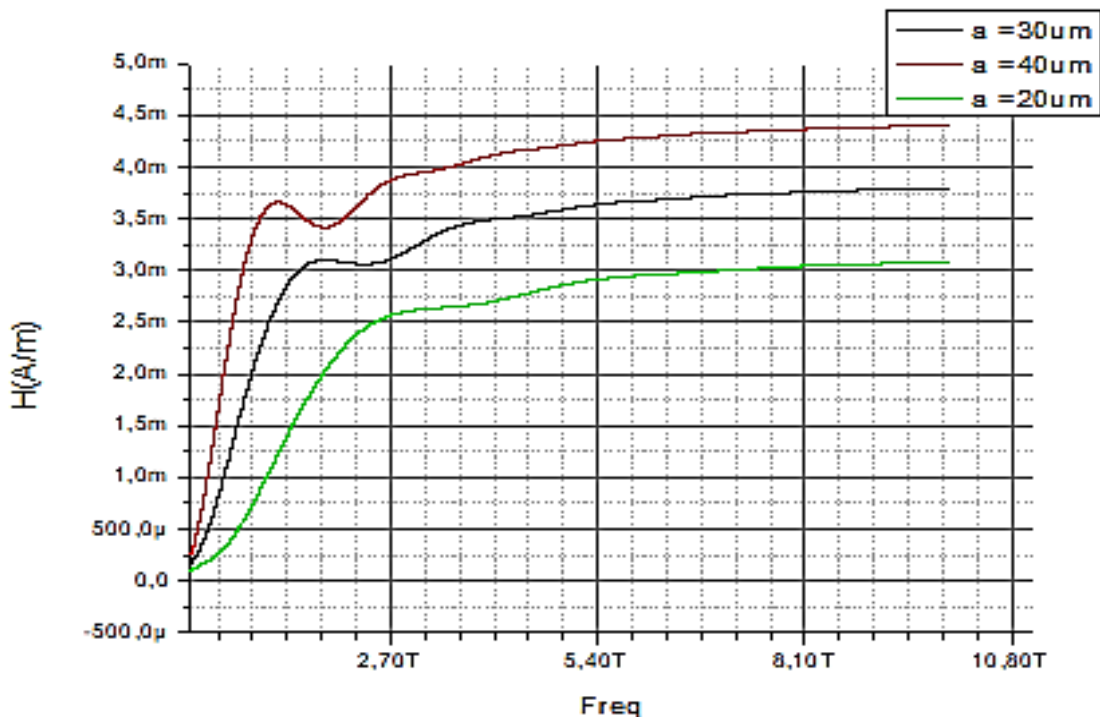


Рисунок 2. ДР при различных радиусах на графеновом цилиндре при  $\tau = 1$  пс,  $\mu = 0.25$  эВ

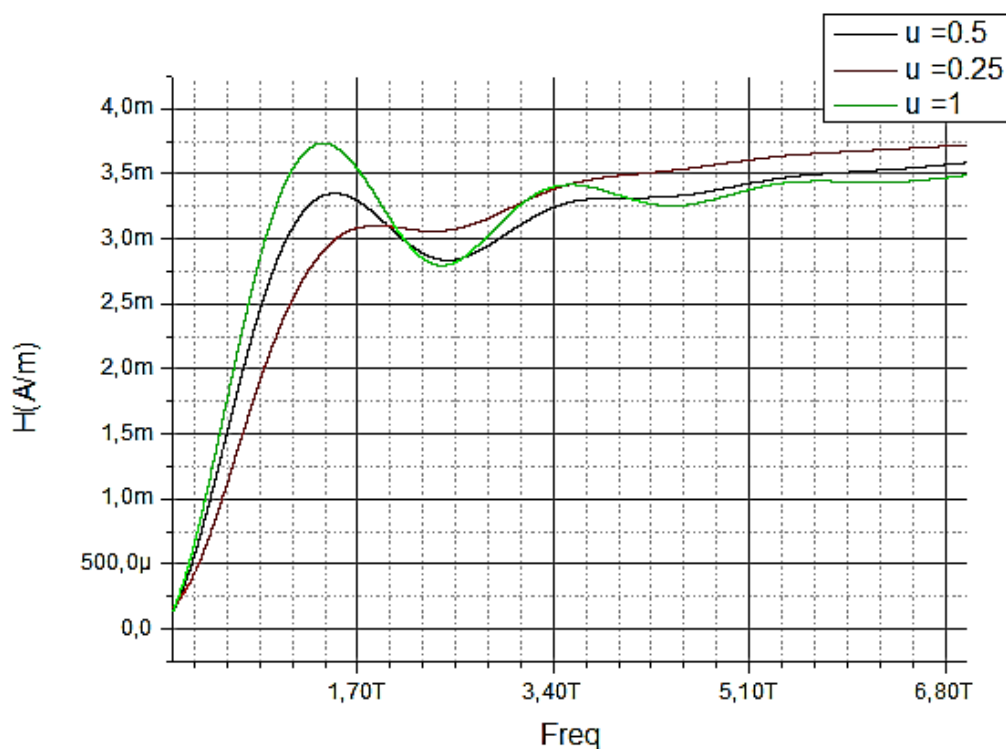


Рисунок 3. ДР на графеновом цилиндре при варьировании хим. потенциала при  $a = 30$  мкм,  $\tau = 1$  пс

Рисунок 3 показывает, как химический потенциал  $\mu$  влияет на появление резонанса. Заметно, что при значении порядка 1 эВ возникает сильный пик, относительно кривых с другим значением  $\mu$ .

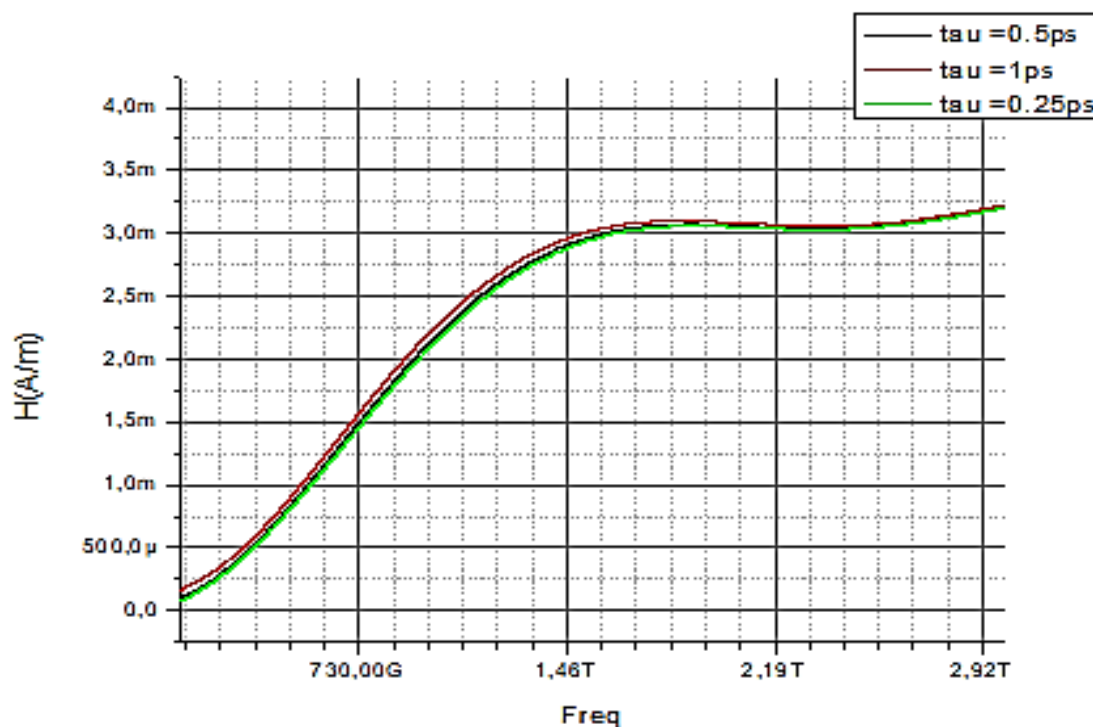


Рисунок 4. ДР на графеновом цилиндре при варьировании  $\tau$ . При  $a = 30$  мкм,  $\mu = 0.25$  эВ

Данный график (рисунок 4) демонстрирует то, что коэффициент  $\tau$  не сильно изменяет ДР вперед, но при  $\tau = 1$  немного больше других кривых.

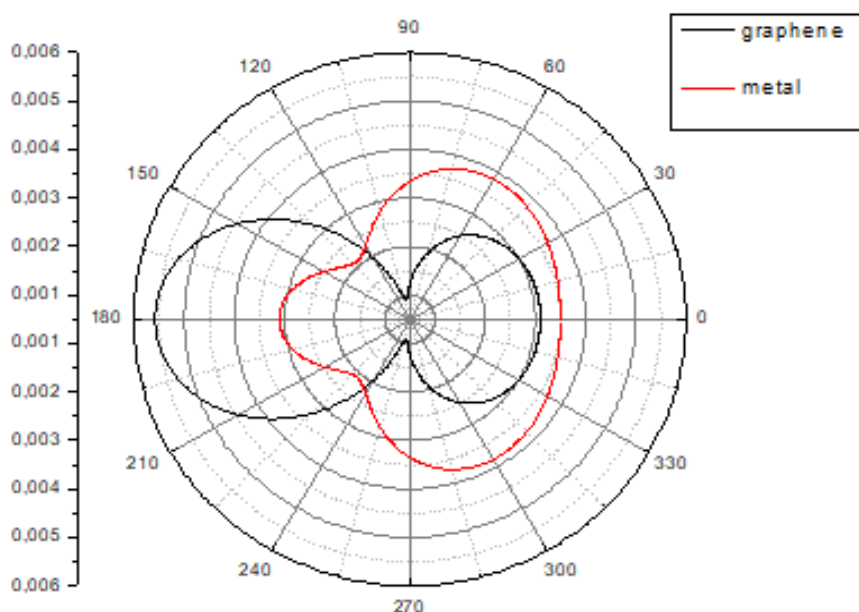


Рисунок 5. ДР на графеновом и металлическом цилиндрах  $a = 30$  мкм при частоте резонанса 1.8 ТГц

Из рисунка 5 видно, что диаграмма рассеяния на графеновом цилиндре значительно отличается от ДР на металлическом цилиндре при частоте резонанса  $f = 1.8$  ТГц, радиусу  $a = 30$  мкм, химическом потенциале  $\mu = 0.25$  эВ, периоду релаксации  $\tau = 1$  пс. На металлическом цилиндре при частоте 1.8 ТГц ДР имеет форму, похожую на овал, но с небольшим максимумом вперед, это возникает из-за того, что длина падающей волны незначительно меньше длины окружности цилиндра. А вот на высоких частотах вдоль окружности рассеивающего цилиндра укладывается много длин волн, поэтому диаграммы рассеянного поля на металле становятся узкими и сильно вытянутыми влево.

С графеновым цилиндром ситуация уже другая, ДР имеет выпуклость влево, намного большую, чем вправо, что говорит о том, что в областях резонанса наблюдаются поверхностные плазмонные резонансы.

Таким образом, методом разделения переменных решена краевая задача дифракции плоской электромагнитной волны на графеновом цилиндре. Разработанный алгоритм численно реализован на языке C++ в среде Microsoft Visual Studio 2022. Программное обеспечение реализовано, цель достигнута, задачи решены. Обнаружены плазмонные резонансы.

Для получения графена перспективным считается метод получения графена (в основном, многослойного) из многослойных углеродных нанотрубок путем их раскрытия теми или иными методами [5].

Показано, что длина волны поверхностных плазмон – поляритонов. Исследованы зависимости диаграммы рассеяния от размеров цилиндра и свойств графена.

### Список литературы:

1. Дияковская, А. В., Телекова, Л. Р. Графен: свойства, получение, перспективы применения А. В. Дияковская, Л. Р. Телекова. – Текст : электронный // Достижения науки и образования. – 2018. – № 11 (33). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/grafen-svoystva-poluchenie-perspektivy-primeneniya> (дата обращения: 27.11.2022).
2. Чуланов, Д. М. Возможности использования графена Д. М. Чуланов. – Текст : электронный // Научный журнал. – 2020. – №7 (52). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-ispolzovaniya-grafena> (дата обращения: 27.11.2022).
3. Квашнин, Д. Г., Сорокин, П. Б., Квашнина, О. П., Сорокина, Т. П., Чернозатонский, Л. А. Исследование новых углеродных наноструктур на основе двухслойного графена с периодически расположенными дырками / Д. Г. Квашнин, П. Б. Сорокин, О. П. Квашнина, Т. П. Сорокина, Л. А. Чернозатонский – Текст : электронный // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2014. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-novyh-uglerodnyh-nanostruktur-na-osnove-dvuh-sloynogo-grafena-s-periodicheski-raspolozhennymi-dyrkami> (дата обращения: 27.11.2022).
4. Хворова, Н. М. Строительные материалы будущего: графен / Н. М. Хворова. – Текст : электронный // МНИЖ. – 2016. – №1-2 (43). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stroitelnye-materialy-buduschego-grafen> (дата обращения: 27.11.2022).
5. Губин, С. П., Ткачѳв, С. В. Графен и материалы на его основе / С. П. Губин, С. В. Ткачѳв. – Текст : электронный // РЭНСИТ. – 2010. – №1-2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/grafen-i-materialy-na-ego-osnove> (дата обращения: 28.11.2022).

© Михайлов М. А., Черных В. Д., 2022

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАТЧИКОВ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ

студент **Васюхно Никита Сергеевич**,  
науч. руководитель: ассистент **Ершов Кирилл Константинович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассматриваются датчики угловых перемещений с электрическим выходным сигналом. Проводится сравнение тахогенератора, резольвера и энкодеров различных типов. Сделаны выводы о наиболее подходящих датчиках для различных промышленных объектов.

**Ключевые слова:** тахогенератор, резольвер, инкрементальный энкодер, абсолютный энкодер, электропривод, датчики угловых перемещений.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF SPEED SENSORS

Student **Vasyukhno Nikita Sergeevich**,  
Academic Advisor: Assistant **Ershov Kirill Konstantinovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The article deals with sensors of angular displacement with an electrical output signal. A comparison of the tachogenerator, resolver and encoders of various types is carried out. Conclusions are made about the most suitable sensors for various industrial facilities.

**Keywords:** tachogenerator, resolver, incremental encoder, absolute encoder, electric drive, angular displacement sensors.

В современном мире измерения занимают не малую роль в науке и промышленности: каждую секунду проводятся миллиарды измерительных операций, в основном предназначенных для обеспечения требуемого технического уровня и качества продукции. Для измерения обычно используются датчики, отвечающие за выработку сигналов измерительной информации, ее передачу, дальнейшее преобразования и обработку электронным блоком управления и некоторыми другими устройства. А при работе в области электроприводов часто требуется знать актуальную (реальную) частоту вращения вала электродвигателя. Выбрать нужный датчик достаточно трудная задача, если не знать всех особенностей, поэтому будем разбираться.

Есть четыре основных датчиков угловых перемещений: тахогенератор, резольвер, инкрементальный энкодер, абсолютный энкодер. Рассмотрим каждый из них по отдельности.

Тахогенератор представляет собой измерительную электрическую микромашину переменного или постоянного тока, которая монтируется на вал оборудования, и преобразует текущее значение частоты вращения вала в электрический сигнал, определенный параметр которого несет информацию о частоте вращения [1, с. 177].

Таким параметром может выступать величина генерируемой ЭДС или значение частоты сигнала. Выходной сигнал с тахогенератора может подаваться на средство визуального отображения (например, на дисплей) или на устройство автоматического управления частотой вращения вала, на котором работает данный тахогенератор.

Тахогенераторы бывают нескольких типов в зависимости от вида сигнала, генерируемого на выходе:

1. Тахогенератор постоянного тока.

Тахогенератор постоянного тока представляет собой коллекторную машину с возбуждением либо от постоянных магнитов (встречаются чаще), либо от обмотки возбуждения (встречаются реже), располагаемых на ее статоре.

2. Асинхронный тахогенератор переменного тока.

Асинхронные тахогенераторы переменного тока похожи по устройству на асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором.

3. Синхронный тахогенератор переменного тока.

Синхронные тахогенераторы представляют собой бесколлекторные машины переменного тока.

Достоинство тахогенераторов заключается в том, что они не требуют никаких дополнительных источников питания. К недостаткам традиционных тахогенераторов машинного типа относятся: плохая чувствительность на низких скоростях и вносимый тормозящий момент, габариты, необходимость периодического технического обслуживания.

Резольвер – это электромагнитный преобразователь, который может использоваться в качестве обратной связи по скорости или положению в самых разнообразных устройствах, которые эксплуатируются в нормальных условиях / (сервоустройствах), легких промышленных условиях или в тяжелых условиях эксплуатации. Из-за своей простой конструкции трансформатора и отсутствия какой-либо встроенной электроники прибор является гораздо более надежным устройством, чем большинство других устройств обратной связи [2, с. 36].

В качестве сигнала резольвер на выходе выдает напряжения, по форме и частоте соответствующие зеленому и синему сигналам (рисунок 1), а по амплитуде и фазе сигнала имеют зависимость от угла положения ротора. Порядок синусных и косинусных волновых импульсов аналогового напряжения дают возможность узнать абсолютное положение вала в рамках одного оборота в промежутке между 0 и 360 градусами для однопаралюсных резольверов. Используя полученную информацию, возможно получить параметры направления, углового положения и скорости перемещения.

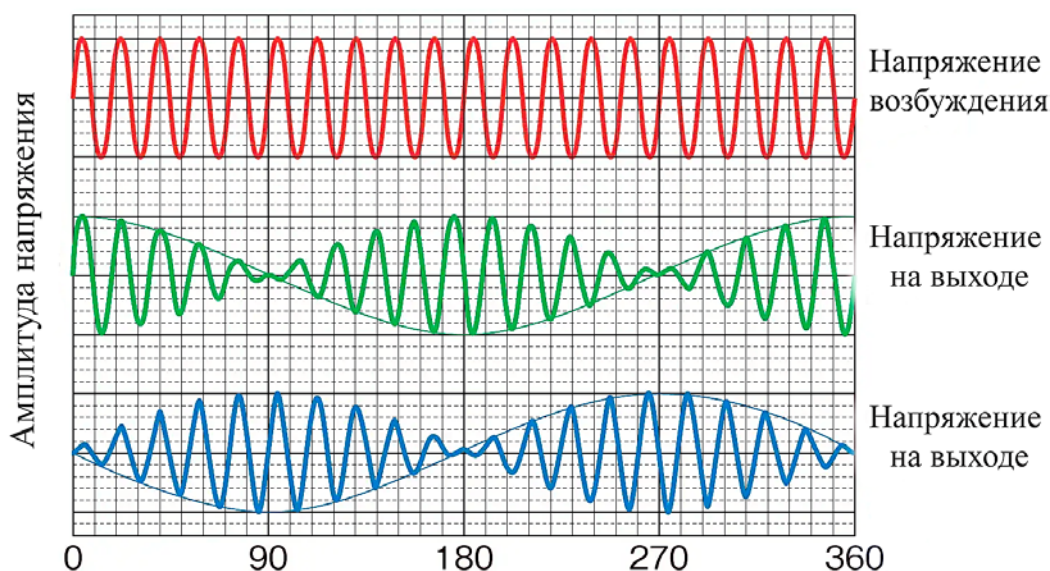


Рисунок 1. Выходное напряжение резольвера

Поскольку резольвер является аналоговым устройством, а электрические выходы непрерывны в течение полного механического оборота, теоретическое разрешение односкоростного резольвера равно бесконечности.

В корпус резольвера не монтируют электронику, так как получаемый от выходных обмоток резольвера уровень и качество сигналов достаточны для их надежного дистанционного приема и обработки. Это является одним из основных преимуществ резольверов, так как позволяют расширить температурный диапазон их применения по сравнению с фотоимпульсными датчиками, где есть встроенная электроника. Но при этом эта сложная электроника потребуется в дальнейшем для формирования и фильтрации высокочастотных синусоиды и выходного сигнала [3].

Достоинства резольвера:

- Лучше подходит для работы в тяжелых условиях, обладая большей устойчивостью к вибрациям и ударным нагрузкам, чем энкодер.
- Устойчивость к электрическим помехам.
- Выдерживает более высокую температуру, чем энкодер, благодаря отсутствию твердотельной электроники.
- Более долговечен.

Недостатки резольвера:

- Сложная интеграция: система управления должна быть правильно настроена для обработки сигналов с резольвера.
- Дороже, чем энкодер.
- Снижение точности при быстром изменении скорости.
- Точность в пределах 3-х угловых минут.

Энкодеры используются для преобразования линейного или вращательного движения в двоичный цифровой сигнал. Энкодер представляет собой устройство, вал которого соединяется с вращающимся валом исследуемого объекта, и обеспечивает электронный контроль угла поворота последнего.

Инкрементальный энкодер формирует импульсы, количество которых соответствует повороту вала на определенный угол. Этот тип энкодеров, в отличие от абсолютных, не формирует код положения вала, когда вал находится в покое. Он связан со счетным устройством, это необходимо для подсчета импульсов и преобразования их в меру перемещения вала.

Инкрементальный энкодер состоит из следующих компонентов: источника света, диска с метками, фототранзисторной сборки и схемы обработки сигнала. Диск пошагового энкодера разделен на точно позиционированные отметки. Количество отметок определяет количество импульсов за один оборот. К примеру, если диск поделен на 1000 меток, тогда за 250 импульсов вал должен повернуться на 90 градусов.

Абсолютный энкодер – это датчик углового положения, который выдает информацию о положении в виде многоразрядного цифрового кода. Каждый код является уникальным в пределах диапазона измеряемых угловых положений. Благодаря этому абсолютные энкодеры могут сразу же после включения питания выдавать действительную информацию о положении, без необходимости перемещения в начальное положение и поиска нулевой (индексной) метки, как это происходит у инкрементальных энкодеров.

Измерительная система абсолютного оптического энкодера состоит из следующих основных компонентов:

- поворотный вал, смонтированный на двух подшипниках;
- кодовый оптический диск, установленный на вал;
- инфракрасный светодиод (в качестве источника света);
- оптоэлектронная (фототранзисторная) считывающая матрица;
- схема обработки сигнала;
- в многооборотном энкодере дополнительно встраивается редуктор из нескольких кодовых оптических дисков со светодиодами и считывающими матрицами для каждого из них.

Инфракрасные лучи светодиода просвечивают кодовый диск и попадают на фототранзисторную считывающую матрицу, расположенную с обратной стороны кодового диска. При каждом шаге углового положения кодового диска темные его участки предотвращают попадание света на те или иные фототранзисторы считывающей матрицы преобразующей световые сигналы в электрические. Электрические сигналы, в свою очередь, преобразуются электроникой энкодера в двоичный код.

Энкодеры, выпускаемые в настоящее время, могут работать, используя различные физические принципы. Основные из них – это оптический, в котором для получения информации о положении используются изменения пучков света; магнитный, в котором работа производится с изменениями магнитного поля; и емкостной – в этом случае для определения положения используются изменения электрического поля [4]. Каждый из этих принципов может быть реализован различными способами:

- Оптические



Оптические энкодеры для работы используют изменение световых пучков, происходящее при вращении кодового диска, с которым эти световые пучки взаимодействуют. Оптические энкодеры строятся по двум основным схемам: пропускательной и отражательной. В пропускательной схеме световые пучки проходят через прорезы в непрозрачном кодовом диске, после чего попадают на фотоприемники (рисунок 2).

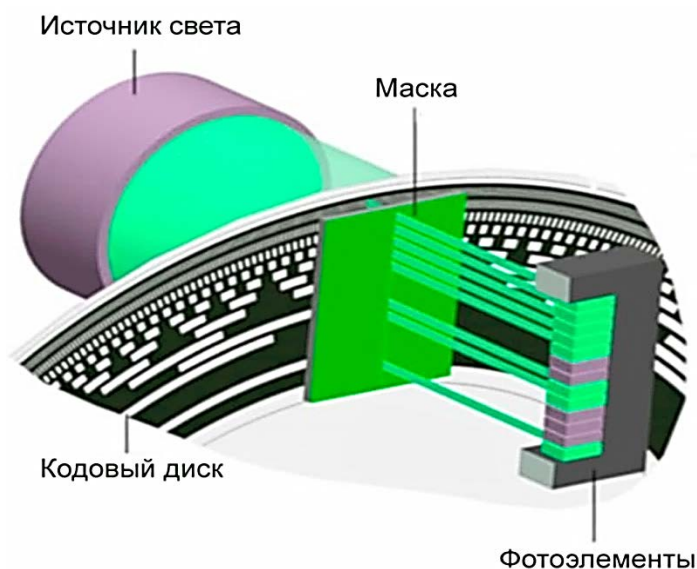


Рисунок 2. Конструкция оптического энкодера

В отражательной схеме на кодовом диске чередуются рассеивающие и зеркальные участки. Свет, отражающийся от зеркальных участков, попадает в фотоприемники.

– Магнитные

Все магнитные энкодеры используют для работы изменения магнитного поля, происходящие в результате вращения кодового диска. Отличия между разновидностями магнитных энкодеров заключаются в способах измерения этих изменений. Чаще других можно встретить магнитные энкодеры следующих видов:

Индуктивные – изменения магнитного поля оцениваются по изменению взаимной индуктивности обмоток, расположенных на вращающейся и неподвижной части энкодера.

На датчиках Холла – для оценки изменения магнитного поля используются датчики на эффекте Холла.

Магниторезистивные – в качестве чувствительного элемента этих датчиков используются материалы, изменяющие свое сопротивление в магнитном поле.

– Емкостные

Принцип работы основан на оценке изменений электрического поля, происходящих при вращении кодового диска специальной формы. Изменение электрического поля оценивается по изменению емкости конденсаторов,

образованных обкладками на неподвижной части энкодера и вращающимся кодовым диском.

Емкостные энкодеры являются лучшей альтернативой магнитным и оптическим: низкая стоимость, хорошая точность, не подвержены влиянию грязи, пыли и электромагнитных помех. Но из-за того, что данный тип энкодеров относительно новый, их трудно найти по причине малого производства [5].

Оптические энкодеры обеспечивают высокое разрешение и являются наиболее точными. Они достаточно устойчивы к электромагнитным помехам, но подвержены загрязнению.

Магнитные энкодеры компактны и недороги. Они подвержены воздействию электромагнитных помех, если не экранированы должным образом. Разрешение хорошее. Точность зависит от производителя. Соотношение сигнал/шум может снизить полезное разрешение.

Емкостные энкодеры имеют низкую стоимость и не подвержены влиянию грязи, пыли и электромагнитных помех, точность хорошая.

Многооборотные абсолютные энкодеры полезны, когда необходимо постоянно отслеживать положение нагрузки, даже при отключении электрического питания от системы. Для удобства сравнения относительные характеристики различных датчиков угловых перемещений приведены в таблице 1, где 1-4 – места, распределяемые среди рассматриваемых датчиков.

Таблица – Сравнение датчиков скорости

Тип датчика	Стоимость	Точность	Массогабаритные характеристики	Интерфейс подключения	Особенности ввода в эксплуатацию	Измерение абсолютного положения
Тахогенератор	1	4	4	Аналоговый сигнал	Требуется аналого-цифровой преобразователь	Нет
Резольвер	4	3	3	Аналоговый сигнал	Требуется аналого-цифровой преобразователь	Да
Инкрементальный энкодер	2	2	1	Цифровой сигнал	Для получения максимальной точности нужен высокоскоростной счетчик	Нет
Абсолютный энкодер	3	1	2	Цифровой сигнал	Для получения максимальной точности нужен высокоскоростной счетчик	Да

Наиболее оптимальный датчик подбирается индивидуально в зависимости от технико-экономических требований, но в общем случае можно сделать следующие выводы.

Тахогенератор является самым дешевым, но при этом он также отстает по массогабаритным характеристикам, точности, для ввода в эксплуатацию

требуется аналого-цифровой преобразователь и нет возможности измерения абсолютного положения, но несмотря на это, его используют в станках, подъемно-транспортных системах и т. п.

Инкрементальный энкодер стоит дороже тахогенератора, но дешевле остальных конкурентов, при том он не требует дополнительных преобразователей, потому что обладает цифровым выходом, и является самым малогабаритным. Что касается абсолютного положения, ничего не изменилось по сравнению с тахогенератором – не измеряется. Сферы применения такого типа энкодеров: лифты, координатные столы, станочное оборудование.

Абсолютный энкодер практически самый дорогой, но также он самый точный, практически самый легкий и маленький, при этом он обладает функцией измерения абсолютного положения, и нет никаких трудностей ввода в эксплуатацию – выход цифровой. Абсолютный энкодер, благодаря своей точности, используется в робототехнике, в протезах и экзоскелетах.

Резольвер – самый дорогостоящий претендент, но при этом он уступает энкодерам в точности и массогабаритных параметрах, а также в необходимости аналого-цифрового преобразователя. Обычно резольверы используют в условиях, при которых конкуренты будут испытывать трудности, если будут работать вообще: сервомоторы, заводская автоматизация, сталелитейные и бумажные фабрики, производство нефти и газа.

### **Список литературы:**

1. Копылов, И. П. Электрические машины : учебник для вузов / И. П. Копылов. – Москва : Издательство «Энергоатомиздат», 1986. – 360 с. – Текст : непосредственный.
2. Виглеб, Г. Датчики. Устройство и применение / Г. Виглеб. – Москва : Издательство «Мир», 1989. – 196 с. – Текст : непосредственный.
3. Резольверы и энкодеры – в чем разница: [сайт]. – 2022. – URL: <http://www.drivesandautomation.co.uk/useful-information/resolvers-encoders-whats-difference/> (дата обращения: 18.11.2022). – Текст : электронный.
4. Назначение и виды энкодеров: [сайт]. – 2022. – URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/enkodery/> (дата обращения: 19.11.2022). – Текст : электронный.
5. Сравнение технологий кодирования: [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.machinedesign.com/motion-system-design/article/21133952/comparing-encoder-technologies> (дата обращения: 20.11.2022). – Текст : электронный.

© Васюхно Н. С., Ершов К. К., 2022

## АНАЛИЗ РЫНКА НИЗКОВОЛЬТНОЙ АППАРАТУРЫ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

канд. экон. наук, доцент **Головин Артем Алексеевич**,  
студент **Голубничий Кирилл Михайлович**,  
Юго-Западный государственный университет,  
г. Курск, Российская Федерация

**Аннотация.** В исследовании рассматривается ситуация на рынке низковольтной аппаратуры, сложившаяся в связи с уходом крупных импортных производителей. В ходе проведенного анализа определены проблемы импортозамещения, а также предложены пути развития отечественных компаний, производящих электрооборудование, в том числе на смежных рынках. В качестве предложений по импортозамещению намечены направления производства низковольтной аппаратуры по пути от простого к сложному. Выявлено, что отечественная промышленность обладает достаточным потенциалом для укрепления своих позиций на внутреннем рынке.

**Ключевые слова:** рынок, низковольтная аппаратура, импортозамещение, автоматизация, маркетинг.

## ANALYSIS OF THE MARKET OF LOW-VOLTAGE EQUIPMENT UNDER THE CONDITIONS OF IMPORT SUBSTITUTION

PhD in Economics, Associate Professor **Golovin Artem Alekseevich**,  
Student **Golubnichiy Kirill Mikhailovich**,  
The Southwest State University,  
Kursk, Russian Federation

**Abstract.** The study considers the situation in the market of low-voltage equipment that has developed in connection with the departure of large import manufacturers. In the course of the analysis, the problems of import substitution were identified, and ways for the development of domestic companies producing electrical equipment, including in related markets, were proposed. As proposals for import substitution, directions for the production of low-voltage equipment are outlined, along the path from simple to complex. It was revealed that the domestic industry has sufficient potential to strengthen its position in the domestic market.

**Keywords:** market, low-voltage equipment, import substitution, automation, marketing.

*Введение.* Производство низковольтной аппаратуры имеет высокое значение для всех остальных направлений промышленности, а также для строительной и транспортной отраслей. Электрооборудование, как и само электричество, применяется повсеместно, и современная жизнь без него

невозможна, именно поэтому тут крайне важна независимость от импорта. Рынок низковольтной аппаратуры (далее – НВА) уже на протяжении долгих лет имеет достаточно устоявшуюся структуру, в которой отечественные компании выступают в роли догоняющего, и могут рассчитывать максимум на средний ценовой сегмент. Первые предпосылки к изменениям появились в 2014 году с началом программ по импортозамещению, особенно сильно на это повлияло формирование Минпромторгом «Реестра промышленной продукции, произведенной на территории Российской Федерации» [1]. До 2014 года подавляющее большинство отечественных компаний, занимающихся производством электрооборудования, формировало свою ассортиментную матрицу на базе продукции изготавливаемой иностранными OEM-поставщиками (OEM – компания, которая производит детали и оборудование, которые могут быть проданы другим производителям под другой торговой маркой), зачастую в Юго-Восточной Азии, это позволяло успешно работать в низком ценовом сегменте, так как по качеству и функционалу конкурировать с европейскими производителями среднего и высокого ценового сегмента данная продукция не могла.

Однако, несмотря на импульс, который получила отрасль на фоне локализации производства основных продуктов компаний (зачастую это касалось только автоматических выключателей) рост объемов промышленного производства в области электрооборудования начал замедляться к 2021 году. По данным Росстата, рост объема отгруженных товаров собственного производства в сегменте электрооборудования с 2017 по 2021 год составил порядка 10 %. Львиную долю из этого занимает не относящееся к НВА производство бытовых приборов, которое выросло на 30 %. Суммарный объем роста собственного производства по всем направлениям промышленности составил более 20 % [2].

В начале 2022 года в связи со сложившейся политической обстановкой большинство крупных иностранных компаний покинуло российский рынок. Несмотря на это, объем отгрузок за март по отношению к прошлому году упал на 10 %. Во многом это связано с логистическими проблемами, которые включают в себя как увеличение сроков поставок, так и полную невозможность приобретения комплектующих. Однако сложившаяся ситуация должна положительно отразиться на росте отечественного производства [3].

*Цель исследования.* Целью исследования является анализ рынка низковольтной аппаратуры и оценка перспектив его развития в условиях импортозамещения.

Достижение цели исследования потребовало решения следующих задач:

- определить состояние рынка низковольтной аппаратуры;
- выявить проблемы импортозамещения в производстве низковольтной аппаратуры;
- определить направления импортозамещения в производстве низковольтной аппаратуры.

Объектом исследования являются хозяйственно-экономические отношения, определяющие процесс импортозамещения в производстве

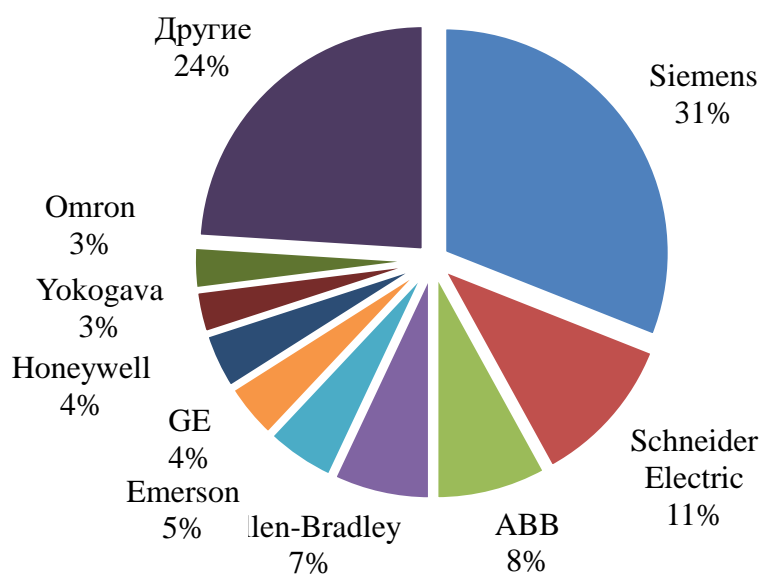
низковольтной аппаратуры. Предметом исследования является производство низковольтной аппаратуры.

*Материал и методы исследования.* Материал исследования был сформирован на основе данных Федеральной службы государственной статистики, АО «Курский Электроаппаратный Завод», НТЦ ЭНЕРГО-РЕСУРС и Государственной информационной системы промышленности.

Методическим инструментарием исследования стали такие общенаучные методы, как анализ, синтез, горизонтальный и вертикальный анализ, эмпирический метод и другие научные методы, позволившие определить достижение цели исследования.

*Результаты исследования.* До настоящего времени многие сегменты рынка были не выгодны для российских компаний. В зависимости от направления причины этого были различны, если говорить про сегмент автоматизации, то прослеживается неспособность конкурировать с устоявшимися игроками, имеющими в ассортименте широкий спектр различных аксессуаров и готовых решений, а также высокую зависимость от импорта даже при создании своего продукта (процессоры, платы и т. д.).

Структура отечественного рынка программируемых логических контроллеров (далее – ПЛК) в 2021 году представлена на рисунке.



(составлено авторами на основе корпоративных исследований)

Рисунок. Структура отечественного рынка ПЛК на 2021 год

На рынке ПЛК представлено порядка 20-ти наиболее крупных игроков. Большинство иностранных компаний, представленных на диаграмме, занимают высокий ценовой сегмент и предлагают комплексные решения.

Существует ряд российских производителей, которые занимают долю рынка менее 3 % (включены в «Другие»), они заняли узкие рыночные ниши и работают под конкретную задачу крупных потребителей, как правило, государственных компаний, крупных нефтедобывающих компаний, естественных монополий. Оборот таких компаний не очень велик и нет видимых

предпосылок для резкого расширения сферы применения их продукции, а, следовательно, укрепления их позиций на рынке.

У потребителей нет желания полностью перерабатывать свою систему автоматизации электроснабжения из-за привязки к конкретным SCADA-системам (SCADA-система – это инструментальная программа, обеспечивающая создание программного обеспечения для автоматизации контроля и управления технологическим процессом в режиме реального времени [4]) европейских производителей как в плане оборудования, так и на уровне персонала. В противоположность этому высокотехнологичному сегменту приведем пример аксессуаров к низковольтному комплектному устройству (далее – НКУ), которые включают в себя различные шинки, наконечники и клеммы, тут ситуация обратная – продукт слишком простой и типичный, поэтому выгоднее приобретать его у азиатских OEM-поставщиков. Из-за такой ситуации отечественное производство в первую очередь было ориентировано на автоматические выключатели, так как это не самое технологичное, но максимально распространенное оборудование, потребность в котором есть всегда. Также в меньшей степени были освоены рынки оболочек НКУ, предохранителей и разъединителей. Однако такой подход также имел исключения, и существуют отечественные компании, ориентированные в первую очередь на автоматизацию, например, ОВЕН, но в данном исследовании рассматриваем компании с более широким ассортиментом, развивающие комплексное предложение, такие как КЭАЗ, ИЕК, ЕКФ и т. д.

В сложившихся условиях эти компании получили шанс активизировать работу по ранее нерентабельным направлениям с целью захвата освободившихся ниш. Маркетинговая политика предприятий должна оперативно адаптироваться к меняющимся социально-экономическим условиям, тем самым обеспечивая успешное позиционирование компании на рынке.

Как говорилось выше, на ключевых сегментах рынка, а именно: выключатели автоматические, пускорегулирующая аппаратура (кроме преобразователей частоты и устройств плавного пуска), рубильники, корпусное оборудование – доля отечественных продуктов за последние годы достигла значительных объемов. Поэтому в качестве рекомендации оптимальных путей развития комплексного предложения целесообразно рассмотреть сегменты автоматизации и предохранителей.

На рынке автоматизации, который в современном мире неразрывно связан с электрооборудованием и распределительными сетями, а также имеет критическое значение для дорожного строительства и всех видов производств, остается проблема сложности освоения высокотехнологичной отрасли и зависимости от иностранных компонентов. Первая проблема решается последовательно, большое преимущество имеется у тех компаний, которые запустили производство базовых блоков программируемых логических контроллеров (далее – ПЛК), оборудования для автоматического ввода резерва (далее – АВР), преобразователей частоты и иного оборудования, так как наиболее выгодная стратегия – это развитие от простого к сложному. В настоящее время некоторые отечественные компании уже готовы переходить с

более сложных и разветвленных импортных систем автоматизации на отечественные аналоги с менее широким функционалом. На данном этапе необходимо обеспечить всеобъемлющую поддержку потребителя по вопросам переработки решений, оперативно запускать в серию новые аксессуары и параллельно вести разработку более сложного оборудования. Вторая проблема не может быть решена без помощи государства, а именно субсидирования предприятий, производящих электронные компоненты, широко применяющиеся во многих отраслях промышленности, однако имеется возможность оптимизировать продукты под сложившиеся условия рынка. Временный переход на китайскую компонентную базу в плане плат и процессоров не сильно скажется на качестве продукции, с учетом того, что большая часть существующего на рынке отечественного оборудования занимает низкий ценовой сегмент. В дальнейшем целесообразен выход аппаратов на отечественной электронной базе в средний и высокий ценовой сегменты с сохранением базовых продуктов на азиатских компонентах. Такой опыт широко распространен на рынке модульного оборудования, базовые автоматические выключатели с предельной коммутационной способностью 4,5 кА зачастую производятся целиком в Китае, а более совершенные автоматы на 6 и 10 кА полностью отечественные. В остальных же составляющих системах автоматизации критических проблем с поставками нет, так как простые комплектующие производятся или могут без затруднений производиться в России, а программное обеспечение уже широко представлено на рынке, в том числе продвинутыми SCADA-системами MasterScada и КаскадСАУ.

Отечественные компании имеют значительную долю на рынке предохранителей, но под этим подразумеваются широко распространенные базовые плавкие вставки, многие из которых остаются в производстве со времен СССР. Однако существуют более специфические сегменты, в которых применяются полупроводниковые предохранители, различные вариации плавких вставок на постоянный ток, а также набирающие популярность цилиндрические плавкие вставки с монтажом в модульное основание на DIN-рейку. Это оборудование более дешевое, чем ПЛК или ПЧ, однако в отличие от автоматизации, дефицит в этой отрасли крайне опасен, так как предохранители являются основополагающим оборудованием наравне с автоматическими выключателями, а не часть современной тенденции оптимизации производства. Как таковых проблем в развитии импортозамещения данной сферы не выявлено, она не интересовала большинство производителей из-за своей специфичности и малых объемов. В Европе существуют компании, целиком ориентированные на рынок плавких вставок, например, Ferraz Shawmut, поглощенная компанией Mersen (которая в свою очередь тоже ориентирована на рынок предохранителей). Также в середине 2010-х годов в России популярность набрали планочные предохранители-выключатели-разъединители и их горизонтальные аналоги, большинство из которых производятся за границей, в том числе компанией Mersen. Локализация этого смежного сегмента также нужна. Отечественный потребитель уже успел адаптироваться к удобству компоновки НКУ на данном оборудовании, а замены другим конструктивом, близким по габариту и удобству



эксплуатации, попросту нет. Ключевая трудность тут возникает в самой плавкой вставке, применяемой для установки в предохранителях-выключателях-разъединителях (далее – ПВР), габаритно подходят российские плавкие низковольтные предохранители (далее – ППН), однако их повышенное тепловыделение пагубно сказывается на тонком пластиковом корпусе разъединителя, оплавляя его и выводя из строя рукоятку. Решение данной проблемы не требует серьезных усилий, путем доработки возможно понижение нагрева, как это сделала компания КЭАЗ со своими OptiFuse [1; 2; 3; 4].

*Выводы и заключение.* На основании представленного анализа видно, что перспективы освоения новых сегментов рынка НВА и смежных направлений у отечественных компаний достаточно широки. Придется приложить усилия к решению некоторых проблем, в том числе не без помощи государства, однако со временем остатки импортной продукции на складах дистрибьюторов подойдут к концу, а высокий ценник на так или иначе ввезенные продукты вкупе с отсутствием технической и гарантийной поддержки поставит российскую продукцию в значительно более выгодное положение. В данном исследовании сознательно не рассматривали вариант китайской экспансии на отечественный рынок. Китайское электрооборудование по-прежнему обладает низким качеством и функционалом, да и время необходимое на адаптацию конкурентов к рынку, – это фора для отечественных компаний, которую нужно использовать максимально эффективно.

### **Список литературы:**

1. Реестр промышленной продукции, произведенной на территории Российской Федерации: [сайт]. – 2022. – URL: <https://gisp.gov.ru/pp719v2/pub/prod/> (дата обращения: 14.11.2022). – Текст : электронный.
2. Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по отдельным видам экономической деятельности Российской Федерации: [сайт]. – 2022. – URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Otgruz\\_mes\\_09\\_2022.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Otgruz_mes_09_2022.xlsx) (дата обращения: 11.11.2022). – Текст : электронный.
3. АСУ ТП (рынок России): [сайт]. – 2022. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:АСУ\\_ТП\\_\(рынок\\_России\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:АСУ_ТП_(рынок_России)) (дата обращения: 13.11.2022). – Текст : электронный.
4. Автоматизированные системы диспетчерского и технологического управления. Все о SCADA-системах: [сайт]. – 2022. – URL: <https://en-res.ru/stati/scada.html> (дата обращения: 14.11.2022). – Текст : электронный.

© Головин А. А., Голубничий К. М., 2022

## **ВАКУУМНЫЕ И ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ КАК ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

студент **Абдреев Кирилл Андреевич**,  
Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассмотрены виды высоковольтных выключателей, их достоинства и недостатки, исходя из их конструкции. Выявлены направления развития технологий коммутации в других странах, выбраны наиболее перспективные и технологичные виды выключателей. Проанализирована проблема состояния современного российского высоковольтного оборудования.

**Ключевые слова:** высоковольтные выключатели, масляные, элегазовые, электромагнитные, воздушные, вакуумные, автогазовые выключатели.

## **VACUUM AND GAS INSULATED CIRCUIT BREAKERS AS A PERSPECTIVE FOR THE DEVELOPMENT OF MODERN HIGH-VOLTAGE POWER ENGINEERING**

Student **Abdreev Kirill Andreevich**,  
Kazan State Power Engineering University,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** The article considers the types of high-voltage breakers, their advantages and disadvantages arising from their design. The directions of development of switching technologies in other countries are revealed, the most promising and technological types of breakers are selected. The problem of the state of modern Russian high-voltage equipment is analyzed.

**Keywords:** high-voltage breakers, oil, gas, electromagnetic, air, vacuum, autogas breakers.

Высоковольтные выключатели занимают одну из важнейших ролей в современной распределительной энергетике, наряду с трансформаторами и линиями электропередач. Однако, как и в любой аппаратуре, выключатели отличаются принципом работы. Самым важным разделением высоковольтных выключателей на виды является разделение на основе принципа гашения дуги. Именно из-за схемы выключателя впоследствии вытекают его достоинства и недостатки. Основные виды:

- Масляные выключатели – гашение дуги происходит в масле.
- Электромагнитные выключатели – гашение дуги происходит за счет магнитного дутья.

– Автогазовые выключатели – дуга гасится газами, которые генерируются сам выключатель.

– Воздушные выключатели – используют поток направленного сжатого воздуха.

– Элегазовые – диэлектриком выступает элегаз.

– Вакуумные – гасят дугу в разреженном воздухе.

Рассмотрим их основные преимущества и недостатки.

Масло отлично выполняет функции гасителя дуги, имея высокую отключающую способность и простоту в использовании и производстве такого рода выключателей. Однако высокие напряжения требуют большого объема масла, что негативно сказывается на стоимости. Большой объем масла также увеличивает габариты выключателя [1]. А само масло является пожаро- и взрывоопасным веществом. Также несмотря на высокую отключающую способность, масло плохо претерпевает высокие напряжения выгорая, это значительно уменьшает ресурс масляных выключателей. Предел рабочих напряжений таких выключателей 220кВ [2].

Магнитное дутье не имеет в схеме своей работы взрыво- и пожароопасных веществ. Помимо этого, оно также сохраняет дугогасительные контакты в хорошем состоянии, что повышает срок службы и позволяет использовать их в схемах с высокой частотой переключений, сохраняя при этом достаточно высокую отключающую способность. Однако магнитное дутье – сложный процесс, который требует использования сложной схемы камеры гашения дуги. Помимо этого, магнитное дутье достаточно сильно ограничено рабочим напряжением, которое не может превышать 20 кВ [3].

Автогазовые выключатели просты по принципу своей работы и имеют низкую стоимость, так как единственным элементом гашения дуги в схеме их работы выступают полимерные покрытия. Это также значительно облегчает ремонтные работы и удешевляет компоненты выключателя. Важным достоинством также является образование видимого разрыва цепи, повышающей надежность таких выключателей. Но принцип работы, основанный на испарении дугогасящих газов, подразумевает частые замены камеры гашения. А сам газ не способен выключать напряжения выше 20 кВ [4].

Воздушные выключатели имеют крайне высокую отключающую способность и могут работать на напряжениях вплоть до 750 кВ. Отсутствие действия на контакты увеличивает число рабочих циклов, а использование пневматики вместо, например, элегазовых или вакуумных камер, увеличивает ремонтпригодность. Но использование сложных пневмосистем увеличивает цену и габариты выключателей. А работа сжатого воздуха создает большой шумовой эффект [3].

Элегаз, в отличие от масла, пожаро- и взрывобезопасен. Контакты слабо изнашиваются из-за работы элегаза, что позволяет совершать частые коммутации. Также такие выключатели имеют высокую отключающую способность и могут использоваться на всех уровнях напряжения (до 1150 кВ

включительно), но чаще свыше 35 кВ. Такие установки имеют малые габариты и работают бесшумно. Однако использование элегаза и сложной конструкции увеличивает цену выключателей. Сложная схема также подразумевает использование устройств перекачки элегаза и специальных жидкостей [5].

Вакуумная схема проста по своей конструкции, что облегчает ремонт и увеличивает надежность. Вакуум имеет высокую отключающую способность и не несет в себе риски пожара и взрыва. Помимо этого, можно отметить малые габариты, малые эксплуатационные расходы и отсутствие шума и влияния на окружающую среду. Из недостатков необходимо упомянуть высокую стоимость, быстрое изнашивание выключателя при работе с токами короткого замыкания, что также говорит о небольших рабочих токах и о возможности появления коммутационных перенапряжений. Такие выключатели могут использоваться на всех уровнях напряжения до 220 кВ [6].

На низких напряжениях, до 35 кВ, конкуренцию друг другу составляют вакуумные, масляные и автогазовые выключатели. Магнитные не пользуются высоким спросом из-за крайне сложной схемы выключателя. Масляные хорошо подходят для схем с редкими выключениями и считаются морально устаревшими. Автогазовые не способны работать с частыми переключениями и требуют постоянных замен дугогасящих частей. Вакуумные же считаются наиболее перспективными, но имеют большую стоимость. На средних напряжениях, до 220 кВ, способны работать воздушные, масляные, элегазовые и вакуумные выключатели. Воздушные выключатели, несмотря на хорошую отключающую способность, из-за недостатков в виде дороговизны, больших габаритов и высокого шума также считаются устаревшими. Элегазовые лишены большинства минусов вакуумных выключателей, которых и без этого не много, однако их схема еще более сложна и дорогостоящая, чем у вакуумных. На высоких напряжениях работают лишь элегазовые и воздушные (до 750 кВ), где элегазовым нет конкуренции. Из вышесказанного можно понять, что наиболее технологичными являются элегазовые и вакуумные выключатели.

Если обратить внимание на статистику высоковольтных выключателей в России, можно заметить, что на напряжении 220 кВ 45 % выключателей – это масляные баковые, 35 % – воздушные, 19 % маломасляные. Это говорит об устаревшем коммутационном оборудовании. Касательно выключателей 6-20 кВ, например, в Архангельске 70 % выключателей являются устаревшими (2019 год), или, например, в ПАО «Россети Московский регион» 51,2 % коммутационных аппаратов эксплуатируются сверхнормы. При рассмотрении произведенных выключателей компанией «Сименс» на напряжение 10-35 кВ, можно заметить вектор развития современной коммутационной энергетики. А именно 12 % произведенных выключателей маломасляные, 24 % элегазовые и 64 % вакуумные. Учитывая, что аналогичные выключатели от «Сименс» могут работать на 25 % дольше, чем российские, можно понять, что технология производства иностранного коммутационного оборудования развита сильнее. Это отражено в таблице. И что тот же путь предстоит пройти и российской

энергетике. Вопрос стоит лишь во времени, ведь как уже было сказано ранее, большая часть коммутационного оборудования России либо работает сверх нормы, либо уже устарело, и замена уже необходима [7; 8; 9; 10].

Таблица – Основные технические параметры и характеристики высоковольтных выключателей

<i>Марка выключателя</i>	<i>ВБЭ110</i>	<i>ВГУ110</i>	<i>ВГБУ110</i>	<i>ВБП110</i>	<i>ЗАР1FG-145/ЕК</i>	<i>ЗАР1DT-145/ЕК</i>
Производитель	«Элвест»	«Уралт яжмаш»	«Уралт яжмаш»	«НПП Контакт»	«Евроконтакт»	«Евроконтакт»
Номинальное напряжение, кВ	110	110	110	110	110	110
Наибольшее Рабочее напряжение, кВ	126	126	126	126	126	126
Номинальный ток, А	1600	2000-3150	2000	2000	1600-4000	1600-3150
Коммутационный ресурс, циклов В-О при ном. Токе	10000	3000	3000	10000	10000	10000
Срок службы до списания, лет	25	30	30	40	40	40

Подводя итог, можно еще раз упомянуть о важности перехода на вакуумные и элегазовые выключатели. Но стоит помнить, что речь не идет о полном вытеснении других технологий, а о замене в тех местах, где это необходимо и целесообразно, так как, несмотря на все достоинства каждой технологии коммутации, выбор всегда будет зависеть от большого числа специфических факторов.

**Список литературы:**

1. Lashina E. N., Lipatov M. S. Application of innovative resource saving tribotechnical composition in an industrial heat engine // Original research. 2021. Vol. 11. No. 7. P. 58-69.
2. Церазов, А. Л., Васильева, А. П., Нечаев, Б. В. Электрическая часть тепловых электростанций: учебник для вузов / А. Л. Церазов, А. П. Васильева, Б. В. Нечаев. – Москва : «Энергия», 1974. – Текст : непосредственный.
3. Родштейн, Л. А. Электрические аппараты: учебник для техникумов / Л. А. Родштейн. – Ленинград : Энергоиздат, ленингр. отд-ние, 1981. – Текст : непосредственный.

4. Автогазовые выключатели нагрузки: [сайт]. – URL: <https://tmtrade.ru/avtogazovye-vyklyuchateli-nagruzki> (дата обращения: 29.11.2022). – Текст : электронный.
5. Аметистов, Е. И. Основы современной энергетики : курс лекций / Е. В. Аметистов. – Москва : Издательство МЭИ, 2004. – 822 с. – Текст : непосредственный.
6. Кравченко, А. Н. Высоковольтные выключатели 6-10 кВ / А. Н. Кравченко, В. П. Метельский, А. Н. Рассальский. – Текст : непосредственный // Электрик. – 2007. – № 1-2.
7. Новиков К. В., Космынина Н. М. Современное состояние высоковольтных выключателей напряжением 220 кВ электроэнергетики России / К. В. Новиков, Н. М. Космынина. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2020. – С. 197-198. – Текст : непосредственный.
8. Москалец, А. А., Харитонов, Л. Ю. Высоковольтные выключатели нового поколения / А. А. Москалец, Л. Ю. Харитонов. – Саратов : Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал СамГУПС, 2011. – С. 122-123. – Текст : непосредственный.
9. Витлинский, И. Д., Бемянский, С. В., Бабич, С. М., Прасол, Д. А. Сравнительный анализ высоковольтных выключателей / И. Д. Витлинский, С. В. Бемянский, С. М. Бабич, Д. А. Прасол. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. – С. 239-242. – Текст : непосредственный.
10. Проблема старения электросетевого комплекса России: [сайт]. – URL: <http://energo-news.ru/archives/161370> (дата обращения: 29.11.2022). – Текст : электронный.

© Абдреев К. А., 2022

## ИЗМЕРЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

ассистент **Маткурбанов Тулкин Алимбоевич**,  
ассистент **Аллаяров Мумин Ринатович**,  
Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада  
ал-Хоразмий, Ургенчский филиал,  
г. Ургенч, Республика Узбекистан

**Аннотация.** В пустынных регионах, где солнечная энергия является наиболее вероятным вариантом использования возобновляемых источников энергии, загрязнение из пыли остается самым большим препятствием. Скопление частиц пыли на поверхности фотоэлектрических модулей может препятствовать поглощению излучения модулем, эффективно снижая его мощность. Одним из распространенных методов измерения потерь от загрязнения является отслеживание тока-напряжения (IV), где характеристики фотоэлектрического модуля используются для оценки производительности модуля. Однако солнечные установки в умных городах часто распределяются в виде небольших ферм, установок на крышах и навесов для парковок, чтобы использовать доступное пространство и уменьшить количество линий электропередач. Это представляет собой проблему для мониторинга и обслуживания загрязненных панелей из-за масштаба и распределения установок. Прототип солнечных установок сможет успешно и надежно собирать данные IV-трассировки и передавать их обратно на облачный сервер, чтобы исследователи могли просматривать и анализировать данные.

**Ключевые слова:** фотоэлектрический модуль, вольт-амперная характеристика, Интернет вещей, емкость, фотоэлектрическая панель.

## PERFORMANCE MEASUREMENT OF PHOTOELECTRIC MODULE

Assistant **Matkurbanov Tulkin Alimboevich**,  
Assistant **Allayarov Mumin Rinatovich**,  
Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad ibn Musa  
al-Khwarizmi, Urgench Branch,  
Urgench, Republic of Uzbekistan

**Abstract.** In desert regions, where solar power is the most likely renewable energy option, dust pollution remains the biggest obstacle. The accumulation of dust particles on the surface of photovoltaic modules can prevent the module from absorbing radiation, effectively reducing its power. One of the common methods for measuring pollution loss is current-voltage (IV) tracking, where the characteristics of the PV module are used to evaluate the performance of the module. However, solar installations in smart cities are often distributed in the form of small farms, rooftop

installations and parking sheds in order to use the available space and reduce the number of power lines. This presents a challenge for monitoring and maintaining contaminated panels due to the scale and distribution of installations. The prototype was able to successfully and reliably collect IV trace data and transfer it back to the cloud server for researchers to view and analyze.

**Keywords:** photovoltaic module, volt-ampere characteristic, internet of things, capacity, photovoltaic panel.

Одним из наиболее распространенных методов измерения производительности фотоэлектрического модуля является отслеживание тока и напряжения (IV). Этот метод используется для захвата всех возможных комбинаций тока и напряжения, которые панель может создать в заданном контексте. По кривой ВАХ можно измерить максимальный ток при коротком замыкании, максимальное напряжение при разомкнутой цепи, а также комбинацию тока и напряжения, при которой модуль будет генерировать максимальную мощность.

Эффективность фотоэлемента в естественных условиях измеряется с помощью ВАХ и мощность вольт характеристика. Кривые используются для отображения максимальных значений напряжения, тока и мощности панели при заданной настройке. Существует несколько методов получения ВАХ для фотоэлектрической панели, в основном: а) переменный резистор, б) емкостная нагрузка и в) электронная нагрузка. Однако широко признан метод «емкостной нагрузки» для получения наиболее точных результатов [1]. В этом методе ток и напряжение панели непрерывно регистрируются по мере того, как панель заряжает конденсатор, начиная с разряженного конденсатора (условия короткого замыкания), вплоть до полного заряда конденсатора (условия разомкнутой цепи). В то время как условия короткого замыкания и разомкнутой цепи обеспечивают максимальный ток и напряжение панели соответственно, максимальная мощность извлекается из кривой  $P - V$ . Такие данные используются для построения моделей, которые помогают отслеживать эффективность производства солнечной энергии, контролировать профилактическое обслуживание, а также прогнозировать производительность в краткосрочной и долгосрочной перспективе. Поскольку ВАХ используются для определения тока короткого замыкания солнечного модуля, напряжения холостого хода и всех возможных комбинаций тока и напряжения, при которых модуль может работать, кривая PV используется для определения точки максимальной мощности модуля, а также выходы напряжения и тока в точке максимальной мощности. ВАХ получается путем выполнения развертки напряжения на фотоэлектрическом модуле при измерении выходного тока. Наиболее распространенный способ изменения напряжения модуля – использование фотоэлектрического модуля для зарядки емкостной нагрузки. Мониторинг тока и напряжения, когда конденсатор переходит из разряженного состояния в состояние зарядки, а затем в полностью заряженное состояние, позволяет модулю выводить все возможные комбинации напряжения и тока между коротким замыканием и разомкнутой цепью. Принципиальная схема,



показывающая эквивалентную схему и все связанные элементы, используемые для моделирования фотоэлектрического модуля, а также цепь емкостной нагрузки, показана на рисунке 1. Эквивалентную схему можно использовать для расчета тока, проходящего через емкостную нагрузку, среди прочего. Подробный анализ процесса моделирования можно найти в [1]. Фотоэлектрический модуль моделируется с использованием модели с одним диодом, которая является довольно точным представлением фотоэлементов. Идеальный источник тока представляет собой генерируемый светом ток, который доставляется в зависимости от интенсивности света, принимаемого модулем.

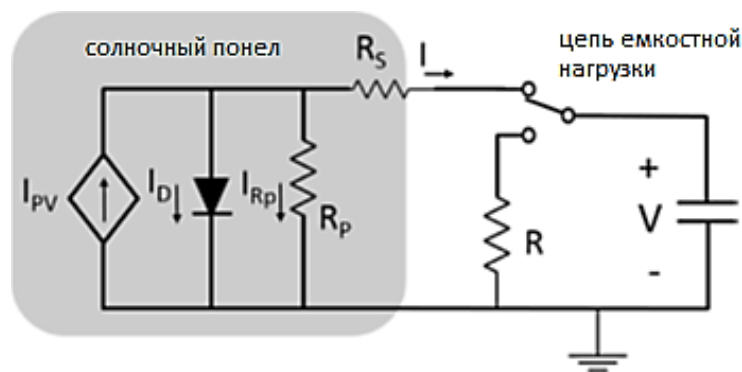


Рисунок 1. Принципиальная схема измерителя емкостной нагрузки IV

Выходной ток модуля представляет собой разницу между током, генерируемым светом ( $I_{PV}$ ), и токами, проходящими через настоящий диод ( $I_D$ ), и параллельным сопротивлением ( $I_{Rp}$ ), и определяется по следующей формуле:

$$I = I_{PV} - I_0 \left[ e^{q \left( \frac{V + IR_s}{nkT} \right)} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p}, \quad (1)$$

где  $I_0$  – обратный ток насыщения;

$q$  – заряд электрона;

$k$  – постоянная Больцмана;

$T$  – температура перехода в Кельвинах;

$R_s$  и  $R_p$  – последовательное и шунтирующее сопротивления соответственно;

$n$  – коэффициент идеальности диода.

Предполагая, что идеальный диод не является проводящим,  $I_D$  можно не принимать во внимание (предполагается, что он равен нулю). Уравнение (1) может быть затем преобразовано в формулу (2):

$$I (R_s + R_p) + V - I_{PV} R_p = 0 \quad (2)$$

Учитывая закон Кирхгофа в уравнении (3):

$$x = C \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

Используя уравнения (2) и (3), уравнение цепи записывается как в уравнении (4):

$$C(R_s + R_p) \frac{dV}{dt} + V = I_{PV} R_p \quad (4)$$

Решение дифференциального уравнения затем приводит к уравнению (5), которое можно использовать для расчета напряжения конденсатора в любой момент времени:

$$V(t) = I_{PV} \left( 1 - e^{-\frac{t}{C(R_s+R_p)}} \right) \quad (5)$$

Время зарядки или время, необходимое конденсатору для перехода от короткого замыкания к разомкнутой цепи через источник постоянного питания, затем можно рассчитать, подставив  $V(t)$  вместо  $V_{oc}$  и переставив уравнение (5), как показано в формуле (6):

$$t_{oc} = -C(R_s + R_p) \ln \left( 1 - \frac{V_{oc}}{I_{PV} R_p} \right), \quad (6)$$

где эквивалентное последовательное и параллельное сопротивление панели может быть аппроксимировано обратным наклоном кривой ВАХ в точке напряжения холостого хода и в точке тока короткого замыкания, соответственно. Значения шунтирующего и последовательного сопротивления можно получить из ВАХ. В качестве альтернативы можно эмпирически оценить время зарядки, позволив фотоэлектрическому модулю зарядить конденсатор и записав период времени. Период времени для полной разрядки конденсатора затем рассчитывается как  $5\tau$ , где  $\tau$  – постоянная времени разрядки, и рассчитывается по формуле (7):

$$\tau = RC \quad (7)$$

Установка частоты дискретизации является ключом к точному отображению поведения панели во время зарядки и получению плавной кривой IV. Выбор низкой частоты дискретизации может привести к тому, что периферийные устройства пропустят важные тенденции и получат грубую кривую ВАХ. С другой стороны, установка слишком высокой частоты дискретизации приведет к созданию излишне больших объемов данных, которые необходимо передать, сохранить и обработать. Чтобы захватить как можно точнее, минимальная частота дискретизации рассчитывается как в формуле (8):

$$\Delta t = C * \frac{\Delta V}{I_{avg}}, \quad (8)$$

где  $C$  – полная емкость;

$\Delta V / I_{avg}$  – наклон ВАХ на самом крутом склоне.

Процесс начинается, когда конденсатор полностью разряжен. В тот момент, когда цепь отслеживания замыкается, фотоэлектрическая панель производит ток короткого замыкания через конденсатор, который фактически имеет нулевое сопротивление, и начинает заряжаться. По мере зарядки конденсатора его сопротивление увеличивается до тех пор, пока он не будет полностью заряжен, и в этом случае ток больше не протекает, и можно измерить напряжение холостого хода панели. Следовательно, в момент включения переключателя ток находится в состоянии короткого замыкания, в то время как напряжение равно нулю ( $I = I_{sc}$ ,  $V = 0$ ), а когда конденсатор полностью заряжен, напряжение равно напряжению холостого хода, в то время как ток равен нулю ( $I = 0$ ,  $V = V_{oc}$ ). Формы сигналов для тока и напряжения панели, полученные от испытательной панели во время процесса зарядки, показаны на рисунке 2а, а типичные кривые ВАХ и Р – V показаны на рисунке 2б. Кривые показывают возможные комбинации напряжения и тока, которые могут быть произведены панелью. Кривая Р – V также указывает на максимально достижимую мощность.

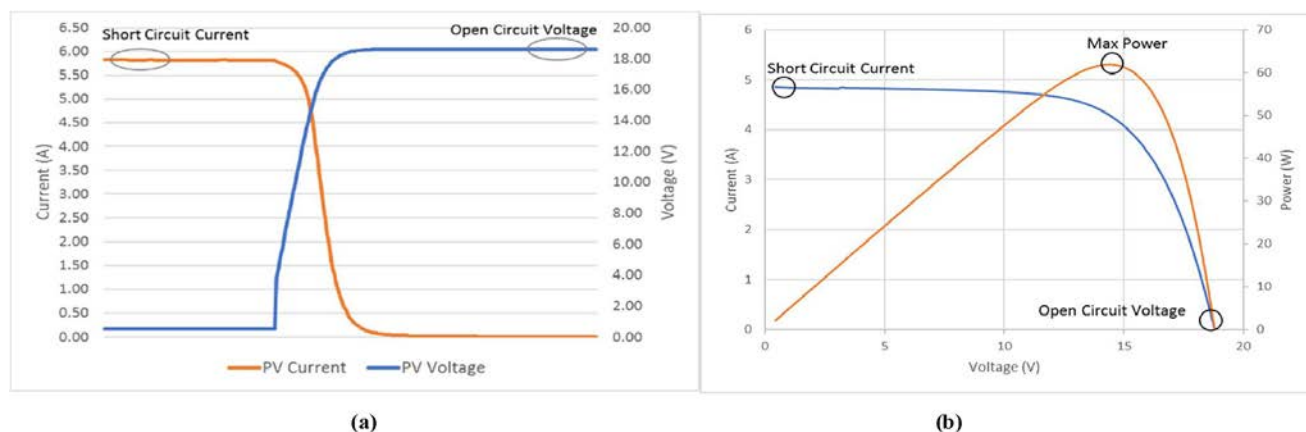


Рисунок 2. а) Осциллограммы тока и напряжения панели во время зарядки конденсатора; б) Кривые ВАХ и Р – V, полученные с испытательной панели

Было разработано несколько проектов систем онлайн-мониторинга, встроенных индикаторов IV и портативных систем отслеживания IV, в которых данные можно просматривать локально [2] или передавать на ближайший компьютер для визуализации с помощью различного программного обеспечения [3; 4; 5]. Однако для управления общегородскими объектами солнечной энергетики требуются соответствующие технологии, предназначенные для экономичной, масштабируемой и распределенной работы. В представленной здесь работе делается попытка объединить преимущества трассировки IV на месте в качестве показателя производительности с функциями, которые могут предложить системы Интернета вещей.

### **Список литературы:**

1. Brito E. M.d S., Antônio A.d S., Cupertino A. F., Pereira H. A. Characterization of solar panel using capacitive load // 11th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications. 2014.
2. Chen Z., Lin W., Wu L., Long C., Lin P., Cheng S. A capacitor based fast I-V characteristics tester for photovoltaic arrays // Energy Procedia. 2018. P. 381-387.
3. García-Valverde R., et al. Portable and wireless IV-curve tracer for &5kV organic. photovoltaic modules Solar Energy Materials and Solar Cells // International journal. Dedicated to photovoltaic, photothermal and photochemical conversion of solar energy. 2016. P. 60-65.
4. Keogh W. M., Blakers A. W., Cuevas A. (2004). Constant voltage I–V curve flash tester for solar cells. Solar Energy Materials and Solar Cells // International journal. Dedicated to photovoltaic, photothermal and photochemical conversion of solar energy. 2004. P. 183-196.
5. Muñoz J., Lorenzo E. Capacitive load based on IGBTs for on-site characterization of PV arrays // Solar Energy (Phoenix, Arizona). 2006. P. 1489-1497.

© Маткурбанов Т. А., Алляров М. Р., 2022

**К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ АППАРАТУРЫ  
АВТОБЛОКИРОВКИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЯГОВОГО ТОКА  
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

студент **Сабанцев Артем Владимирович**,  
студент **Ионин Михаил Александрович**,  
преподаватель **Хохрин Алексей Сергеевич**,  
Самарский государственный университет путей сообщения,  
г. Самара, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы повышения безопасности движения поездов посредством обеспечения защиты устройств автоблокировки от воздействия тягового тока. Применение различных более помехоустойчивых систем позволяет снизить негативное воздействие тягового тока на устройства и аппаратуру автоблокировки.

**Ключевые слова:** железнодорожная автоматика, телемеханика, ЖАТ, заземление, негативное воздействие, защита средств ЖАТ, электромагнитное влияние, тяговый ток.

**ON THE ISSUE OF ENSURING THE PROTECTION OF AUTO-LOCKING  
EQUIPMENT FROM THE IMPACT OF TRACTION CURRENT  
IN RAILWAY TRANSPORT**

Student **Sabantsev Artem Vladimirovich**,  
Student **Ionin Mikhail Alexandrovich**,  
Lecturer **Alexey Sergeevich Khokhrin**,  
Samara State University of Railway Transport,  
Samara, Russian Federation

**Abstract.** The article discusses the issues of improving the safety of train traffic by ensuring the protection of auto-locking devices from the effects of traction current. The use of various more noise-resistant systems makes it possible to reduce the negative impact of traction current on auto-locking devices and equipment.

**Keywords:** railway automation, telemechanics, reaper, grounding, negative impact, protection of reaper means, electromagnetic impact, traction current.

На железных дорогах Российской Федерации действуют высокие по мощности помехи, негативно влияющие на работу устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Сбои в работе рельсовых цепей (РЦ) [1] от влияния данного вида помех приводят к ложным перекрытиям и показаниям светофоров на более запрещающие показания. По этой причине уменьшается пропускная способность участков железных дорог, а также ухудшается безопасность движения поездов [2; 3].

В свою очередь в слаботочной аппаратуре возникают проблемы с защитой от таких влияний, потому что величина тягового тока может на один-два порядка превышать величину сигнальных токов [4; 5]. Решить данную проблему возможно, применяя более помехоустойчивые системы, либо же совершенствуя применяемые способы кодирования. Такие способы перспективны при разработке новых систем и устройств ЖАТ. Одним из способов решения является применение устройств, позволяющих снизить уровень помех при их зарождении. На рисунке 1 представлена классификация принципов защиты устройств СЦБ от электромагнитных влияний.

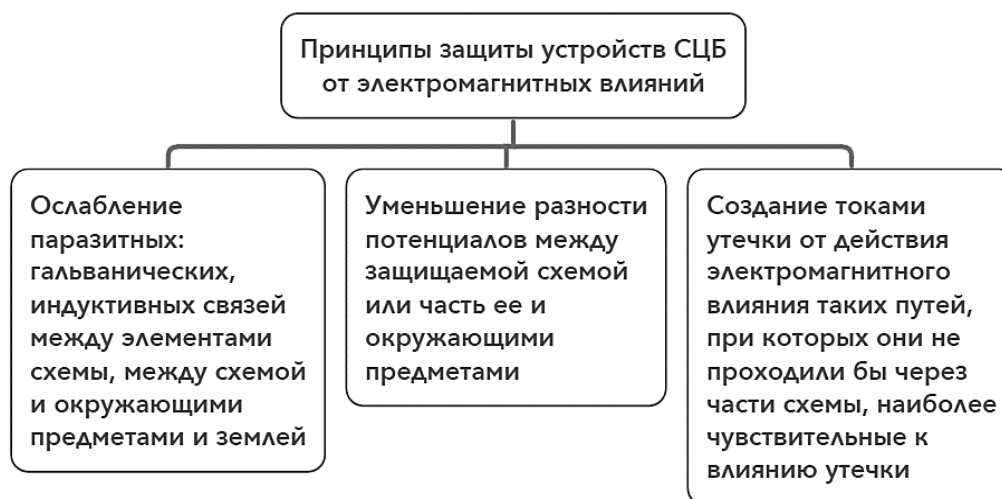


Рисунок 1. Классификация принципов защиты устройств СЦБ от электромагнитных влияний

Принципы, представленные на рисунке 1, реализуются следующими методами защиты устройств СЦБ от опасных электромагнитных влияний: разнесением в пространстве влияющих и подверженных влиянию цепей; каскадной защиты; гальванического разделения цепей с помощью разделительных трансформаторов; экранирования; отключения цепей, подверженных ОЭМВ; создания шунтирующими контурами путей токов утечки в местах безопасных для защищаемых устройств; отражение энергии ОЭМВ на входе устройств путем использования запирающих фильтров; выравнивания потенциалов. На рисунке 2 представлены основные конструктивные направления при разработке методов снижения электромагнитного влияния.

При введении в эксплуатацию устройств СЦБ на полупроводниковой элементной базе возникли новые условия к средствам защиты от ОЭМВ: высокое быстродействие, низкое остающееся пропускная способность по току. Для защиты устройств СЦБ на новой элементной базе необходимо выравнивать потенциалы не только между проводом и землей для защиты изоляции устройств, но и между проводами цепей для защиты входа устройств и ввода питания, учитывая высокую чувствительность полупроводниковых приборов к перегрузкам.



Рисунок 2. Основные конструктивные направления при разработке методов снижения электромагнитного влияния

Реализация метода выравнивания потенциалов как между проводом и землей, так и между проводами осуществляется множеством приборов защиты, которые по характеру вольт-амперной характеристики можно разделить на две группы: порогового действия и ключевого действия.

В приборах защиты порогового действия для ограничения напряжения в полупроводниковых цепях на уровне от 0.1 В до 5 В используют встречно-параллельное включение двух или более цепочек, состоящих из одного или нескольких последовательно включенных диодов. На рисунке 3 представлены основные приборы защиты устройств СЦБ от перенапряжений порогового действия.

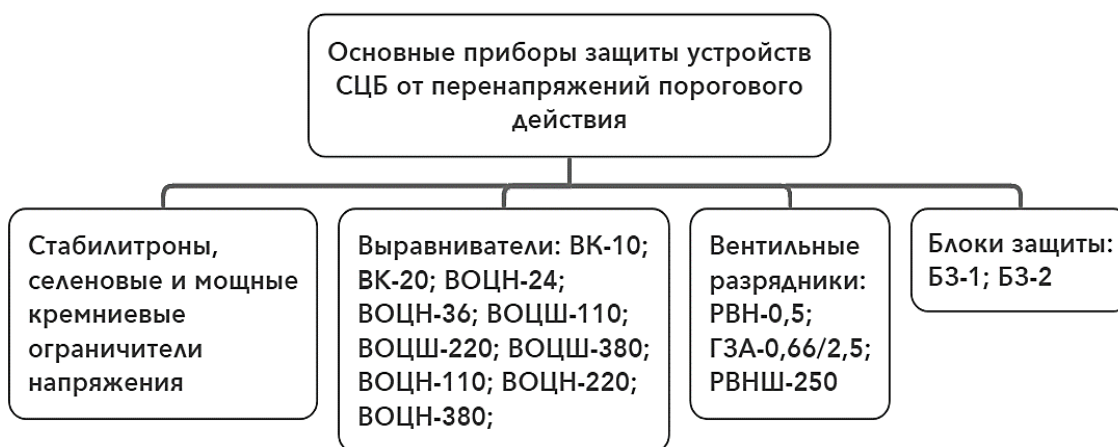


Рисунок 3. Основные приборы защиты устройств СЦБ от перенапряжений порогового действия

Блоки защиты (БЗ-1 и БЗ-2) предназначены для защиты устройств СЦБ от коммутационных и атмосферных перенапряжений. БЗ-1 выполнен в габаритах реле РЭЛ, а БЗ-2 в габаритах реле НМШ. Блоки защиты представляют собой четырехполюсники, которые при включении требуют нарушения непрерывности защищаемой цепи и вносят в рабочую цепь дополнительные реактивные элементы. Два блока БЗ-1 могут быть включены по схеме включения БЗ-2.

Принцип работы приборов защиты ключевого действия состоит в обеспечении тока утечек от опасных электромагнитных воздействий таких путей, при которых они не проходили бы через части системы, которые являются наиболее чувствительными к влиянию утечек. Средствами, обеспечивающими пути протекания тока утечек, стали устройства, которые в открытом состоянии обладают малым внутренним сопротивлением. На рисунке 4 представлены основные приборы защиты устройств СЦБ от перенапряжений ключевого действия.

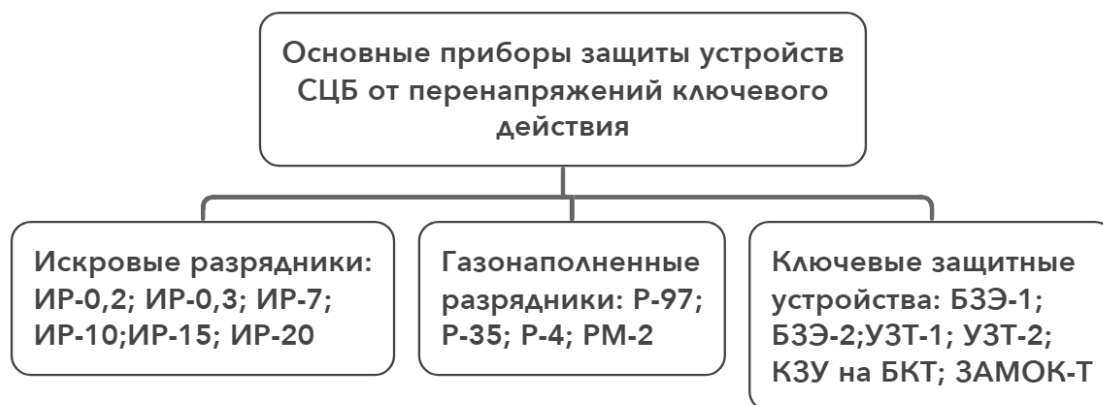


Рисунок 4. Основные приборы защиты устройств СЦБ от перенапряжений ключевого действия

Ключевые защитные устройства (КЗУ) на основе силовых полупроводниковых приборов могут быть использованы для защиты цепей переменного тока с рабочим напряжением от единиц до сотен вольт. Защита цепей постоянного тока с напряжением от единиц до сотен вольт может быть осуществлена КЗУ на основе силовых транзисторов и управляемых тиристоров. Конструктивно ключевое защитное устройство состоит из элементов, задающих порог срабатывания устройства, которые далее будут называться пороговыми элементами (ПЭ), и элементов, осуществляющих пропуск основной части тока утечки; ими являются силовые полупроводниковые приборы (СПП). В качестве порогового элемента КЗУ используются нелинейные элементы с пороговой вольт-амперной характеристикой (варисторы, стабилитроны и т. п.). Порог срабатывания устройств легко устанавливается подбором пороговых элементов. В качестве силового полупроводникового прибора у КЗУ используются: тиристоры, симисторы и т. п. К преимуществам КЗУ относят: высокую пропускную способность по току; высокое быстродействие; стабильность порога срабатывания; малое остающееся напряжение на средстве защиты; малая величина рассеиваемой энергии на средстве защиты.



Таким образом, применение разных принципов и мер снижения электромагнитных влияний позволяет эффективно бороться с помехами от тягового тока, что позволяет повысить помехоустойчивость устройств ЖАТ.

### **Список литературы:**

1. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М. : Транспорт, 1990. – 295 с. – Текст : непосредственный.
2. Хохрин, А. С. Анализ способов организации управления движением при СИРДП-е / А. С. Хохрин, Н. Д. Ежов, А. С. Сахипкиреева. – Текст : непосредственный // Образование – Наука – Производство : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Чита, 24 декабря 2020 года. Том 1. – Чита : Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВПО «Иркутский университет путей сообщения», 2020. – С. 281-285.
3. Надежкин, В. А. Анализ новых систем интервального регулирования движения поездов / В. А. Надежкин, А. С. Хохрин, В. Б. Тепляков. – Текст : непосредственный // Образование – Наука – Производство : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Чита, 24 декабря 2020 года. Том 1– Чита : Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВПО «Иркутский университет путей сообщения», 2020. – С. 169-173.
4. Скоков, Р. Б. Защита рельсовых цепей тональной частоты от опасного влияния тяговой сети постоянного тока / Р. Б. Скоков. – Текст : непосредственный // Вестник инженеров электромехаников железнодорожного транспорта. – 2003. – Выпуск 1. – С. 255-258.
5. Зенкович, Ю. И. Актуальные проблемы работоспособности рельсовых цепей в условиях электрической тяги поездов / Ю. И. Зенкович – Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – 2020. – № 1 (79). – С. 54-59.

© Сабанцев А. В., Ионин М. А., Хохрин А. С., 2022

## ЭКОНОМИЧНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА

канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой автоматизации технологических процессов и производств **Ковалёв Дмитрий Александрович**,  
канд. техн. наук, доцент **Шаряков Владимир Анатольевич**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация,  
канд. техн. наук, доцент **Шарякова Ольга Леонидовна**,  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе выполнено исследование системы автоматического регулирования температуры перегретого пара путем изменения производительности насоса подачи охлаждающей воды. В результате моделирования обеспечивается требуемое качество переходного процесса.

**Ключевые слова:** система автоматического регулирования, температура перегретого пара, математическая модель, имитационное моделирование.

## ECONOMICAL TEMPERATURE CONTROL OF SUPERHEATED STEAM

PhD in Technology, Associate Professor, Head of the Department of  
Automation of Technological Processes and Productions

**Kovalev Dmitry Alexandrovich**,

PhD in Technology, Associate Professor **Sharyakov Vladimir Anatolievich**,  
Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,

Higher School of Technology and Energy

Saint Petersburg, Russian Federation,

PhD in Technology, Associate Professor **Sharyakova Olga Leonidovna**,  
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,

Saint-Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The paper studies the system of automatic temperature control of superheated steam by changing the productivity of the cooling water pump. As a result of modeling the required quality of the transient process is provided.

**Keywords:** automatic control system, superheated steam temperature, mathematical model, simulation modeling.

В настоящее время для системы автоматического регулирования (САР) температуры перегретого пара в качестве управляющего воздействия

используется изменение положения клапана ( $l_{\text{о.в.}}(t)$ ) подачи охлаждающей воды (рисунок 1а) на пароохладитель [1].

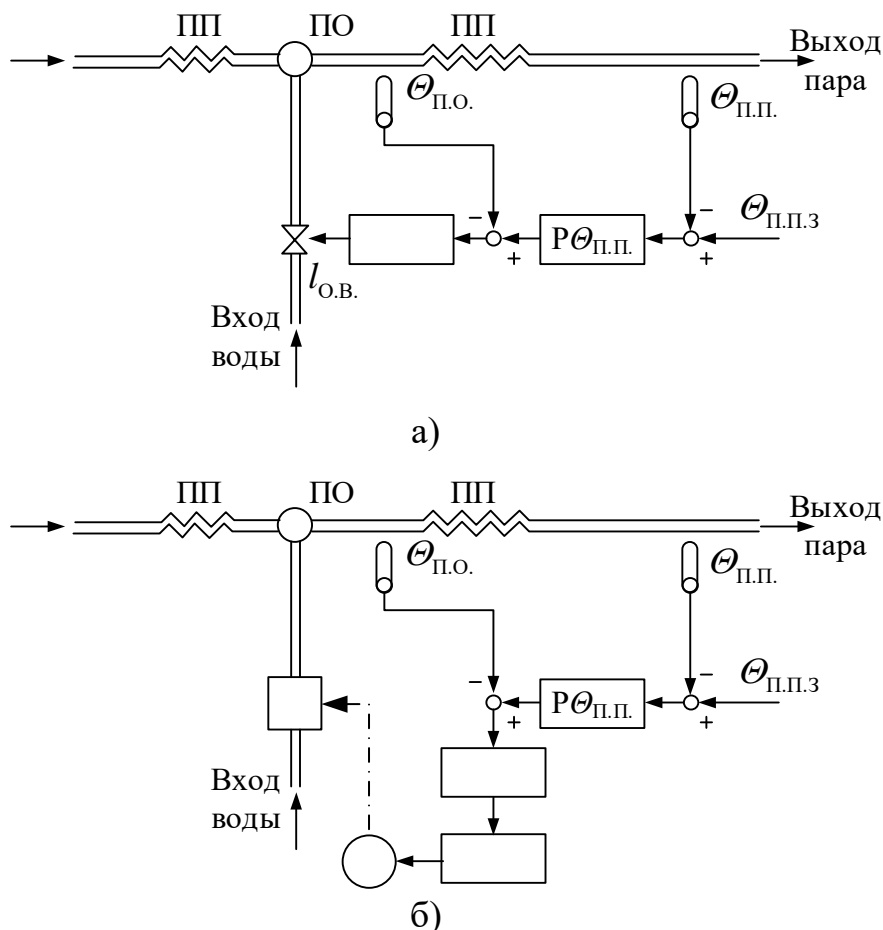


Рисунок 1. Функциональная схема САР температуры перегретого пара:  
 а) дросселирование; б) изменение производительности насоса,  
 где ПП – пароперегреватель; ПО – пароохладитель;  $\theta_{\text{п.}}$  – температура пара  
 перед пароохладителем;  $\theta_{\text{п.о.}}$  – температура пара после пароохладителя;  
 $\theta_{\text{п.п.}}$  – температура пара после пароперегревателя;  $\theta_{\text{п.п.з}}$  – заданное значение  
 температуры перегретого пара; Р $\theta$  – регулятор температуры перегретого пара  
 и пара после пароохладителя соответственно; ЧП – частотный преобразователь;  
 ЭД – электродвигатель; Н – насос

Применение регулируемого по производительности насоса подачи охлаждающей воды (рисунок 1б) может существенно повысить экономичность такой системы регулирования, т. к. известно:

$$\frac{N}{N_{\text{н}}} = \left( \frac{Q}{Q_{\text{н}}} \right)^3 \quad (1)$$

На рисунке 2 показана сравнительная зависимость потребляемой мощности насосом при регулировании подачи дросселированием и изменением скорости вращения вала двигателя насоса.

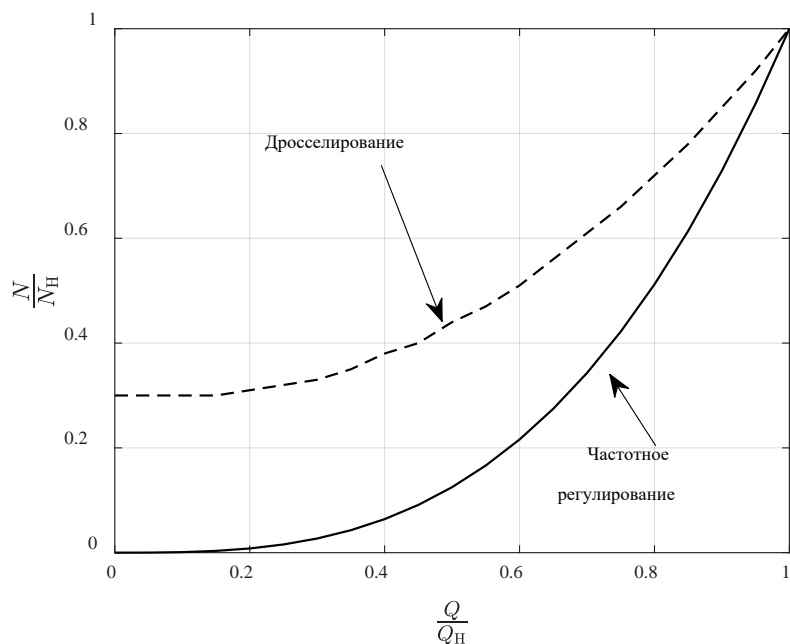


Рисунок 2. Зависимость потребляемой мощности от изменения подачи насоса при разных способах регулирования

Рассмотрим переходные процессы в САР при разных способах регулирования подачи охлаждающей воды.

Структурная схема каскадного управления температурой перегретого пара при управлении клапаном подачи охлаждающей воды показана на рисунке 3.

На схеме введены следующие обозначения: ЗС – задатчик управляемого сигнала; ИМ – исполнительный механизм; РО – регулирующий орган; ПО – пароохладитель;  $D\Theta_{П.П.}$  – датчик температуры перегретого пара;  $D\Theta_{П.О.}$  – датчик температуры пара после пароохладителя.

В качестве ИМ использован позиционер, его математическая модель показана на рисунке 4. На схеме показаны передаточные функции блоков входящих в состав позиционера:

$$W_{ЗС}(p) = \frac{l_{з.о.в.}(p)}{i_3(p)} \text{ – задатчика управляемого сигнала;}$$

$$W_{ПБР}(p) = \frac{U_{эд}(p)}{u(p)} \text{ – пускателя бесконтактного реверсивного;}$$

$$W_{эд}(p) = \frac{\omega_{эд}(p)}{U_{эд}(p)} \text{ – электрического двигателя;}$$

$$W_{ред}(p) = \frac{l_{о.в.}(p)}{\omega_{эд}(p)} \text{ – редуктора;}$$

$$W_{д}(p) = \frac{i_{о.в.}(p)}{l_{о.в.}(p)} \text{ – датчика положения штока.}$$

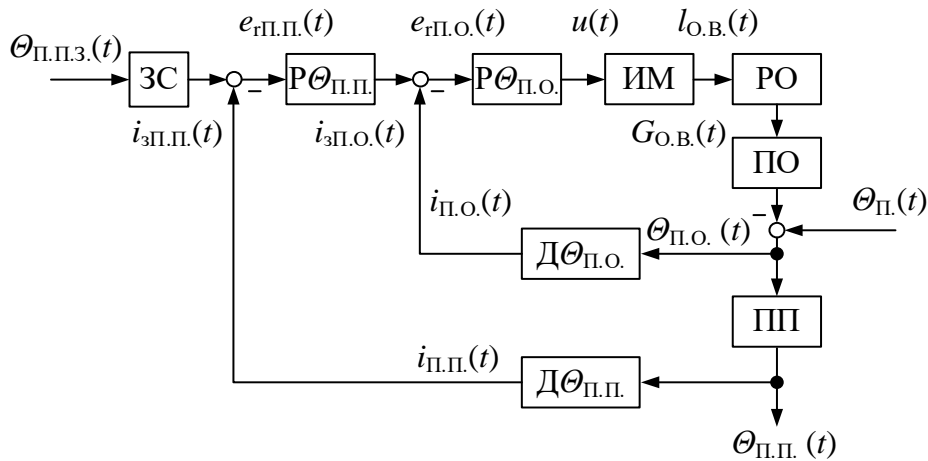


Рисунок 3. Структурная схема каскадного управления температурой перегретого пара при управлении клапаном подачи охлаждающей воды

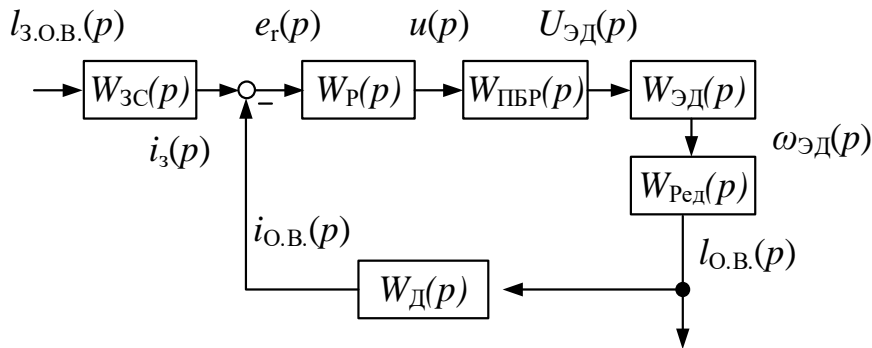


Рисунок 4. Математическая модель позиционера

Так как в контуре регулирования положением штока присутствует интегрирующее звено (редуктор) достаточно использовать П-регулятор.

$$W_p(p) = \beta \quad (2)$$

При синтезе регулятора были использованы настройки на оптимум по модулю (ОМ).

$$\beta = \frac{T_0}{2 \cdot T_\mu \cdot \prod_{i=1} K_i}, \quad (3)$$

где  $T_0$  – постоянная времени интегрирующего звена;  $T_\mu = \sum_{i=1} T_i$  – суммарная малая постоянная времени оставшихся звеньев;  $K_i$  – коэффициенты усиления звеньев входящих в контур.

На рисунке 5 показаны графики переходных процессов при изменении задания 439 → 441. Штрихпунктирной линией показаны допустимые пределы изменения температуры.

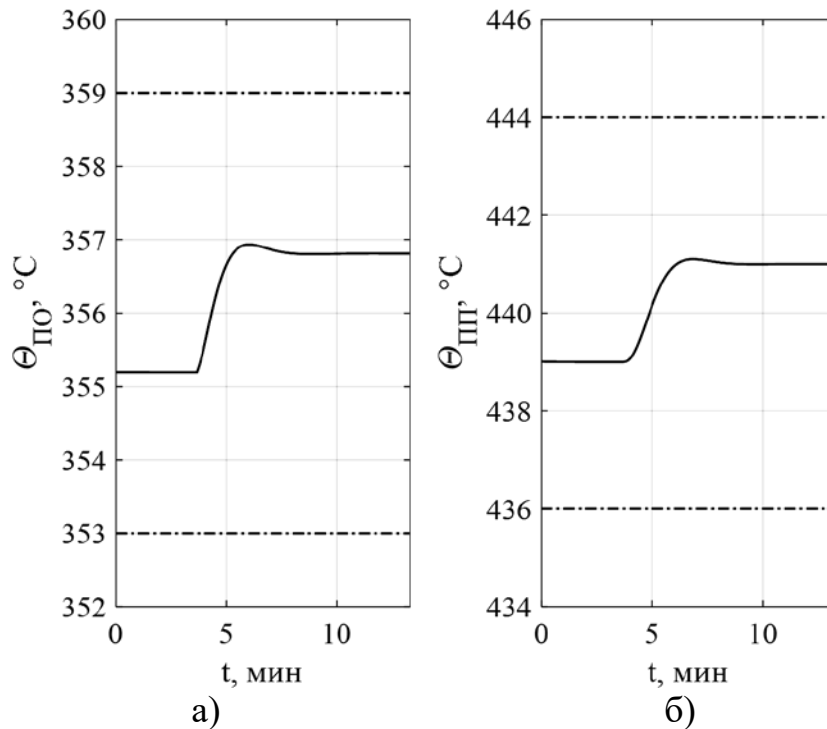


Рисунок 5. Графики переходных процессов при управлении клапаном подачи охлаждающей воды

Структурная схема каскадного управления температурой перегретого пара при управлении производительностью насоса подачи охлаждающей воды показана на рисунке 6.

Обозначения на схеме аналогичны рисунку 3.

Блок «Насос  $Q = var$ » представляет собой замкнутый контур регулирования производительности насоса подачи охлаждающей воды, его математическая модель показана на рисунке 7. На схеме показаны передаточные функции блоков, входящих в состав позиционера:

$$W_{зс}(p) = \frac{G_{з.о.в.}(p)}{i_3(p)} - \text{задатчика управляемого сигнала};$$

$$W_{пч}(p) = \frac{U_{эд}(p)}{u(p)} - \text{преобразователя частоты};$$

$$W_{эд}(p) = \frac{\omega_{эд}(p)}{U_{эд}(p)} - \text{электрического двигателя};$$

$$W_{н}(p) = \frac{G_{о.в.}(p)}{\omega_{эд}(p)} - \text{насоса};$$

$$W_{д}(p) = \frac{i_{о.в.}(p)}{l_{о.в.}(p)} - \text{датчика частоты вращения вала двигателя}.$$

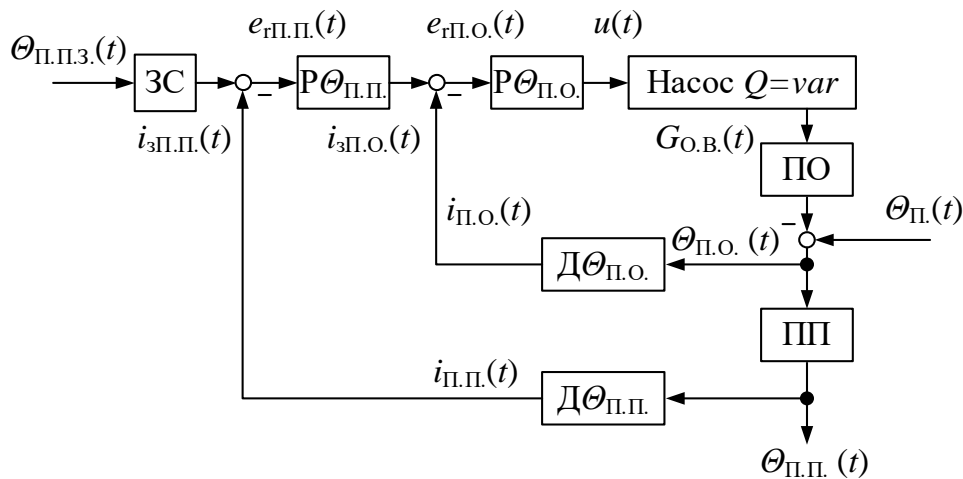


Рисунок 6. Структурная схема каскадного управления температурой перегретого пара при управлении клапаном подачи охлаждающей воды

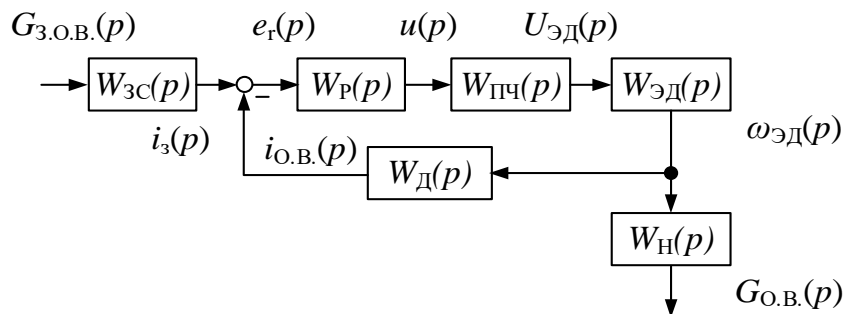


Рисунок 7. Математическая модель позиционера

Так как контур регулирования состоит из апериодических звеньев первого порядка (преобразователь частоты и электродвигатель), постоянные времени которых значительно отличаются, то использован ПИ-регулятор:

$$W_P(p) = \beta \cdot \frac{\tau \cdot p + 1}{\tau \cdot p} \quad (4)$$

При синтезе регулятора с настройками на ОМ пропорциональный коэффициент  $\beta$  определяется согласно (2). Постоянная времени регулятора должна компенсировать большую постоянную времени контура  $\tau = T_0$ .

На рисунке 8 показаны графики переходных процессов при изменении задания 439 → 441. Штрихпунктирной линией показаны допустимые пределы изменения температуры.

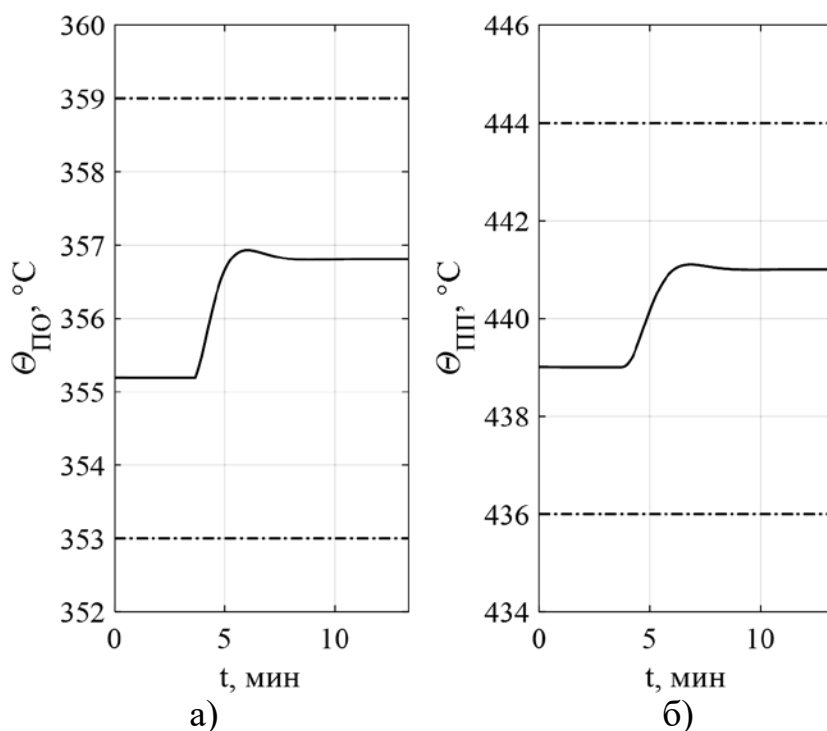


Рисунок 8. Графики переходных процессов при управлении клапаном подачи охлаждающей воды

Из анализа рисунка 5 и рисунка 8 следует, что в независимости от способа регулирования подачи охлаждающей воды регулирование температуры перегретого пара осуществляется практически одинаково.

Исследование показало, что регулирование температуры перегретого пара изменением производительности насоса подачи охлаждающей воды обеспечивает требуемое качество переходного процесса и является более экономичным.

### Список литературы:

1. Ротач, В. Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учебник для вузов / В. Я. Ротач. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 296 с. – Текст : непосредственный.
2. Ковалев, Д. А. Моделирование системы автоматического управления мощностью энергоблока при изменении общей нагрузки энергосистемы / Д. А. Ковалев, В. А. Шаряков, О. Л. Шарякова. – Текст : непосредственный // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2022. – № 1. – С. 122-129.
3. Ковалев, Д. А. Синтез двухконтурной системы автоматического управления уровнем воды парового котла / Д. А. Ковалев, В. А. Шаряков, О. Л. Шарякова, В. А. Лебедева. – Текст : непосредственный // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2022. – № 3. – С. 136-142.



## К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ХОЗЯЙСТВЕ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

студент **Ионин Михаил Александрович**,  
студент **Сабанцев Артем Владимирович**,  
преподаватель **Хохрин Алексей Сергеевич**,  
Самарский государственный университет путей сообщения,  
г. Самара, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы актуальности и важности применения заземляющих устройств ЖАТ; нормативные требования по сопротивлению заземлителей; анализ особенностей заземления различных ОТИ на ЖД.

**Ключевые слова:** железнодорожная автоматика, телемеханика, ЖАТ, заземление, негативное воздействие, защита средств ЖАТ, нормативы по сопротивлению, ЗОУ.

## ON THE ISSUE OF THE USE OF GROUNDING DEVICES IN THE ECONOMY OF AUTOMATION AND TELEMCHANICS

Student **Ionin Mikhail Alexandrovich**,  
Student **Sabantsev Artem Vladimirovich**,  
Lecturer **Alexey Sergeevich Khokhrin**,  
Samara State University of Railway Transport,  
Samara, Russian Federation

**Abstract.** The article discusses the following issues: the relevance and importance of the use of grounding devices of railway automation and telemechanics; regulatory requirements for the resistance of earthing devices; analysis of the features of grounding various objects of transport infrastructure on the railway.

**Keywords:** railway automation, telemechanics, railway automation and telemechanics, grounding, negative impact, protection of railway automation and telemechanics, resistance standards, protective-disconnecting device.

Любое оборудование и устройства железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), эксплуатируемые в дистанциях железных дорог Российской Федерации, могут быть подвержены электромагнитному влиянию от внешних воздействий и погодных явлений (грозы) [1; 2]. Прямое попадание молнии в места скопления устройств ЖАТ влечет за собой механические повреждения, и, соответственно, выход оборудования из строя [3]. Таким образом, одним из главных вопросов обеспечения безопасного и надежного функционирования устройств ЖАТ является электробезопасность устройств

(заземление устройств и объектов, защита от вредоносного влияния грозы и т. д.). Объекты в хозяйстве автоматики и телемеханики, подлежащие заземлению:

- Напольные устройства СЦБ.
- Волноводы и линии связи, проложенные по опорам контактной сети.
- Протяженные воздухопроводы систем пневмоочистки стрелок и пневмопочты.
- Светильники, прожекторные мачты, воздушные линии электроснабжения и линии освещения, проложенные по опорам контактной сети, отдельно стоящих опор освещения.

Для обеспечения электробезопасности на сети железных дорог, защитное заземление должно выполняться на всех доступных для прикосновения пользователем металлических частях конструкций и устройств.

Нормативные требования по заземлению объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ) как на железных дорогах, так и в городе [4] регламентируют следующее. Защитное заземление применяется на всех открытых металлических поверхностях механизмов и конструкций. На рисунке представлены нормативы сопротивления устройств заземления.

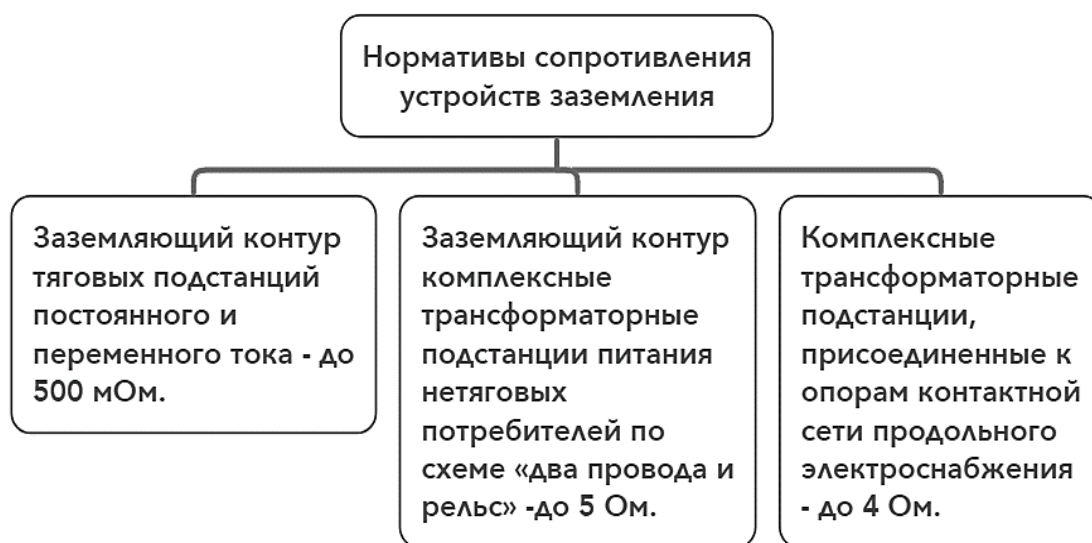


Рисунок. Нормативы сопротивления устройств заземления

Заземление необходимо выполнять способом, при котором отключается режим короткого замыкания (КЗ). При этом обязательным является соблюдение нормируемых значений напряжения на заземляемых электроустановках для соответствующей продолжительности срабатывания защиты.

В обычном режиме разрешается создавать разрыв в цепи заземления посредством включения в нее защитных устройств, при условии обеспечения ими замыкания цепи, в случае возникновения опасных напряжений на объектах защиты. Значение напряжения, при котором срабатывает защитное устройство, должно быть не более 1200 В.

Для защиты от перенапряжений объектов на участках переменного тока заземление выполняется двумя глухими проводниками. На участках постоянного тока заземление выполняется при помощи диодных заземлителей.

В таблице представлены классы замещения для заземляющих устройств. Выбор схемы заземления объектов ЖАТ выполняется исходя из данных таблицы.

Таблица – Классы замещения для заземляющих устройств

Глухое	Глухое с дополнительной изоляцией от земли	Через защитное устройство	Комбинированное с нейтральной вставкой	Комбинированное с дополнительной изоляцией между конструкциями	Без заземления на рельсовую сеть
I	II	III	IV	V	VI
$R_3 \geq R_{\text{норм}}$	$R_3 > R_{\text{норм}}$				По особым условиям
Условия применения					
Глухое заземление обязательно	Глухое заземление не обязательно		Глухое заземление конструкции А обязательно		

Наилучшим с точки зрения электробезопасности и надежности защиты от токов короткого замыкания является выполнение глухого заземления. Поэтому при молниезащите объектов первоначально оценивают возможность его организации с соблюдением требований СЦБ и защиты от электрической коррозии.

Ниже приведен анализ особенностей заземления различных ОТИ на ЖД.

Для заземления тяговых подстанций используют шину заземления, к которой подключают распределительные устройства внутренних установок. Заземляющий контур подключают как минимум дважды с самой шиной. Электроустановки РУ заземляют с помощью внутреннего контура, присоединяя с контуром внешнего типа не менее, чем в двух точках так, чтобы отсутствовало постоянное электрическое соединение с отсасывающей линией, рельсами подъездного пути подстанции, шиной отрицательной полярности.

По нормативным требованиям внешний контур заземлителя и естественные заземлители – не более 500 мОм в целом. На контуре заземления к земле при стекании – не более 10 000 В. При 5 кВ и выше, согласно правилам, изоляцию кабелей связи обеспечивают лучшей защитой.

Для заземления опор контактной сети используют либо индивидуальное, либо групповое подсоединение заземляющих спусков к тяговой рельсовой сети. Расстояние между местом подключения спусков группового заземления к РЛ должно быть от 100 м и выше.

По нормативным требованиям, при токе постоянного рода длина провода с групповым подсоединением: до 1200 м при Т-образной схеме для железобетонных; для металлических опор: до 600 м. При Г-образной схеме не более 600 м для железобетонных; не более 300 м для металлических опор. При токе переменного рода длина для любого типа опор для Г- и Т-образной схеме подключения: до 200 и 400 м соответственно.

Места присоединения спусков групповых заземлений с диодными и диодно-искровыми заземлителями к рельсам должны быть удалены от мест присоединения к рельсам разрядников контактной сети не менее чем на 100 м.

Заземление искусственных сооружений при наличии нейтральных вставок производится в тех случаях, когда по сооружению проложены линии переменного тока 50 Гц. Во все анкеровки проводов на сооружение между основной изоляцией и заземленными частями врезают дополнительные изоляторы; на всех обводках и отбойниках также врезают дополнительные изоляторы в подвесные гирлянды, устанавливая прокладки и втулки; все общие элементы между основной и дополнительной изоляцией объединяют одним общим проводом из меди, который присоединяют к рельсу.

Общее сопротивление изоляции от металлоконструкций должно быть не менее 1000 Ом, проверяют мегомметром не менее одного раза в 6 месяцев. Сопротивление заземляющих устройств берется до 4 Ом [5].

Также при проектировании требуется учитывать защитное отключение – быстросрабатывающую защиту, обеспечивающую автоматическое отключение оборудования при появлении в ней риска удара током. Защитное отключающее устройство ЗОУ подает команду на отключение оборудования, если значения тока и напряжение меньше заданного. ЗОУ выполняет функции следующих защит: от замыканий на землю или на нормально заземленные элементы оборудования; от неполных замыканий, когда снижение уровня изоляции одной из фаз создает опасность поражения человека; от удара человека электрическим в случае прикосновения. Время срабатывания ЗОУ может составлять 0,2 с, а в высокочувствительных – до 0,02 с.

Устройства, применяемые в качестве автоматического средства защиты или в комплексе с защитным заземлением, конструктивно выполняются в виде автоматических выключателей, контакторов, снабженных отключающими реле. Элементами прибора являются: датчик, фиксирующий изменение электрического параметра и преобразующий его в полезный сигнал; усилитель сигнала датчика, цепь самоконтроля электрической схемы прибора; лампы индикации; измерительные приборы; автоматический выключатель электрической цепи.

Таким образом, защитное заземление является одним из важнейших элементов обеспечения электробезопасности на железной дороге. Неверно спроектированные заземляющие устройства ЖАТ могут привести как неисправностям объектов транспортной инфраструктуры железной дороги, так

и человеческим жертвам. Заземление требуется производить обязательно в соответствии с Правилами технической эксплуатации.

#### **Список литературы:**

1. Семенцова, Т. М., Степанова, И. А., Асташков, Н. П. Обеспечение защиты устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от перенапряжений / Т. М. Семенцова, И. А. Степанова, Н. П. Асташков. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2020. – №. 1. – С. 13-18.
2. Снетков, И. В. Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от перенапряжений / И. В. Снетков. – Текст : непосредственный // Молодежная наука Сибирского региона. – 2019. – С. 344-347.
3. Монид, О. И., Копанев, М. В., Кондратюк, Т. В. Анализ причин и последствий действия грозových перенапряжений в системах железнодорожной автоматики и телемеханики / О. И. Монид, М. В. Копанев, Т. В. Кондратюк. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2021. – №. 1. – С. 291-300.
4. Башаркин, М. В. О возможностях внедрения системы автоматического переключения трамвайного стрелочного перевода (на примере г. Самары) / М. В. Башаркин, А. С. Хохрин, А. А. Ионов, В. Б. Тепляков. – Текст : непосредственный // Наука и образование транспорту. – 2018. – № 1. – С. 194-196.
5. Петров, П. Р. Алгоритм работы устройства контроля электромеханического состояния изолирующих стыков / П. Р. Петров, А. С. Хохрин, Н. С. Шорохов. – Текст : непосредственный // Наука и образование транспорту. – 2018. – № 1. – С. 217-219.

© Ионин М. А., Сабанцев А. В., Хохрин А. С., 2022

## ВЫБОР КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

доцент, канд. техн. наук **Дятлова Елена Павловна**,  
ассистент **Новикова Мария Андреевна**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье приводятся примеры зарубежных и отечественных программируемых логических контроллеров, которые наиболее часто используются в системах вентиляции и кондиционирования. Описываются основные параметры контроллеров, наиболее важные для выбора подходящего устройства.

**Ключевые слова:** программируемый логический контроллер, состав контроллера, аппаратная часть, среда программирования, панель оператора.

## CHOOSING A CONTROLLER FOR VENTILATION SYSTEMS

Associate Professor, PhD in Technology **Dyatlova Elena Pavlovna**,  
Assistant **Novikova Mariya Andreevna**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** This article provides examples of foreign and domestic programmable logic controllers that are most often used in ventilation and air conditioning systems. The main parameters of the controllers that are most important for choosing a suitable device are described.

**Keywords:** programmable logic controller, the composition of the controller, hardware part, programming environment, operator panel.

В настоящее время практически все вентиляционные установки во вновь строящихся и уже эксплуатируемых зданиях оснащаются и оснащены автоматизированными системами управления [1].

Современные автоматизированные системы управления вентиляцией строятся на базе специализированных микропроцессорных контроллеров.

Согласно исследованию Mordor Intelligence, в 2019 году рынок программируемых логических контроллеров (ПЛК) оценивался почти в 4 миллиарда долларов (3897,36 миллиона долларов). Ожидается, что к 2025 году он достигнет 4,3 миллиарда долларов (4292,66 миллиона долларов) при годовом темпе роста на 3,7 процента [2]. Видно, что количество выпускаемых, а, следовательно, и используемых контроллеров, растет.

На рынке контроллеров в России представлены контроллеры как зарубежного, так и отечественного производства.

Среди отечественных контроллеров известны: универсальный контроллер автоматики вентиляции Optimus 911 фирмы “Электротест Инжиниринг”; контроллер ОВЕН ТРМ 133М компании “ОВЕН”; контроллеры Segnetics Pixel компании ООО “Сегнетикс”; программно-технический комплекс КОНТАР производитель ОАО “МЗТА”.

Из зарубежных контроллеров, используемых для автоматизации вентиляции, известны: конфигурируемый контроллер серии ECL Control фирмы “Danfoss”, Германия; программируемые контроллеры ТАС Xenta, Швеция; контроллеры Modicon M171/M172 фирмы “Schneider Electric”; различные типы программируемых контроллеров марки Siemens.

По разным оценкам, Siemens является лидером в области ПЛК, имеет примерно от 30 до 40 процентов доли рынка, продают гораздо больше ПЛК, чем все остальные компании, вместе взятые [2].

Выбор марки и фирмы-производителя контроллера во многом определяется бюджетом, который предприятие может выделить на покупку, однако, на сегодняшний день при покупке контроллера, следует ориентироваться на отечественного производителя.

Не существует единой методики выбора контроллера. Тем не менее, при выборе контроллера необходимо учитывать следующие факторы:

- аппаратная часть, совместимость с полевым оборудованием;
- удобство программирования, стоимость программного обеспечения (ПО), сложность ПО;
- возможности НМИ (человеко-машинный интерфейс, визуализация);
- интеграция со сторонними сетями / SCADA системами и др. [3].

В состав любого типа контроллера входит: базовый комплект, проектно-компонованный комплект, а также панель оператора.

Базовый комплект включает процессор и память: оперативную (ОЗУ) – для хранения числовых данных и постоянную (ПЗУ) – для хранения программ. Проектно-компонованный комплект – это устройство ввода / вывода сигналов. Его состав определяется числом каналов ввода-вывода и содержит блоки гальванической развязки для разделения входов и выходов от нагрузки; мультиплексор для коммутации аналоговых сигналов, а также аналого-цифровые (АЦП), цифро-аналоговые (ЦАП), дискретно-цифровые (ДЦП) и цифро-дискретные (ЦДП) преобразователи.

В качестве удобной среды для программирования контроллеров на языках стандарта МЭК 61131-3 используется среда программирования CoDeSys (CoDeSys образуется от слов Controllers Development System). Среда имеет много библиотек, широкий функционал, языки текстовые и графические.

Панель оператора контроллера имеет клавиши, кнопки и устройство отображения информации в виде цифрового индикатора. Наличие дисплея делает эксплуатацию системы более простой и удобной.

Параметры процессорного модуля (тип и быстродействие процессора, объем памяти и прочее), среда программирования ПЛК (удобство и простота),

модульность структуры, соответствие международным стандартам, надежность и ремонтпригодность – важные аспекты при выборе контроллеров.

Производимые контроллеры конструктивно подразделяют на моноблочные, модульные и распределенные. Моноблочные контроллеры имеют фиксированный набор входов-выходов. В модульных контроллерах модули входов-выходов устанавливаются в разном составе и количестве в зависимости от требуемой конфигурации. В распределенных системах модули могут быть разнесены на значительные расстояния.

Крупным производителем промышленной автоматики в России является фирма «Овен». В России фирма считается в лидерах по контроллерам.

Контроллер для управления системами вентиляции и кондиционирования – ОВЕН ТРМ133М [4]. Внешний вид контроллера серии ТРМ133 представлен на рисунке [5].



Рисунок. Внешний вид контроллеров серии ТРМ133

Он выпускается в двух модификациях: для управления с водяным (ТРМ133М-02) и электрическим (ТРМ133М-04) калорифером нагрева и поставляется в комплекте с модулем расширения MP1. Каждая из модификаций предусматривает работу с фреоновым либо водяным охладителем в зависимости от значений конфигурационных параметров.

ОВЕН ТРМ133М-02/04 обеспечивает решение наиболее типовых задач в области автоматизации управления оборудованием систем вентиляции. Прибор контролирует и регулирует температуру воздуха в помещениях, оборудованных приточной или приточно-вытяжной вентиляцией, на его встроенном индикаторе отображаются температуры и режимы работы, он формирует сигналы управления встроенными выходными элементами и обеспечивает поддержку температуры приточного воздуха в соответствии с уставкой или графиком, выдержку температуры обратного теплоносителя по графику, автоматический выбор режимов (прогрев/нагрев/вентиляция/охлаждение/защита от замерзания/дежурный), автонастройку ПИД-регуляторов. Контроллер способен осуществлять автоматический перевод в дежурный режим в ночное время и выходные дни, имеет функцию диагностики аварийных ситуаций. Он оснащен встроенными часами реального времени с возможностью автоматического перехода зима/лето [4]. Задание значений программируемых рабочих параметров реализуется помощью встроенной клавиатуры управления, а также от ПК по сети RS-485 и RS-232. Поддержка протоколов обмена: ОВЕН, Modbus-RTU и Modbus-ASCII.



Контроллер имеет восемь универсальных аналоговых входов, обеспечивающих работу с термосопротивлениями, термопарами, универсальными сигналами тока или напряжения, резистивными датчикам положения (до 2 кОм); восемь дискретных входов (12 ... 36 В). Модуль МР1 увеличивает число дискретных выходных устройств до 14. Для питания аналоговых датчиков либо формирования дискретных входных сигналов ТРМ133М имеет встроенный источник питания (24 В, 180 мА). Символьный жидкокристаллический индикатор 16x2 совместно с кнопочной клавиатурой обеспечивает удобную настройку и эксплуатацию прибора. Встроенный звукоизлучатель дополняет человеко-машинный интерфейс.

Контроллер прошел испытания на соответствие требованиям электромагнитной совместимости по ГОСТ 51522 для промышленного оборудования класса «А» (МЭК 61326-1), климатические и метрологические испытания, испытания на прочность изоляции и виброустойчивость.

ТРМ133М выполнен в пластиковом корпусе для крепления на DIN-рейку с габаритами 157x86x58 мм. Ряд перечисленных выше контроллеров отечественного производства также обеспечивают выполнение ряда требований, выдвигаемых при покупке контроллеров. Цены их могут отличаться, но имеют один порядок. Многое зависит от желаний и возможностей заказчиков.

### **Список литературы:**

1. Voropanova M. A., Dyatlova E. P., Energy saving in automated ventilation and air conditioning control systems // Theory and Practice of Modern Science: the View of Youth: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference in English. Scientific publication, St. Petersburg, November 25, 2021 / Comp. E. N. Lashina, M. S. Lipatov. Under the general editorship of V. V. Kirillova. In 2 parts. SPb.: HSTE SPbGUITD. 2022. Vol I. P. 269-274.
2. Электрик инфо: 15 ведущих мировых производителей программируемых логических контроллеров (ПЛК): [сайт]. – 2021. – URL: <http://elektrik.info/plc/1806-top-veduschih-proizvoditeley-plc.html> (дата обращения: 14.11.2022). – Текст : электронный.
3. Электротест инжиниринг: Дистанционное управление вентиляцией: [сайт]. – URL: <https://electrotest.ru/production/remote-control.html> (дата обращения: 16.11.2022). – Текст : электронный.
4. Гайворонский, А. Контроллер систем приточно-вытяжной вентиляции ТРМ133М: качество по доступной цене / А. Гайворонский. – Текст : электронный // АиП. – 2020. – № 1. – URL: [https://aip.com.ru/article/kontroller\\_sistem\\_pritочно\\_vytujnoy](https://aip.com.ru/article/kontroller_sistem_pritочно_vytujnoy) (дата обращения: 18.11.2022).
5. ОВЕН: ТРМ133 контроллер приточной вентиляции: [сайт]. – URL: [https://owen.ru/product/trm\\_133](https://owen.ru/product/trm_133) (дата обращения: 18.11.2022). – Текст : электронный.

© Дятлова Е. П., Новикова М. А., 2022

## ВЫБОР ДАТЧИКА ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ОХРАННОЙ СИСТЕМЫ УМНОГО ДОМА

студент **Цепелев Михаил Васильевич**,  
науч. руководитель: ст. преподаватель **Соколов Владислав Сергеевич**,  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А. Н. Туполева,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье представлено описание беспроводного датчика для умного дома, работающего по протоколу Z-Wave. Описываются характеристики, преимущества выбора датчика движения для охранной системы умного дома.

**Ключевые слова:** умный дом, автоматизированная система, датчики, охранная система, температура, освещенность.

## CHOOSING A MOTION SENSOR FOR A SMART HOME SECURITY SYSTEM

Student **Tsepelev Mikhail Vasilevich**,  
Academic Advisor: Senior Lecturer **Sokolov Vladislav Sergeevich**,  
Kazan National Research Technical  
University named after A. N. Tupolev,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** The article provides a description of a wireless sensor for a smart home operating on the Z-Wave protocol. The characteristics and advantages of choosing a motion sensor for a smart home security system are described.

**Keywords:** smart home, automated system, sensors, security system, temperature, illumination.

С давних времен у человека появилось чувство того, что его жилище должно охраняться. Если раньше этим занимался сам хозяин жилья, то сейчас эту проблему с легкостью может решить охранная система умного дома. А что, если у этой охранной системы будет еще и датчик температуры, освещенности? Получается, что одна комната уже будет оборудована почти всем необходимым для полноценной системы умного дома, что будет создавать немаловажный комфорт и уют в квартире. Рассмотрим, какие варианты может предложить рынок.

Развитие технологий зашло достаточно далеко, поэтому человек может позволить себе использовать системы без проводов, в компактном корпусе. Для умного дома имеется протокол Z-Wave, который использует маломощные и миниатюрные радиочастотные модули, встраиваемые в бытовую электронику и различные устройства, такие как осветительные приборы, приборы отопления,

устройства контроля доступа, развлекательные системы и бытовую технику. Z-Wave, в отличие от Wi-Fi, работает на частоте до 1 ГГц и оптимизирована для передачи простых управляющих команд с малыми задержками (такие как включить или выключить, изменить яркость, громкость). Выбор такого частотного диапазона обусловлен малым количеством потенциальных источников помех, в отличие от таких технологий, как Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth. При использовании перечисленных технологий придется прибегнуть к различным манипуляциям для уменьшения помех от других рабочих устройств в их частотном диапазоне 2,4 ГГц. К тому же на рынке имеются решения на Z-Wave для датчиков дыма, открытия двери/окна, температуры, освещенности, влажности и протечки, что означает наличие всех компонентов для будущей системы умного дома.

В основе решения Z-Wave лежит ячеистая сеть (mesh сеть), в которой каждый узел или устройство может принимать и передавать управляющие сигналы другим устройствам сети, используя промежуточные соседние узлы. Mesh – это самоорганизующаяся сеть с маршрутизацией, зависящей от внешних факторов, например, при возникновении преграды между двумя ближайшими узлами сети сигнал пойдет через другие узлы сети, находящиеся в радиусе действия. Для своей работы датчики объединяются в mesh-сеть, в которой присутствуют ретрансляторы сигнала, чтобы увеличить зону покрытия. Также устройства имеют специальный режим энергосбережения – большую часть времени они проводят в спящем режиме и отправляют информацию только при изменении своего состояния, что позволяет существенно продлить жизнь встроенной батареи.

Так как наше устройство отвечает за охрану дома, нужно понимать, что выбранный протокол должен быть защищенным. В Z-Wave используется доработанная система безопасности Z-Wave S2 Security, в качестве алгоритма которой лежит шифрование AES-128, для первичной выдачи ключа используется алгоритм открытого распределения ключей Диффи-Хелмана [1]. AES-128 – это симметричный алгоритм блочного шифрования, который хорошо проанализирован и широко используется.

Итак, рассмотрим наилучший вариант, поддерживаемый протоколом Z-Wave, который можно найти на рынке для квартиры, оборудованной системой умного дома.

На просторах интернета можно найти датчик FIBARO Motion Sensor, который обнаруживает присутствие человека, включает и выключает свет и запускает программируемые сценарии. Датчик движения имеет функции регулирования чувствительности сенсора движения, обладает встроенным датчиком температуры и освещенности, акселерометром для защиты от снятия, имеет компактный корпус, а также цветовую индикацию в зависимости от температуры в комнате или состояния датчика.

Рассмотрим характеристики выбранного датчика.

Тип датчика движения – пассивный инфракрасный. Диапазон измеряемой температуры – от -20 до +100 °С. Размер корпуса – 47 мм в диаметре. Питается датчик от 1 батарейки CR123A. Рабочая частота – специально выделенная для

России 869 МГц. Зона охвата – 120 градусов. Дальность – 7 метров. Диапазон измеряемой освещенности – 0-32000 Lux [2].

К наиболее часто используемому оборудованию, предназначенному для фиксации движения объектов в наблюдаемых локациях, относят инфракрасные датчики. Они наиболее оптимально подходят для работы в составе систем управления освещением автоматического действия и реагируют только на людей или животных. ИК датчики просты в настройке и эксплуатации, обладают возможностью с легкостью установить требуемые углы обнаружения и дальность действия сигнала. Немаловажное преимущество такого оборудования также заключено в том, что оно полностью безопасно для здоровья людей или животных. Пассивные ИК датчики максимально безвредны для здоровья, так как они сами не излучают никаких волн, а только принимают их.

Диапазоны измеряемой температуры подходят в условиях использования нашего датчика в умном доме или квартире. Погрешность датчика температуры составит 0.5 °С. Рабочие температуры составляют от 0 до +40 °С, что тоже удовлетворяет использованию датчика в жилище.

Датчик маломощный и энергоэффективный, что позволяет использовать для его питания трехвольтовую литиевую батарейку CR123A.

Датчик имеет широкий угол охвата – 120 градусов и широкую дальность охвата – 7 метров, что позволит без помех определить присутствие человека или животного в комнате.

Так как выбранное устройство поддерживает Z-Wave, его можно подключить в mesh-систему датчиков, поддерживающих этот протокол. Например, умная розетка Zipato PAN16, датчик протечки Neo Coolcam, датчик задымления Zipato PH-PSG01 могут работать в общей сети с выбранным устройством. Все датчики можно подключить к контроллеру сети Z-Wave USB Stick ZME E UZB1. Таким образом, получится готовая система умного дома со всеми необходимыми датчиками, однако этот список можно пополнить – к контроллеру можно подключить до 232 устройств.

Перейдем к положительным сторонам использования датчиков, поддерживающих протокол Z-Wave:

- 4,3 млрд зашифрованных кодов безопасности для предотвращения клонирования;
- используемый сетевой протокол обеспечивает надёжность;
- удаленный мониторинг (через интернет или мобильный телефон);
- не требует прокладки новых кабелей;
- масштабируем и расширяем в любой момент новыми устройствами;
- может быть построен с помощью программного обеспечения с открытым исходным кодом;
- гарантирует совместимость со всеми устройствами от разных производителей, имеющих соответствующий логотип Z-Wave.

Недостатки использования протокола:

- хотя технология Z-Wave является интересным решением, особенно для уже построенных домов, низкая скорость передачи данных исключает передачу изображений, звука и других данных;

- кроме того, для решений, где требуется более 30 устройств, Z-Wave начинает становиться более дорогим, чем кабельные системы;
- из-за своих конструктивных особенностей такие системы имеют ограниченные масштабы и радиус действия и требуют использования повторителей или даже кабелей.

Все указанные выше устройства можно подключить к микрокомпьютеру Raspberry Pi 3 model B+. Таким образом мы обеспечим передачу сигнала от контроллера Z-Wave на микрокомпьютер, а к нему, в свою очередь, можно подключить IP-камеру, которая будет делать видеозахват. В результате мы избавились от одного из недостатков.

Мы рассматриваем систему, которая будет использовать небольшое количество устройств и небольшую зону покрытия, поэтому второй и третий недостатки в данном случае несущественны.

Итак, в силу своих достоинств для умного дома стоит выбирать датчики, поддерживающие протокол Z-Wave, так как они работают на частоте 1 ГГц, энергоэффективны, устойчивы к помехам, такие датчики можно объединять и связывать в одну сеть. Датчики беспроводные, компактные и не требуют прокладки дополнительных кабелей [1; 2; 3].

Хорошим выбором датчика движения в небольшую умную квартиру будет FIBARO Motion Sensor, так как объединяет в себе датчик движения, температуры и освещенности. Несомненным плюсом является его компактность и энергоэффективность, а также датчик является беспроводным.

### **Список литературы:**

1. Интернет-магазин датчиков Z-Wave. Страница описываемого датчика, его описание и характеристики: [сайт]. – URL: <https://rus.z-wave.me/shop/sensors/fibaro-motion-sensor/#item-tabs> (дата обращения: 15.11.2022). – Текст : электронный.
2. Технология Z-Wave. Описание, характеристики: [сайт]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Z-Wave> (дата обращения: 02.11.2022). – Текст : электронный.
3. Облачный умный дом: [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/post/467219/> (дата обращения: 16.11.2022). – Текст : электронный.

© Цепелев М. В., 2022

## БЕСТРАНСФОРМАТОРНОЕ ПИТАНИЕ ВТОРИЧНОЙ НАГРУЗКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

студент **Рубцов Кирилл Дмитриевич**,  
студент **Чинков Павел Олегович**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Колмаков Олег Витальевич**,  
Красноярский институт железнодорожного транспорта,  
филиал Иркутского государственного университета путей сообщения,  
г. Красноярск, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье рассматривается вопрос высших гармоник в электрической сети. Предложена новая схема для улучшения качества электросети, а также сглаживания гармоник с помощью суперконденсаторов. Работоспособность схемы проверена в программе LTspice. Также рассматривается вопрос хранения электрической энергии с помощью суперконденсаторов.

**Ключевые слова:** гармоники, вторичный источник питания, нагрузка, транзистор, качество электроэнергии, суперконденсатор, улучшение качества.

## TRANSFORMER-FREE SECONDARY LOAD POWER SUPPLY USING SUPERCAPACITORS

Student **Rubtsov Kirill Dmitrievich**,  
Student **Chinkov Pavel Olegovich**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Kolmakov Oleg Vitalievich**,  
Krasnoyarsk Institute of Rail Transport,  
Branch of Irkutsk State University of Railway Transport,  
Krasnoyarsk, Russian Federation

**Abstract.** This article discusses the issue of higher harmonics in the electrical network. A new scheme is proposed to improve the quality of the power grid, as well as smoothing harmonics using supercapacitors. The operability of the scheme is checked in the LTspice program. The issue of storing electrical energy using supercapacitors is also being considered.

**Keywords:** harmonics, secondary power supply, load, transistor, power quality, supercapacitor, quality improvement.

### *Введение*

Источник вторичного электропитания – это устройство, которое использует электрическую энергию, получаемую от первичного источника питания, и формирует вторичное электрическое питание аппаратуры.

В качестве первичного источника питания обычно используется силовая сеть переменного тока.

С каждым годом источники вторичного электропитания с бестрансформаторным питанием становятся все более популярнее.

В ходе написания статьи «Бестрансформаторное питание вторичной нагрузки» [1] был сделан вывод о том, что включении схемы качество электрической сети улучшается, а высшие гармоники частично будут ликвидироваться.

Чтобы минимизировать влияния высших гармоник в электрических сетях, была предложена схема вторичного источника питания (рисунок 1). Принцип работы предложенной схемы также описан в статье [1].

В схеме на рисунке 1 присутствующие гармоники сводятся к минимальным значениям во вторичной цепи и на нагрузке, соответственно.

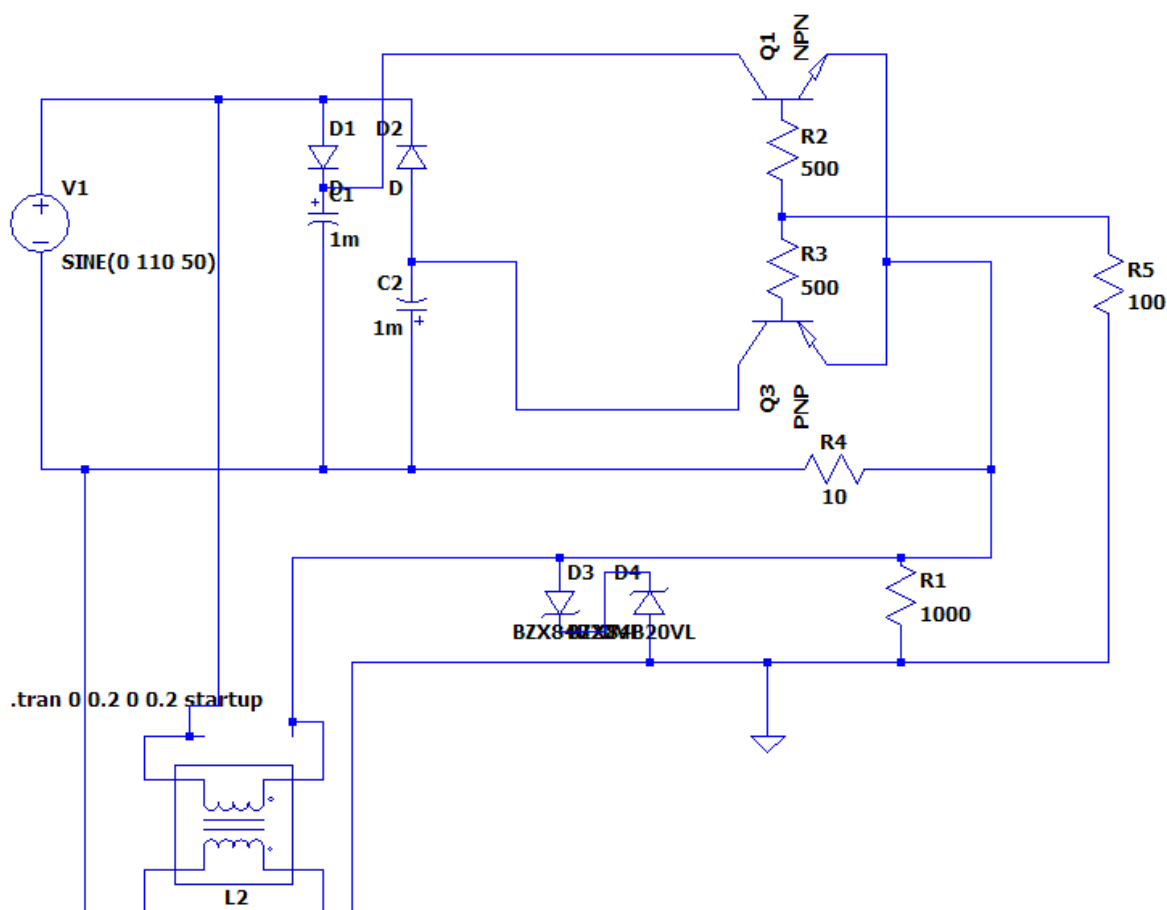


Рисунок 1. Исходная схема моделирования в программе LTspice XVII

#### *Анализ использования суперконденсатора в созданной схеме*

Суперконденсатор (или как его еще называют ионистор, а также ультраконденсатор) – это конденсатор большой емкости со значением емкости намного выше, чем у других конденсаторов, но с более низкими пределами напряжения, который устраняет зазор между электролитическими конденсаторами и аккумуляторными батареями.

На данный момент времени суперконденсаторы имеют достаточно высокую стоимость, чем его прямые конкуренты. Но в индустрию суперконденсаторов вложены значительные средства, поэтому в скором времени наш мир увидит широкое применение суперконденсаторов.

Суперконденсатор по своему принципу действия и конструкции представляет электролитический конденсатор с высокой удельной емкостью и энергией. Electroды ионистора выполнены из алюминиевой фольги с нанесенным на нее специальным углеродным материалом. Электроны разделены сепаратором, которые пропитаны органическим электролитом.

Накопление электрического заряда в ионисторе происходит за счет образования двойного электрического слоя на границе раздела сред электрода и электролита. При зарядке ионистора распределенные случайно ионы в электролите перемещаются к поверхности электрода противоположной полярности (от «+» к «-»). Следовательно, двойной электрический слой образуется на границе раздела электролита и обоих электродов. Двойные электрические слои соединены между собой последовательно. На рисунке 2 показаны зарядка и разрядка суперконденсатора в разрезе самого суперконденсатора.

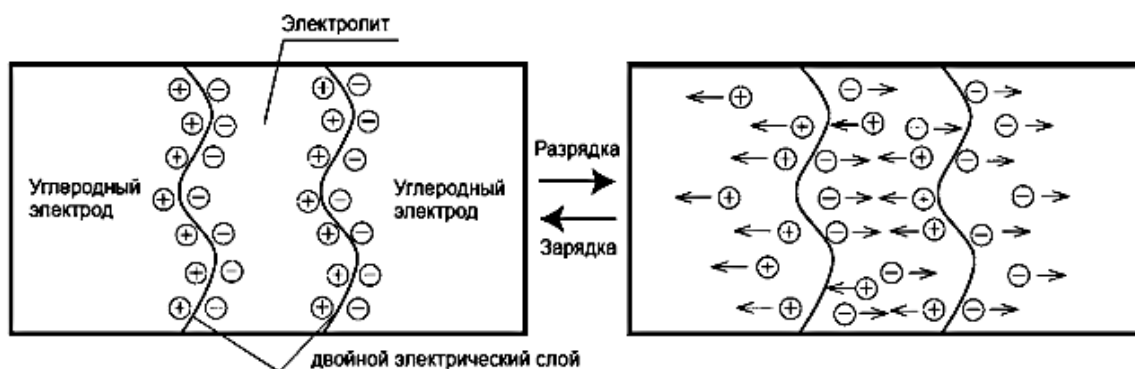


Рисунок 2. Схема зарядки и разрядки суперконденсатора

Суперконденсатор очень похож на самый обычный конденсатор, но при одинаковых размерах имеет большую емкость, накапливающее гораздо больше количества энергии за короткий промежуток времени, позволяющее сократить время подзарядки до минимального значения [2].

Суперконденсаторы имеют большое применение в таких сферах, как:

- общественный транспорт;
- электрические автомобили (электромобили);
- бытовая электроника (например, фотовспышка);
- ветровые турбины, кислотные батареи;
- в сфере энергетики (например, запуск электродвигателя);
- вышки мобильной связи;
- больничные учреждения;
- резервное электрическое снабжение персональных компьютеров (ПК);
- микропроцессоры;
- мобильные телефоны и многие другие различные сферы жизни.



Также суперконденсаторы имеют важные свойства, что отличает их от обычных конденсаторов:

- самая высокая плотность емкости;
- небольшие масса и габариты;
- самая низкая стоимость в расчете на 1 фараду (Ф);
- надежный, длительный срок службы суперконденсатора
- высокий коэффициент полезного действия (КПД) цикла (95 % и выше)
- бесперебойная эксплуатация;
- экологическая безопасность;
- широкий диапазон рабочих температур;
- высокая удельная мощность и достаточно высокая удельная энергия;
- очень высокая скорость заряда/разряда;
- большое количество (более тысячи) циклов с незначительным ухудшением параметров;
- хорошая обратимость механизма накопления энергии;
- сниженная токсичность используемых материалов;
- низкое эквивалентное последовательное сопротивление (ЭПС).

При этом важный параметр имеет зарядка, разрядка и подключения (последовательное, параллельное) суперконденсаторов.

Многие ученые говорят о том, что суперконденсаторы с каждым годом становятся все популярнее и в скором времени могут полностью заменить аккумуляторные батареи [2].

Зарядка суперконденсатора определяется по формуле:

$$t = R \cdot C \quad (1)$$

где  $t$  – время зарядки суперконденсатора, сек;  $R$  – подключенный резистор, Ом;  $C$  – емкость суперконденсатора, Ф.

Проведем небольшой эксперимент и проверим теоретические обоснования на практике. Допустим, что мы имеем источник питания  $U$  равный 5 В, резистор  $R = 10$  Ом и суперконденсатор, емкость которого равна 1 Ф. Схема зарядки представлена на рисунке 3.

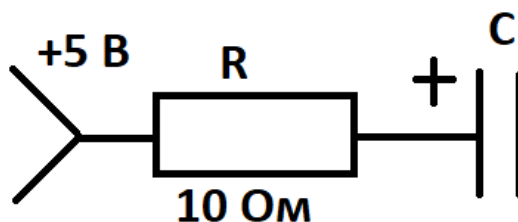


Рисунок 3. Схема для эксперимента в программе LTspice XVII

Производим расчет по формуле (1):

$$t = 10 \cdot 1 = 10 \text{ сек.}$$

За это время суперконденсатор будет заряжен примерно до 3,3 В через 10 секунд и до 5 В примерно через 5 секунд. При этом зарядный ток можно найти из закона Ома.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ A.}$$

Выходной график зарядки суперконденсатора емкостью 1 Ф через резистор сопротивлением 50 Ом от источника питания, который имеет напряжение 5 В (зафиксирован на осциллографе), изображен на рисунке 4.

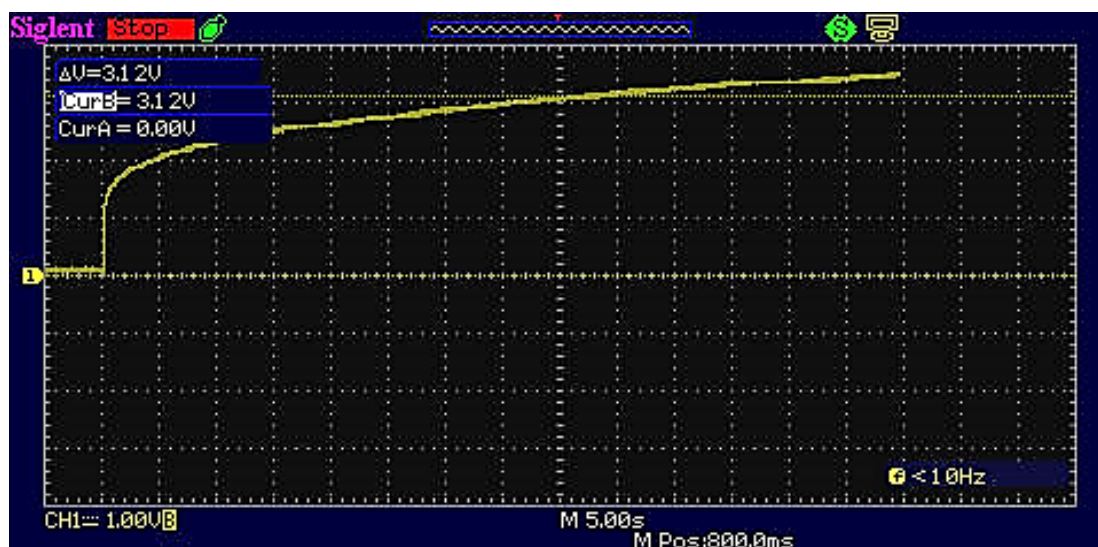


Рисунок 4. Выходной график зарядки/разрядки суперконденсаторов на примере расчета

По рисунку 4 можно увидеть, что суперконденсатор достиг заряда 66 % (3,3 В) за 10 секунд.

При этом нужно помнить, что:

- По мере зарядки суперконденсатора растет его заряд, а также напряжение.
- Ток заряда уменьшается по мере продолжения зарядки (в процессе от уменьшается почти до 0, согласно закону Ома).
- Время зарядки суперконденсатора зависит от емкости суперконденсатора  $C$  и от его сопротивления  $R$ .

Теперь производим проверку на схеме, предложенной и представленной на рисунке 1, поставив вместо обычных конденсаторов ионисторы. Параметры остаются такими же, как и в предыдущий раз (за исключением замены обычных конденсаторов на суперконденсаторы емкости  $C = 10 \text{ Ф}$ . Самое главное условие подключения суперконденсаторов: не допускается подключение суперконденсаторов в обратной полярности).

При включении схемы в программе LTspice XVII было определено, что схема работает, так как при ее включении не было показано ошибок. При открытии осциллографа были выведены графики, представленные на рисунке 5.

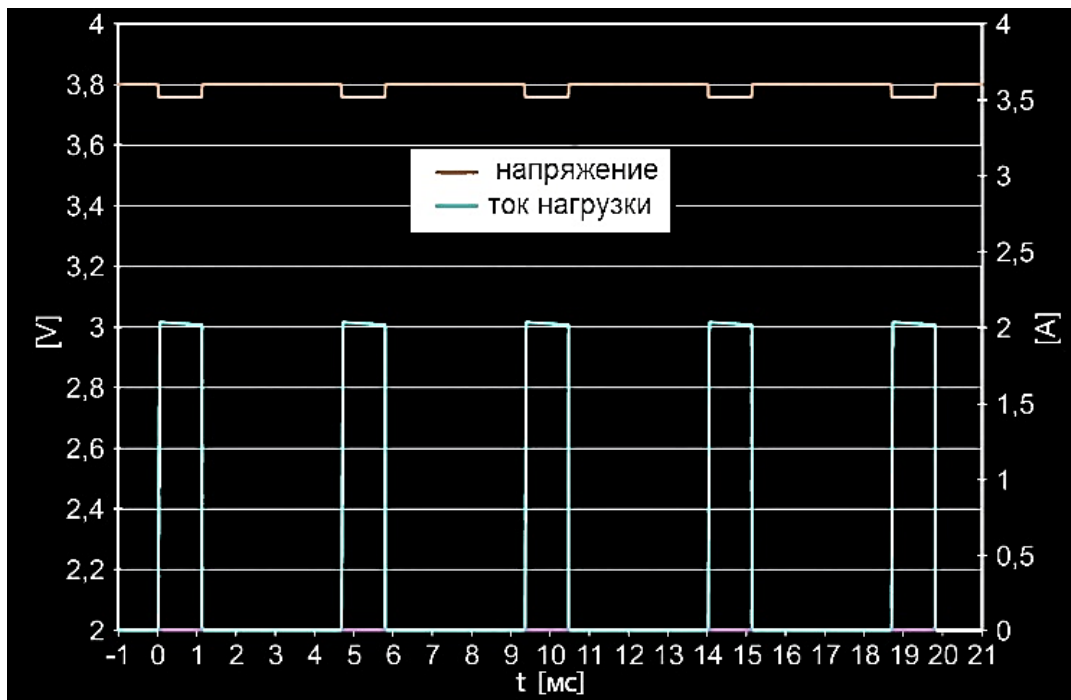


Рисунок 5. Выходные графики заряда и разряда, напряжения и тока нагрузки суперконденсатора по предложенной схеме

### Заключение

В ходе выполнения работы было определено, что замена обычных конденсаторов на суперконденсаторы в предложенной схеме дают наиболее лучший эффект. Это подтверждается тем, что из всех современных энергетических систем в первую очередь идут суперконденсаторы, которые имеют более высокие значения плотности энергии и мощности, что позволяет реализовывать совершенно новые устройства в нашем огромном мире.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что при включении новой предложенной схемы качество электросети будет улучшаться, а высшие гармоники будут уменьшаться за счет уменьшения реактивной мощности в электрической сети.

Также можно сделать вывод о том, что при установке в схемах суперконденсаторы будет дольше работать оборудование, потребуется меньше затрат на ремонт и обслуживание оборудования, в котором используются суперконденсаторы. При этом также скажутся все положительные качества в применяемых сферах.

### Список литературы:

1. Рубцов, К. Д., Чинков, П. О. Безтрансформаторное питание вторичной нагрузки К. Д. Рубцов, П. О. Чинков. – Текст : непосредственный // Молодежная наука : труды XXVI Всероссийской студенческой научно-практической конференции КрИЖТ ИрГУПС / – Красноярск, 2022. – С. 141-145.
2. Технология EDLC. Структура суперконденсаторов: [сайт]. – URL: <https://www.ultracapacitor.ru/tehnologii/> (дата обращения: 01.10.2022). – Текст : электронный.

3. Ионисторы (суперконденсаторы) – устройство, виды, применение: [сайт]. – URL: <https://www.ultracapacitor.ru/stati/ionistori/> (дата обращения: 01.10.2022). – Текст : электронный.
4. Деньщиков К. Суперконденсатор: принцип построения, техника и применения: [сайт]. – URL: <https://pandia.ru/text/78/057/96067.php> (дата обращения: 01.10.2022). – Текст : электронный.
5. Применение суперконденсаторов EDLC в возобновляемой энергетике. Мировая практика: [сайт]. – URL: <https://econet.ru/articles/150609-primenenie-superkondensatorov-edlc-v-vozobnovlyaemoj-energetike-mirovaya-praktika> (дата обращения: 01.10.2022). – Текст : электронный.
6. Электрические накопители энергии. Лекция 4: [сайт]. – URL: <http://eef.misis.ru/sites/default/files/lectures/1-3-4.pdf> (дата обращения: 01.10.2022). – Текст : электронный.
7. Ролдугин В.И. Двойной электрический слой. Лекция 9 // Лекции по коллоидной химии для студентов IV курса химического факультета МГУ: [сайт]. – URL: <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/colloid-rolugin-lectures/09.pdf> (дата обращения: 01.10.2022). – Текст : электронный.
8. Самодельный ионистор: [сайт]. – URL: <http://www.texnic.ru/books/electrotex/el024.htm> (дата обращения: 01.10.2022). – Текст : электронный.
9. Суперконденсаторы для электроники: [сайт]. – URL: <http://www.mobipower.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=397> (дата обращения: 01.10.2022). – Текст : электронный.
10. Ионисторы (суперконденсаторы) и модули на их основе: [сайт]. – URL: [https://elecond.ru/pdf/catalog\\_ionistors\\_2022.pdf](https://elecond.ru/pdf/catalog_ionistors_2022.pdf) (дата обращения: 01.10.2022). – Текст : электронный.
11. Сосновский, П. В., Дмитров, С. А. Устройство и применение суперконденсаторов / П. В. Сосновский, С. А. Дмитров. – URL: [https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/50368/USTROJSTVO\\_I\\_PRIMENENIE\\_SUPERKONDENSATOROV.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/50368/USTROJSTVO_I_PRIMENENIE_SUPERKONDENSATOROV.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (дата обращения: 01.10.2022). – Текст : электронный.
12. Суперконденсаторы и накопители энергии на основе наноматериалов систем накопления энергии (СНЭ) на их основе: [сайт]. – URL: [https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2020/10/14/39/4.\\_GS\\_Group.pdf](https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2020/10/14/39/4._GS_Group.pdf) (дата обращения: 01.10.2022). – Текст : электронный.

© Рубцов К. Д., Чинков П. О., 2022

## О ПОДХОДАХ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

студент **Лазорин Данил Сергеевич**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной  
безопасности критически важных объектов  
**Правиков Дмитрий Игоревич**,  
Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина,  
Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** Работа посвящена рассмотрению существующих подходов к обеспечению информационной безопасности цифровых двойников и формулированию предложений по выбору средств противодействия различным угрозам, прежде всего угрозе искажения цифрового двойника. Показано, что ни один из существующих подходов и методов не обеспечивает полноценной безопасности цифровых двойников. Предложена реализация комплексного подхода для обеспечения безопасности цифровых двойников в рамках актуальных для них специфических моделей угроз и нарушителя.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, цифровизация, информационная безопасность, модель угроз и нарушителя, компьютерная модель, многоуровневая система, цифровой сертификат, шифрование данных, криптографические алгоритмы, машинное обучение, токенизация.

## ON APPROACHES TO THE ENSURING INFORMATION SECURITY OF DIGITAL TWINS

Student **Lazorin Danil Sergeevich**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Head of the Department of Integrated  
Security of Critical Facilities  
**Pravikov Dmitriy Igorevich**,  
Gubkin Russian State University of Oil and Gas,  
Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The article is devoted to the consideration of existing approaches to ensuring the information security of digital twins and the formulation of proposals for the choice of means to counter various threats, primarily the threat of distortion of the digital twin. It is shown that none of the existing approaches and methods provides the full security of digital twins. The implementation of an integrated approach to ensure the security of digital twins within the framework of specific threat and intruder models that are relevant to them is proposed.

**Keywords:** digital twin, digitalization, information security, threat and intruder model, computer model, multilevel system, digital certificate, data encryption, cryptographic algorithms, machine learning, tokenization.

На сегодняшний день понятие цифровой двойник прочно заняло позиции в современных технологиях. Данный термин многогранен. Так или иначе – это виртуальная или компьютерная модель, способная выполнять и воспроизводить действия исходного объекта. Термин цифровой основан на математических формулах, описывающих рассматриваемый объект и его действия, либо же процессы. Отсюда вытекает термин цифровизация. Это внедрение современных технологий в определенные области компании, которые позволяют автоматизировать ее деятельность. Именно цифровизация позволяет вывести промышленность на абсолютно новый уровень [1].

Цифровой двойник связывает виртуальный (программный) мир с физическим. Это возможно с помощью информации, которая должна передаваться с различного рода оборудования. На помощь приходит огромное количество современных датчиков. Они могут быть установлены на объекте, конструкции или же на нефтеперерабатывающем заводе. Однако количество поступающей информации велико, требуются огромные вычислительные мощности для их обработки. На помощь приходит цифровой двойник, который позволяет имитировать и предсказывать параметры того или иного объекта (конструкции, установки). Его особенность – обработка и обновление информации, получаемой с объекта, в реальном времени [2].

Документация Министерства энергетики Российской Федерации подчеркивает востребованность цифровых двойников на рынке [3].

При помощи технологий цифрового двойника появляется возможность контролировать, следовательно, и устранять негативные последствия еще до того, как они могут произойти. Однако новые решения на производстве должны обладать определенной мерой защиты, которая должна быть детализирована и продумана до мелочей. Исходя из этого, приоритетной задачей является необходимость обеспечения информационной безопасности цифровых двойников, применяемых на технологических процессах.

#### *Подходы и методы обеспечения информационной безопасности цифровых двойников*

В данной работе были проанализированы научные источники и выбраны основные современные подходы и методы обеспечения информационной безопасности, которые могут быть применены к технологии цифровых двойников: блокчейн-структура, подход к организации информационного взаимодействия в многоуровневой системе, система иерархической токенизации элементов системы, Digital ID (цифровой сертификат доверия), технология распределенных реестров, средства шифрования данных при передаче по каналам связи, комплексный подход с использованием машинного обучения и искусственного интеллекта, обеспечение безопасности ЦД в рамках концепции многоуровневой платформы [4; 5; 6; 7].

В результате была построена таблица «Одни из способов и методов обеспечения комплексной безопасности цифровых двойников».

Таблица – Одни из способов и методов обеспечения комплексной безопасности цифровых двойников

Блокчейн-структура	✓
Организация взаимодействий в многоуровневой системе	✓
Цифровой сертификат доверия (Digital ID)	✓
Технология распределённых реестров	✓
Шифрование данных при передаче по каналам связи	✓
Использование машинного обучения и искусственного интеллекта	✓
Информационное взаимодействие в многоуровневой системе	✓
Соответствие модели реальному объекту	X

*Отечественные промышленные криптомодули ViPNet SIES Core & Pack*

На данный момент большинство нефтегазовых месторождений находятся на завершающей стадии эксплуатации и не оснащены порой элементарными средствами автоматизации. Следовательно, некоторые АИУС нефтегазовых обществ, а также АСУ ТП месторождения используют отечественное оборудование фирмы Infotecs. Существуют решения по анализу информационной безопасности АСУ ТП от компании Infotecs.

Нами было протестировано следующее программное обеспечение от данной фирмы: ViPNet Client 4. Это программное обеспечение для защиты трафика на рабочих местах пользователей. Оно фильтрует весь входящий и исходящий трафик компьютера и позволяет обмениваться данными с другими узлами ViPNet по защищенному VPN-каналу (сокр. Virtual Private Network). В программе имеется доступ к сетевым фильтрам, которые предназначены для использования или блокировки трафика по различным признакам. По умолчанию они ограничивают входящий незашифрованный трафик за исключением некоторых протоколов (DHCP, NetBIOS, WINS). Сетевые фильтры являются настраиваемыми. Программа контролирует сетевую активность приложений, которые установлены на устройстве. При попытке какого-либо приложения получить доступ к сети появляется соответствующее предупреждение. Помимо этого, появляется возможность отправлять сообщения электронной почты и вложения пользователям других узлов ViPNet. Стандартно сообщения зашифрованы и подписаны электронной подписью.

Стоит обратить внимание на криптографический модуль ViPNet SIES Core. Это средства защиты данных интеллектуальных устройств автоматизации, входящие в состав комплекса продуктов ViPNet SIES, предназначенные для защиты информации, обрабатываемой устройствами автоматизации промышленных систем. Они обеспечивают защиту данных в устройствах автоматизации, например, программируемые логические контроллеры (PLC), устройства сбора и передачи информации (RTU), промышленные контроллеры автоматизации (PAC), сенсоры, датчики, счетчики, различные исполнительные устройства.

Защищаемое устройство со встроенным ViPNet SIES Core может реализовывать различные сценарии защиты данных в зависимости от модели угроз и нарушителя информационной безопасности, разработанной для защищаемого устройства или индустриальной системы. Например, с помощью ViPNet SIES Core можно реализовать следующие сценарии: обеспечение целостности при передаче данных по существующим каналам связи; обеспечение конфиденциальности при передаче данных по существующим каналам связи; защита от навязывания индустриальной системе ложных данных, защита от повторов и навязывания индустриальной системе устаревших данных, доверенное обновление программного обеспечения (ПО) и конфигурации защищаемого устройства, доверенное хранение данных о функционировании защищаемого устройства [8].

На данный момент нами проводится тестирование криптографического модуля ViPNet SIES Core.

Проведенный анализ позволил выяснить, что ни один из рассматриваемых способов, подчеркнем, в отдельности не обеспечивает комплексной безопасности в рамках актуальных для цифровых двойников моделей угроз и нарушителя. Перспективным направлением является методология обеспечения информационной безопасности ЦД в соответствии с концепцией многоуровневой платформы.

Применение некоторых технологий защиты на сегодняшний день оправдано, но направлено на решение частных случаев. Для части методов (соответствие виртуальной модели реальному объекту) необходимо использовать другие подходы и средства, которые будут предложены в следующих работах.

Помимо вышеперечисленного, был разработан веб-сайт проекта (на котором будет актуализироваться информация о научной работе, проведена демонстрация результатов тестирования вышеперечисленных способов и методов обеспечения информационной безопасности цифровых двойников.

### **Список литературы:**

1. Намиот, Д. Е. Цифровые двойники и системы дискретно-событийного моделирования. / Д. Е. Намиот, О. Н. Покусаев, В. П. Куприяновский, М. Г. Жабицкий // International Journal of Open Information Technologies. – Vol. 9. No. 2. – 2021. – Текст : непосредственный.
2. Цифровое зеркало, «Газпром Нефть»: [сайт]. – URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-september-projects/1863687/> (дата обращения: 12.11.2022).
3. Паспорт: «Программы инновационного развития» ПАО «Газпром» до 2025 года. Министерство энергетики: инновационное развитие отраслей ТЭК: [сайт]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/4844> (дата обращения: 13.11.2022) – Текст : электронный.
4. Дроговоз, П. А., Кошкин, М. В. Проекты внедрения технологий блокчейн и интернета вещей в трансграничных цепочках поставок / П. А. Дроговоз, М. В. Кошкин. – Текст : непосредственный // Управление научно-техническими



- проектами : сб. материалов III междунар. науч.-техн. конференции – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – С. 153-156.
5. Mandolla C., Petruzzelli A. M., Percoco G., Urbinati A. Building a digital twin for additive manufacturing through the exploitation of blockchain // Comput. Ind. 2019. Vol. 109. P. 134-152.
6. Воробьев, А. В. Концепция информационного пакетного взаимодействия в многоуровневой системе цифровых двойников / А. В. Воробьев. – Текст : непосредственный // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2021. – Т. 21. – Вып. 4. – С. 532-543.
7. Правиков, Д. И., Глейм, А. В., Егоров, В. И., Рязанова, А. А., Щербаков, А. Ю. К вопросу о формулировании системного подхода к исследованиям в области цифровых платформ, распределенных реестров и цифровых активов / Д. И. Правиков, А. В. Глейм, В. И. Егоров, А. А. Рязанова, А. Ю. Щербаков. – Текст : непосредственный // Вестник современных цифровых технологий. – 2021. – № 9. – С. 5-14.
8. Защита информации для АСУ ТП и M2M: [сайт]. – URL: <https://infotecs.ru/resheniya/zashchita-informatsii-dlya-asu-tp-i-m2m.html> (дата обращения: 11.11.2022). – Текст : электронный.

© Лазорин Д. С., 2022

## СОСТАВ И СТРУКТУРА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА

студент **Войтов Владислав Витальевич**,  
инженер **Лядский Даниил Дмитриевич**,  
канд. техн. наук, доцент **Болотов Сергей Владимирович**,  
канд. техн. наук **Захарченков Константин Васильевич**,  
Белорусско-Российский университет,  
г. Могилев, Беларусь,  
канд. техн. наук, доцент **Потехин Вячеслав Витальевич**,  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье рассматривается состав, структура, принципы функционирования и архитектура программно-аппаратного комплекса контроля эффективности работы оборудования и идентификации персонала как фундаментальной основы для создания киберфизических систем подобного рода.

**Ключевые слова:** киберфизическая система, архитектура, управление, контроль эффективности.

## COMPOSITION AND STRUCTURE OF THE SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR EQUIPMENT PERFORMANCE CONTROL AND PERSONNEL IDENTIFICATION

Student **Voytov Vladislav Vitalyevich**,  
Engineer **Lyadsky Daniil Dmitrievich**,  
PhD in Technology, Associate Professor **Sergey Vladimirovich Bolotov**,  
PhD in Technology **Konstantin Vasilievich Zakharchenkov**,  
Belarusian-Russian University,  
Mogilev, Belarus,  
PhD in Technology, Associate Professor **Vyacheslav Vitalievich Potekhin**,  
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** Composition, structure, operating principles and architecture of then software and hardware system for monitoring equipment efficiency and personnel identification as a fundamental basis for creating cyber-physical systems of this kind are discussed in the article.

**Keywords:** cyber-physical system, architecture, management, efficiency control.

В эпоху четвертой промышленной революции актуальным является развитие таких новых технологий и направлений, как AI, BigData, Blockchain, Crypto, IoT. В связи с этим актуальной является задача создания киберфизических систем различных типов, в которых большая часть функций и логики аппаратуры переносится в программное приложение. Подобные решения позволяют существенно уменьшить стоимость создания киберфизической системы, обеспечить управление аппаратной частью системы с помощью мобильных устройств и web-приложений, увеличить скорость обработки информации, сократить сроки реализации киберфизической системы, упростить подключение и эксплуатацию системы конечными пользователями.

Одним из основных направлений развития интеллектуальных технологий является создание инструментальных средств и новых технологий для реализации киберфизических систем различных типов. Благодаря данным о параметрах процессов, непрерывно получаемым с датчиков и математическим моделям, в киберфизических системах осуществляется оценка в реальном времени параметров процессов, прогнозирование развития процессов во времени, обнаруживаются выходы параметров процессов за пределы допустимых значений, предотвращаются аварийные ситуации.

Проблема проектирования киберфизических систем различных типов, заключающаяся в сильном различии набора компонентов в зависимости от области применения создаваемых решений. Соответственно, актуальной является задача создания специализированных инструментальных средств и технологий создания киберфизических систем.

В связи с необходимостью импортозамещения в настоящее время остро стоит задача создания киберфизических систем, обеспечивающих комплексное повышение эффективности управления производственными процессами на основе интеллектуального анализа данных.

Для решения вышеперечисленных проблем предлагается создать программно-аппаратный комплекс контроля эффективности работы оборудования и идентификации персонала (см. рисунок).

Спроектированный программный комплекс может выступить в качестве фундаментальной основы создания киберфизических систем для повышения эффективности контроля работы оборудования и персонала на промышленных предприятиях, обеспечивая ускорение реализации производственных киберфизических систем под конкретные индивидуальные требования каждого заказчика. Для каждой реализации киберфизической системы в зависимости от функционала может изменяться и дополняться реализация отдельных компонентов программно-аппаратного комплекса.

Программно-аппаратный комплекс содержит следующие основные компоненты:

- 1) Блок радиочастотной идентификации. Обеспечивает контроль доступа персонала в помещения и к оборудованию, идентификацию персонала и оборудования с помощью RFID меток 13,56 МГц. По результатам контроля оценивается время нахождения персонала в помещении и эффективность работы оборудования: с учетом показаний датчика тока определяются режимы работы

оборудования, время простоев и ожидания. При обнаружении превышения допустимых значений силы тока происходит аварийное отключение оборудования.

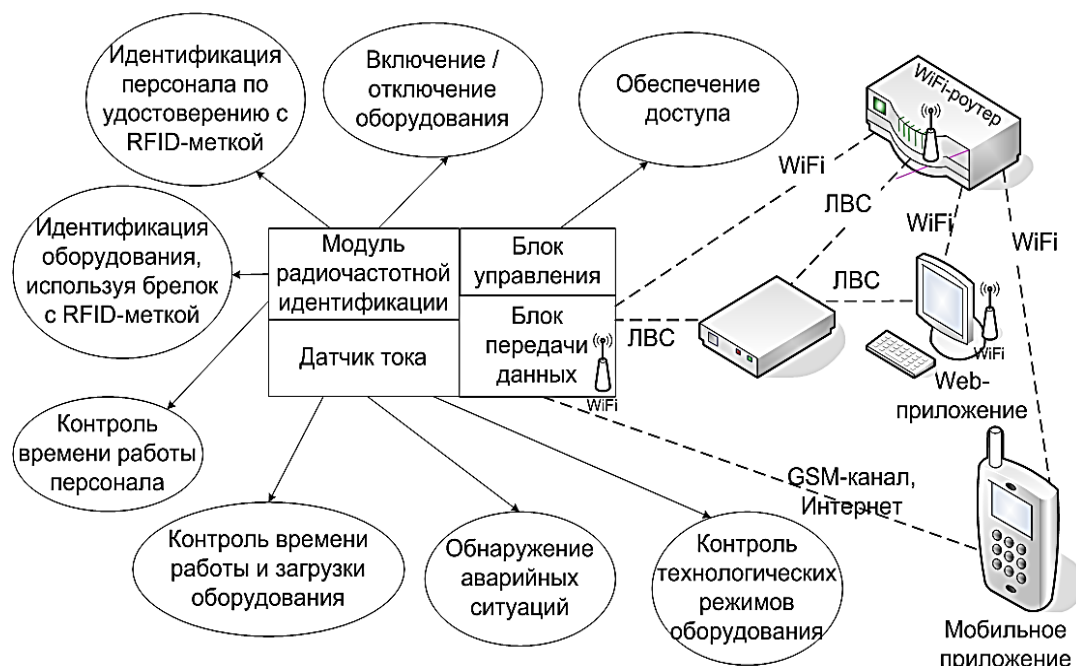


Рисунок. Структурная схема программно-аппаратного комплекса контроля эффективности работы оборудования и идентификации персонала

2) Блок управления. Обеспечивает управление работой аппаратных компонентов: подачу сигналов управляющим устройствам о запуске / выключении оборудования, управление установившимися и переходными процессами при изменении режимов работы оборудования. Параметры управления определяются по результатам интеллектуального анализа данных на сервере, в web или мобильном приложении.

3) Блок передачи данных. Обеспечивает передачу данных с датчиков и блока радиочастотной идентификации с использованием телекоммуникационного оборудования на сервер для последующего интеллектуального анализа. Алгоритмы интеллектуального анализа обеспечивают определение и передачу в блок управления оптимальных значений параметров установившихся и переходных процессов и режимов работы оборудования. Оптимальные значения параметров работы оборудования определяются на основании интеллектуального анализа данных о предыдущих режимах работы оборудования.

4) Телекоммуникационное оборудование (модемы, WiFi-роутеры). Обеспечивают передачу данных между аппаратной и программной частью по локальной сети, WiFi, GSM-каналы и Интернет.

Архитектура программно-аппаратного комплекса в соответствии с классической методологией построения архитектуры киберфизических систем включает следующие уровни:

1 уровень – Уровень датчиков и связи между разными единицами оборудования (использование протокола M2M, S2S). На этом уровне осуществляется получение точных и надежных данных от датчика тока, модуля радиочастотной идентификации.

2 уровень – Уровень преобразования данных. Осуществляется преобразование измерений в данные и отправка информации блоком передачи данных на удаленный сервер посредством Интернет-соединения.

3 уровень – Уровень хранилища данных. Данный уровень действует как база данных, куда информация отправляется с каждой подключенной единицы оборудования. Информация сохраняется на сервере для дальнейшего интеллектуального анализа с целью извлечения дополнительной информации, обеспечивающей оптимизацию режимов работы каждой единицы оборудования.

4 уровень – Уровень интеллектуального анализа данных и принятия решений. Содержит инструментальные средства для прогнозирования и последующего управления работой оборудования на основе анализа мощности и производительности каждой единицы оборудования. По результатам анализа осуществляется выработка оптимальных управляющих сигналов для повышения эффективности работы каждой единицы оборудования. Данный уровень обеспечивает предоставление пользователю аналитической информации о работе оборудования в наглядной форме. По результатам анализа пользователи могут принимать решения по корректировке режимов работы оборудования, по управлению персоналом. Аналитическую информацию можно просматривать удаленно с любого устройства, имеющего выход в Интернет, используя мобильное или web-приложение.

5 уровень – Уровень, на котором осуществляется обратная связь кибернетической и физической части системы, реализуется киберфизическое управление. На данном уровне осуществляется автоматический выбор оптимальных режимов работы оборудования, автоматическое управление установившимися и переходными процессами при изменении режимов работы оборудования, автоматические аварийные отключения. На данном уровне применяются интеллектуальные алгоритмы для достижения максимально эффективной работы системы при минимальном вмешательстве человека, выполняется автоматическая регулировка отклонений, самооптимизация, предотвращение аварийных ситуаций.

Преимущества спроектированного программно-аппаратного комплекса:

- автоматизированное формирование отчетов о времени работы и загрузки персонала;
- многоуровневое обеспечение доступа персонала;
- автоматизированное формирование отчета об эффективности работы оборудования на промышленных предприятиях в реальном времени;
- автоматический контроль в реальном времени соблюдения режимов работы оборудования с последующим выявлением причин аварийных ситуаций и появления брака;
- автоматический контроль в реальном времени простоев оборудования с последующим анализом причин простоев;

- автоматическое выключение оборудования в случае выхода параметров технологического процесса за пределы допустимых значений в течение заданного промежутка времени

Область применения спроектированного программно-аппаратного комплекса:

- машиностроительные предприятия (производство и ремонт автомобилей, спецтехники, сельскохозяйственной техники, вагоностроение);
- предприятия, занимающиеся производством металлоконструкций;
- учреждения образования;
- автопредприятия (автобусные парки, грузовые и таксомоторные парки), автоцентры и автомастерские.

*Заключение.* Разработанный программно-аппаратный комплекс содержит базовые компоненты для последующей реализации киберфизических систем производственного и бытового назначения [1; 2; 3; 4]. Программные компоненты и аппаратные элементы спроектированного комплекса являются универсальными, что позволяет существенно сократить время создания киберфизических систем на базе данного комплекса. При добавлении новых датчиков в аппаратную часть комплекса и соответствующих алгоритмов интеллектуального анализа данных в программную часть может быть существенно расширена область применения киберфизических систем, создаваемых на основе спроектированного комплекса.

### **Список литературы:**

1. Архитектура кибер-физических систем: [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.intechopen.com/chapters/69091#F1> (дата обращения: 26.11.2022). – Текст : электронный.
2. Чеклецов, В. В. Чувство планеты. Интернет вещей и следующая технологическая революция / В. В. Чеклецов. – М. : Российский исследовательский центр по Интернету вещей, 2013. – 130 с. – Текст : непосредственный.
3. Вяткин, В. В., Дроздов, Д. Н., Голуб, Ю. А. Концепция киберфизической инженерии как способ применения теории киберфизических систем / В. В. Вяткин, Д. Н. Дроздов, Ю. А. Голуб. – Текст : электронный // SAEC. – 2019. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiyakiberfizicheskoi-inzhenerii-kak-sposob-primeneniya-teorii-kiberfizicheskikh-sistem> (дата обращения: 26.11.2022).
4. Цветков, В. Я. Кибер физические системы / В. Я. Цветков. – Текст : электронный // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6-1. – С. 64-65. – URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11623> (дата обращения: 26.11.2022).

© Войтов В. В., Лядский Д. Д., Болотов С. В.,  
Захарченков К. В., Потехин В. В., 2022

## ОБЗОР И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

студент **Кашеев Кирилл Олегович**,  
науч. руководитель: ассистент **Ершов Кирилл Константинович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье приведен обзор электродвигателей с постоянными магнитами. Сравняются широко распространенные синхронные двигатели с постоянными магнитами и бесконтактные двигатели постоянного тока, а также рассматриваются специализированные электродвигатели, заточенные под конкретные типы задач.

**Ключевые слова:** электродвигатель, электрооборудование, электроэнергия, обзор, постоянные магниты, технологии.

## REVIEW AND ANALYSIS OF MODERN ELECTRIC MOTORS WITH PERMANENT MAGNETS

Student **Kashcheev Kirill Olegovich**,  
Academic Advisor: Assistant **Ershov Kirill Konstantinovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** In this article a review of electric motors with permanent magnets is provided. Widely used permanent magnet synchronous motors and non-contact DC motors are compared, and specialized electric motors for specific types of applications are considered.

**Keywords:** electric motor, electrical equipment, electric power, review, permanent magnets, technologies.

Невозможно представить в настоящее время, как человечество существовало бы без современных технологий и электрических двигателей (ЭД), в частности. ЭД позволили уйти от обычных двигателей внутреннего сгорания в промышленности, что благополучно сказалось на окружающей нас природе. Помимо этого, ЭД позволяют экономить большое количество места, их уровень шума в разы ниже уровня шума двигателей внутреннего сгорания. А ведь это всего лишь малая часть преимуществ, которые мы получаем от электрических двигателей.

Технологии не стоят на месте. С каждым годом инженерам удается совершенствовать и создавать новые типы двигателей, при этом открывать

новые возможности слияния постоянных магнитов и электричества, что в свою очередь позволяет создавать все более совершенствованные модели электрического привода.

В данной статье приведен обзор различных современных типов электрических двигателей с постоянными магнитами, начиная с синхронных двигателей с постоянными магнитами (PMSM – Permanent magnet synchronous motor) и бесконтактных двигателей постоянного тока (BLDC – Brushless direct current electric motor), которые уже долгое время широко применяются в различных промышленных электроприводных системах, заканчивая более современными двигателями с аксиальными и поперечными магнитными потоками, а также реактивными синхронными двигателями с постоянными магнитами (IPMsynRM – Internal permanent magnet synchronous reluctance motor). Проведено сравнение их стоимости, возможностей, механических характеристик, а также будут приведены основные положительные и отрицательные качества каждой модели.

### PMSM

Синхронный двигатель с постоянными магнитами (PMSM) – синхронный ЭД, ротор которого выполнен из постоянных магнитов [1]. Он, как и другой электрический двигатель, состоит из подвижной части (ротора) и неподвижной (статора).

Ток в обмотках статора создает вращающийся магнитный фон, а ротор в рабочем режиме представляет собой постоянный магнит. Полюса ротора стремятся к обратным полюсам магнитного фона статора. В итоге ротор вращается одновременно с полем статора, что и считается его ведущей особенностью.

Однако эта особенность не позволяет запустить двигатель напрямую от сети. Инерционность ротора не позволит ему разогнаться до скорости магнитного поля – 3000 об/мин.

Поэтому для функционирования такого двигателя необходима система контроля, например, сервопривод или частотный преобразователь.

К преимуществам данного электродвигателя можно отнести следующие возможности – большой предел регулирования, плавную и точную установку позиции ротора.

К недостаткам: достаточно сложную систему управления.

Если сравнивать PMSM с асинхронным электродвигателем, то PMSM имеет более высокие показатели КПД, которые примерно на 2 % больше своего конкурента, при условии, что статор у данных моделей имеет единую конструкцию и для контроля двигателями используется один и тот же частотный преобразователь. Помимо этого, PMSM обладают лучшими значениями: момент/инерцию, мощность/объем и др.



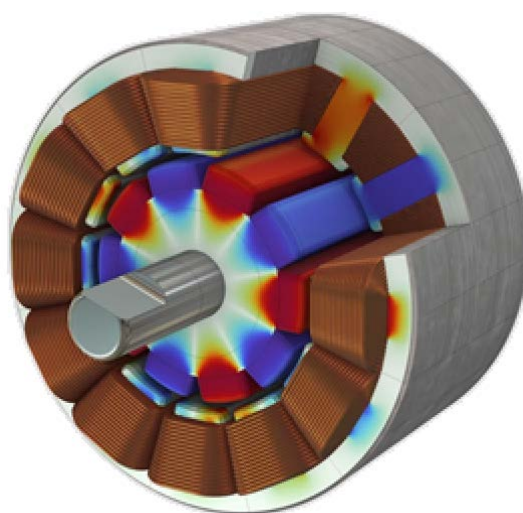


Рисунок 1. Модель PMSM двигателя BLDC

Бесколлекторный электродвигатель постоянного тока (BLDC) – бесколлекторный синхронный двигатель постоянного тока на постоянных магнитах [2]. В его случае роль коллектора исполняет электрический контроллер. Он переключает обмотки в зависимости от нахождения ротора с магнитами, определяемым датчиком. Если двигатель принудительно остановить, то с помощью контроллера ток будет подаваться в две фазы, которые должны его «подтолкнуть» в сторону направления движения ротора. Если ротор стоит, то фазы не будут переключаться контроллером.

Благодаря отсутствию коллектора, он лишен больших недочетов – амортизации щеток коллектора и частого ухода щеточного узла для удаления нагара и загрязнений.

Принцип действия BLDC схож с PMSM, но ЭДС статора имеют не синусоидальную, а трапецеидальную форму.

К преимуществам вышеупомянутого двигателя можно отнести: относительно простую схему управления, простую конструкцию, отсутствие уязвимого коллекторно-щеточного узла и низкий уровень шума.

К недостаткам – невозможность использовать его в задачах, где постоянно меняется нагрузка; высокие пульсации тока и момента.

BLDC и PMSM – по общим характеристикам очень схожи, оба 3-фазные, у обоих надо знать положение ротора для определения вектора поля, а также имеют значительный вращающий момент. Отличие же заключается в стабильности вращающего момента (BLDC есть, а в PMSM его нет), что являются как преимуществом, так и недостатком этих типов двигателей. Однако PMSM тише, меньше вибрируют, имеют меньшее количество электромагнитных помех, стоят гораздо дешевле, но имеют более сложную систему управления (рисунок 1) и сильнее греются.

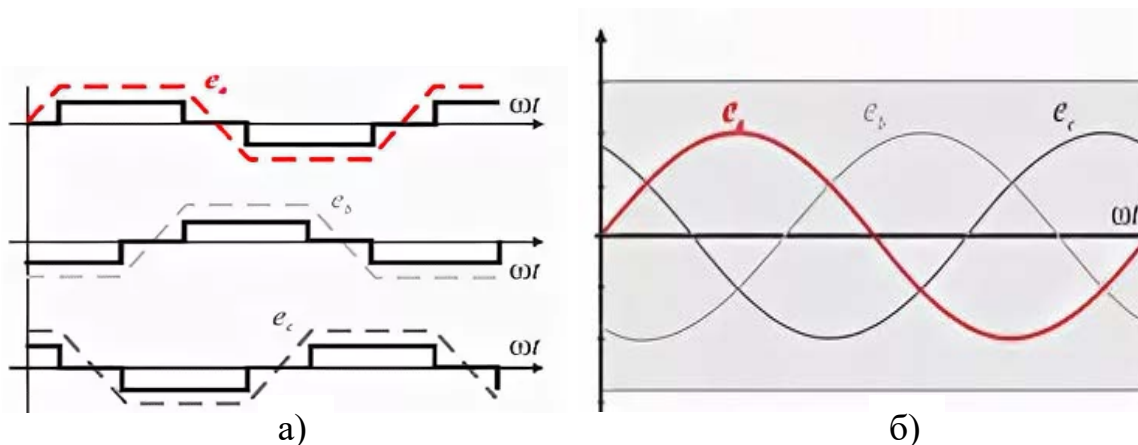


Рисунок 2. Система управления: а) BLDC; б) PMSM

Проведем субъективную экспертную оценку вышеупомянутых двигателей.

Значения показателей будут принимать значения от 1 до 3, где 1 – неудовлетворительно, а 3 – отлично. Значения показателей будут представлены в таблице.

Таблица – Коэффициенты значимости PMSM и BLDC двигателей

Критерии	PMSM	BLDC
Стоимость	2	3
Сложность конструкции	3	3
Сложность системы управления	2	3
Динамическая точность	3	1
Момент/Мощность	2	1
КПД	3	3

Весовые коэффициенты для каждого критерия будут зависеть от конкретных технологических требований. Просуммировав произведения значимостей критериев и весовых коэффициентов, можно получить показатель эффективности для определенного объекта. При единичных весовых коэффициентах для PMSM показатель эффективности 15, а для BLDC – 14.

Далее будет приведен анализ специализированных двигателей, заточенных под конкретные типы задач, и которые нецелесообразно сравнивать друг с другом для общего случая.

*Электрические двигатели с аксиальным магнитным потоком.* Представленный на рисунке 3 PMSM с аксиальным потоком имеет выдающуюся дисковую форму, которая позволяет добиться большого крутящего момента, чем на традиционном PMSM [3] Данная особенная форма позволяет установить ЭД в центре ведущего колеса, по сути, каждого средства передвижения. Такой двигатель позволяет создать значительно больший крутящий момент и

достаточно маленькую осевую скорость, что позволяет отказаться от применения дорогих редукторов.

В настоящее время используют две основные конфигурации, позволяющие создать аксиальный поток: внутренний РМ-ротор между двумя обмотками статора и тор с двумя роторами вокруг статора. Расположение с внутренним РМ-ротором составляет особенно популярную модель двигателя.

Существует более уникальная конфигурация PMSM с аксиальным потоком. Она имеет осевую длину большую, чем ее радиальную. Также ротор данной модели имеет конические втулки, сделанные из ферритовых магнитов, которые находятся в IPM-конфигурацию в магнитно-мягком материале. Такая сборка в совокупности с бюджетными ферритовыми магнитами позволяет добиться свойств, опережающих аналогичные параметры, получаемые в случаях, когда используют магниты из редкоземельных материалов (ниодима).

Такие ЭД могут производить более 60 Нм крутящего момента при 3600 об/мин (25 кВт) и обладают максимальной производительностью по мощности 96 %. Можно сказать, что все электрические двигатели с аксиальным потоком используют суперсильные неизменяемые магниты из неодим-ферробора.

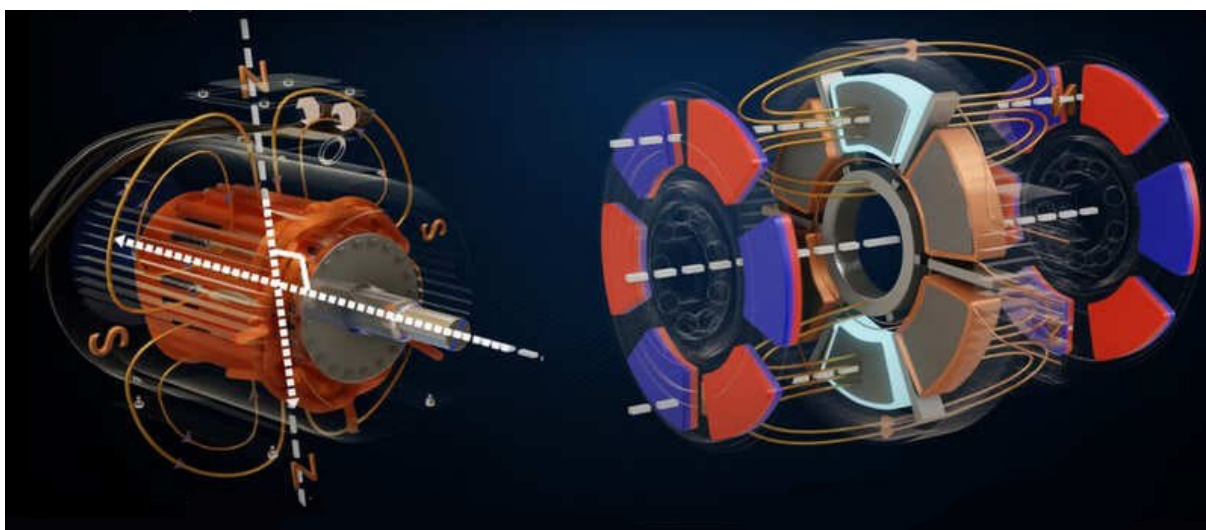


Рисунок 3. Электродвигатели с радиальным (слева) и аксиальным (справа) магнитным потоком

*Двигатели с поперечным потоком.* Двигатели с поперечным потоком обладают более сложной магнитной схемой. Если для двигателей, имеющих аксиальные потоки, подойдет двумерная модель, то в случае с поперечным потоком, потребуется трехмерное моделирование, поскольку 3-мерными являются их магнитные схемы [4].

В подобных двигателях U-образные магнитные элементы находятся вокруг обмотки статора. Такие ЭД были изобретены очень давно, однако их разработка и выведение в массы задержалось, поскольку они очень сложны в

своей конструкции и очень дорогие по своей себестоимости. Благодаря открытию магнитов из ниодима и мягких магнитных композитных материалов, стало возможным создание достаточно скромных по размерам двигателей с поперечным потоком. Они имеют крутящий момент от 3,3 до 10 Нм, при скорости оборотов в 300 об/мин (100-300 Вт).

Такой тип ЭД может развивать достаточно высокий вращающий момент, но даже сейчас он не лишился своего большого недостатка – большой себестоимости.

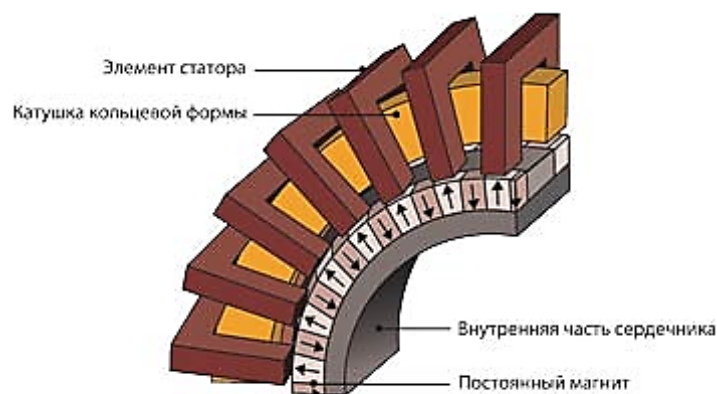


Рисунок 4. Электродвигатель с поперечным потоком IPMSynRM

*Синхронный реактивный двигатель* (SynRM – Synchronous reluctance motor) – двигатели, характеризующиеся высокой производительностью, скромными габаритами, надежностью, отсутствием потерь в обмотке ротора, но при всех вышеперечисленных положительных моментах он отличается крайне низким коэффициентом мощности [5].

К преимуществам SynRM можно отнести: простую конструкцию ротора, низкий нагрев, низкий момент инерции, возможность регулирования скорости, отсутствие магнитов.

К недостаткам следует отнести: требование преобразователя для управления двигателем и низкий коэффициент мощности, низкий момент.

При сравнении SynRM и PMSM мы можем заметить, что PMSM эффективен при более низких скоростях, а SynRM, наоборот, лучше справляется с высокоскоростными задачами. Именно слияние этих типов двигателей позволило создать новый – IPMSynRM, который унаследовал все достоинства одного и второго двигателя, а именно: высокую эффективность как при больших, так и при малых оборотах [6]. Когда двигатель с постоянными магнитами развивает очень большие обороты, магниты образуют обратную ЭДС, которая представляет собой обратное напряжения питания статора. Чем больше скорость, тем больше обратная ЭДС, что в свою очередь негативно сказывается на КПД двигателя. В добавление к этому, магниты также приводят к магнитным

потерям на вихревые токи, что увеличивает нагрев двигателя, а значит ускоряет износ.

Поэтому был разработан двигатель IPMSynRM, который объединил в себе технологии PMSM и SynRM. Он сочетает в себе тип двигателя с внутренним постоянным магнитом и ротора синхронно-реактивного двигателя для достижения требуемых характеристик (высокая производительность на высоких и низких скоростях).

Инновационная идея Tesla заключается в сегментированных магнитах (четыре части вместо сплошного магнита). Такая технология помогает уменьшить вихревые токи и снижает риск перегрева магнитов.

В данной статье были представлены двигатели как нового поколения, которые не так сильно распространены из-за своей очень высокой стоимости и сложности конструкции, так и двигатели, которые существуют уже очень долгое время и являются незаменимыми продуктами в любом виде производства и хозяйства. За последние годы мы можем заметить очень высокие темпы развития электрических двигателей специального назначения [7]. Это говорит о том, что в скором времени даже обычные пользователи смогут позволить себе приобрести двигатели, которые сейчас являются недоступными из-за упомянутых выше причин.

### **Список литературы:**

1. Синхронный двигатель с постоянными магнитами (PMSM): [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/post/539542/> (дата обращения: 21.11.2022). – Текст : электронный.
2. Бесколлекторный электродвигатель постоянного тока (BLDC): [сайт]. – URL: [https://www.a-qualux.ru/index/baza-znaniy/articles/tryokhfaznyy-beskoll\\_ektornyyu-dvigatel/](https://www.a-qualux.ru/index/baza-znaniy/articles/tryokhfaznyy-beskoll_ektornyyu-dvigatel/) (дата обращения: 21.11.2022). – Текст : электронный.
3. Двигатели с аксиальным магнитным потоком: [сайт]. – URL: <https://russianelectronics.ru/novye-elektrodvigateli-i-prilozheniya/> (дата обращения: 22.11.2022). – Текст : электронный.
4. Двигатели с поперечным потоком: [сайт]. – URL: <https://russianelectronics.ru/novye-elektrodvigateli-i-prilozheniya/> (дата обращения: 22.11.2022). – Текст : электронный.
5. Синхронный реактивный двигатель (SynRM): [сайт]. – URL: <https://russianelectronics.ru/novye-elektrodvigateli-i-prilozheniya/> (дата обращения: 23.11.2022). – Текст : электронный.
6. Синхронный реактивный двигатель с внутренними постоянными магнитами (IPMSynRM): [сайт]. – URL: <https://saenitk.wordpress.com/2021/10/10/ipmsynrm-motor/> (дата обращения: 23.11.2022). – Текст : электронный.
7. Барановский, В. В. Судовая парогазовая энергетическая установка полужамкнутого цикла для покрытия пиковых нагрузок / В. В. Барановский, М. С. Липатов. – Текст : непосредственный // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2021. – № 2. – С. 21-25.

**СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА, АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ УСТРОЙСТВ  
СИГНАЛИЗАЦИИ, ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ И БЛОКИРОВКИ (АДК-СЦБ),  
УЧЕБНЫЙ ТРЕНАЖЕРНЫЙ КОМПЛЕКС**

студент **Бельман Дмитрий Анатольевич**,  
студент **Мольц Валерия Сергеевна**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Гаранин Александр Евгеньевич**,  
Красноярский институт железнодорожного транспорта –  
филиал Иркутского государственного университета путей сообщения,  
г. Красноярск, Российская Федерация

**Аннотация.** Обзорная статья направлена на проектирование учебного комплекса автоматизации диагностирования и контроля устройств сигнализации, централизации и блокировки (АДК-СЦБ) в стенах нашего вуза. Цель работы: внедрение системы диагностики и мониторинга АДК-СЦБ, который является частью учебно-тренажерного комплекса.

**Ключевые слова:** комплекс, система, диагностика, мониторинг, автоматика, телемеханика.

**DIAGNOSIS AND MONITORING SYSTEM, AUTOMATION  
OF DIAGNOSTICS AND CONTROL OF CENTRALIZATION AND  
BLOCKING SIGNALING DEVICES (ADC-CBS),  
EDUCATIONAL SIMULATION COMPLEX**

Student **Belman Dmitry Anatolyevich**,  
Student **Molts Valeria Sergeevna**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Garanin Alexander Evgenievich**,  
Krasnoyarsk Institute of Rail Transport –  
Branch of Irkutsk State University of Railway Transport,  
Krasnoyarsk, Russian Federation

**Abstract.** Our review article is aimed at designing the automation of diagnostics and control of centralization and blocking signaling devices (ADC-CBS) training complex within the walls of our higher educational institution. The purpose of the work is to introduce a system of diagnostics and monitoring of ADC-CBS is part of the training simulator complex.

**Keywords:** complex, system, diagnostics, monitoring, automation, telemechanics.

## *Введение*

Важным вопросом при создании систем автоматического и автоматизированного управления ответственными технологическими процессами, к которым относится и перевозочный процесс на железных дорогах, является оснащения высокого уровня надежности и безопасности их функционирования. Эти свойства закладываются в системы управления на этапе конструирования и проектирования и обеспечиваются в результате эксплуатации путем технического обслуживания и ремонтов.

Одну из важнейших систем играют в перевозочном процессе средства железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) – они выполняют важные вспомогательные информационно-управляющие функции в настоящее время. От качества работы средств ЖАТ зависит эффективность перевозочного процесса, а отказы сильно влияют на дальнейшую работу всех железнодорожных служб. Последствия отказов средств ЖАТ – это в лучшем случае отсутствие какого-либо влияния на перевозочный процесс при возникновении отказа в момент отсутствия поездов на железнодорожной линии, где он возник, снижение пропускной способности при наличии движения, а в самых худших случаях отказ может стать причиной аварии или катастрофы. В данном случае поддержание высокого уровня надежности и безопасности эксплуатируемых устройств и систем ЖАТ – крайне важная задача.

Для улучшения, поддержки и работоспособности высокого уровня надежности и безопасности функционирования средств ЖАТ применяются дополнительные меры и мероприятия по системному или частичному техническому обслуживанию, ремонту и диагностики.

Для эффективности работы дистанций СЦБ, а также для предотвращения влияния на работу системы человеческого фактора средства ЖАТ внедряют системы автоматизированного ТД (технического диагностирования). Такие средства используют в основном в самих СЖАТ, но позволяют косвенно определять и предотвращать другие напольные параметры системы СЦБ.

### *Системы диагностики и удаленного мониторинга СДУМ*

Системы диагностики и удаленного мониторинга СДУМ – это комплекс технических и организационных мер, которые применяются для минимизации эксплуатационных расходов, техническое обслуживание систем, простой поездов и отказов некоторых систем при обеспечении высокого уровня безопасности их движения.

Система технической диагностики и мониторинга делает возможным в реальном режиме времени контролировать и следить за техническим состоянием устройств и систем железнодорожной автоматики СЦБ:

- электрической централизации (ЭЦ);
- автоблокировки всех типов, таких как (импульсная, кодовая, АБТЦ (автоматическая блокировка с тональными рельсовыми цепями));
- диспетчерской централизации;
- устройство замыкания стрелок;
- устройств контроля подвижного состава на ходу поезда системой КТСМ;

- систем пожарно-охранной сигнализации и пожаротушения.

Большой популярностью пользуются системы диагностики, контроля и мониторинга, которыми оснащены на Красноярской железной дороге система АДК-СЦБ.

Система технического диагностирования и мониторинга АДК-СЦБ относится к полностью обеспеченной автоматизацией контроля состояния путевых устройств, стрелок и сигналов железнодорожной автоматики, а также других (основных) важных систем в управлении.

*Система диагностики и мониторинга АДК СЦБ  
в составе учебного тренажерного комплекса*

На база нашего института разработан обучающий тренажер системы диагностики и мониторинга.

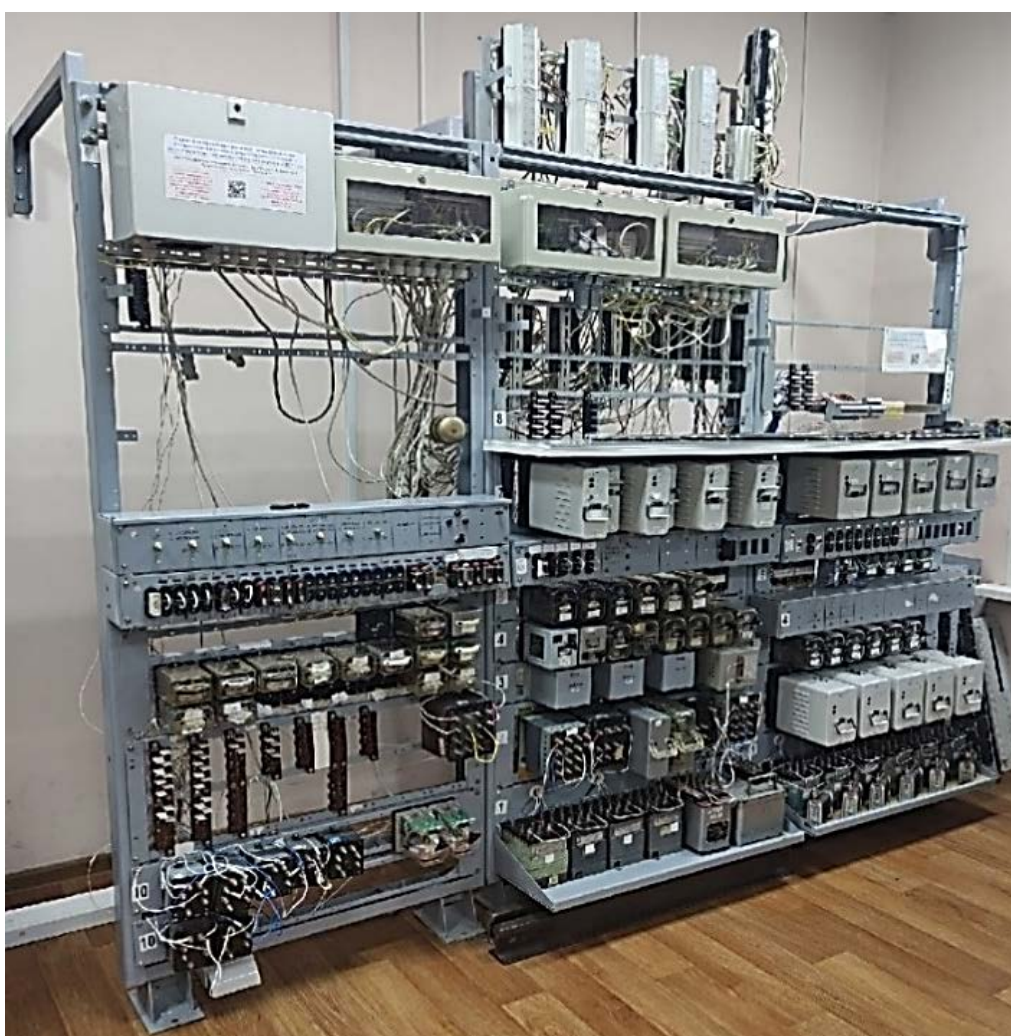


Рисунок 1. Система диагностики и мониторинга СЦБ  
в составе учебного тренажера

Учебный тренажерный комплекс (УТК) предназначен для получения теоретических знаний и практических навыков таких, как (настройка, обслуживание и мониторинг) устройств СЦБ, в которых наши студенты могут понять суть работы АДК-СЦБ.



Учебный тренажерный комплекс выполнен на базовом уровне диагностирования и контроля, т. е. уровень линейных объектов ЖАТ – станционного комплекса АДК-СЦБ.

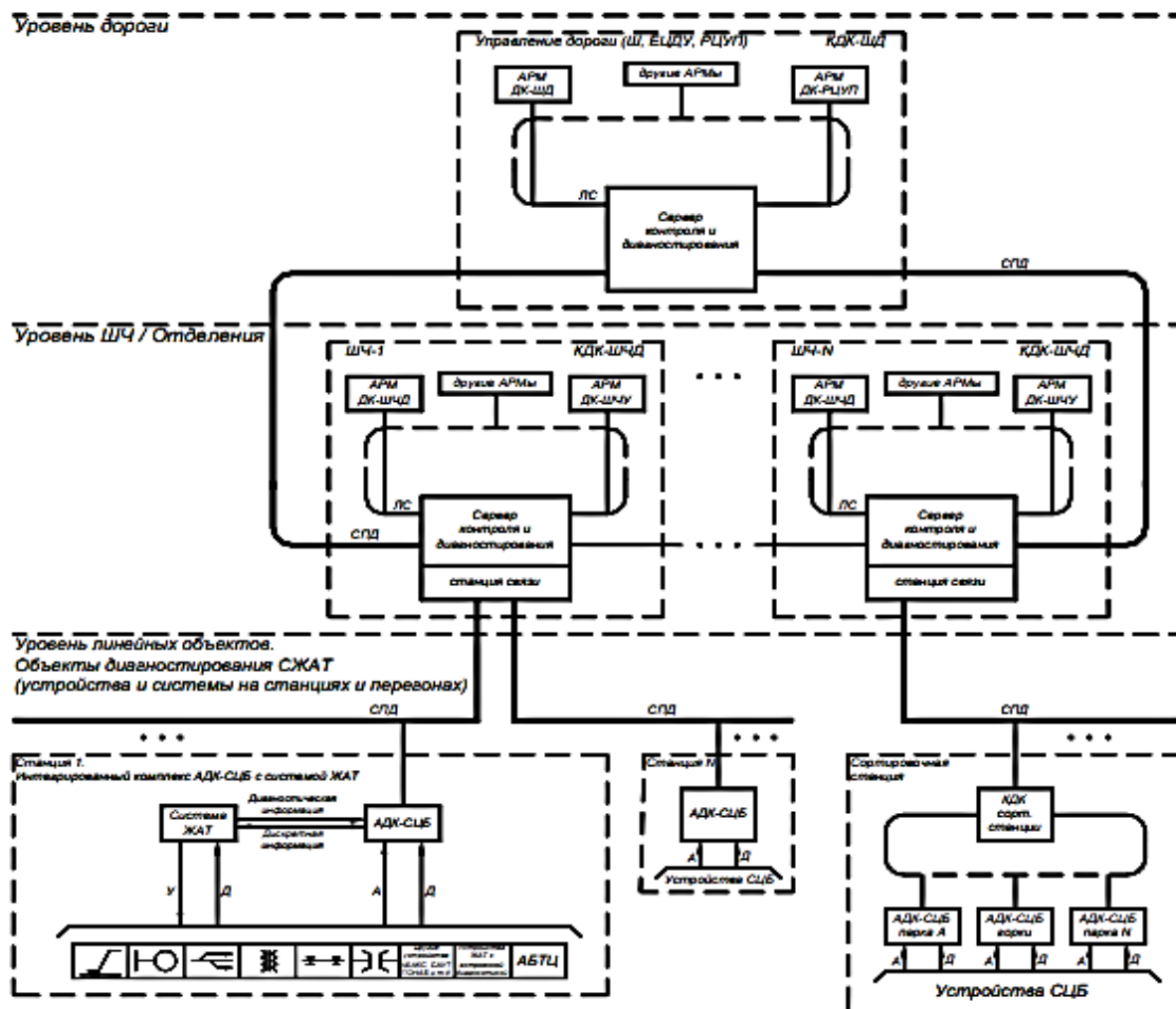


Рисунок 2. Структурная схема учебного тренажера по диагностированию и контролю устройств СЦБ

Станционный комплекс АДК-СЦБ предназначен для централизации результатов диагностирования и контроля, мониторинга работы устройств и систем ЖАТ, он обеспечивает следующие задачи:

- уменьшение эксплуатационных затрат и улучшение в системе показателей безотказной работы устройств ЖАТ на железнодорожном транспорте;

- включение оборудования, которое обслуживает работу системы, и ограничение человеческого фактора содержания устройств и систем ЖАТ на основе формирования системы ЭЦ путем автоматизации технического диагностирования, что обеспечивается:

- а) обслуживанием устройств по результатам автоматического диагностирования их состояния в соответствии с рабочей нормой и технической картой обслуживания;

б) автоматизацией работы с устройствами, которые влияют на безопасность движения (при техническом обслуживании и ремонтно-восстановительных работ);

в) мониторингом состояния и дальнейших технических результатов диагностирования устройств и систем ЖАТ на станции.

Задачи диагностирования, решаемые на станционном уровне комплексом АДК-СЦБ, упорядоченные по типам объектов контроля, перечислены на рисунке 3.

Объекты контроля	Перечень отказов
«Перечень отказов рельсовой цепи»	
Рельсовой цепи	Отклонение напряжения на путевом реле
	Отклонение напряжения на путевом реле занятой РЦ
	Отклонение напряжения тональной ТЦ на входе путевого приемника (ПП)
	Отклонение напряжения тональной РЦ на выходе ПП
	Ложная занятость
	Ложная свобода
	Контроль изостыков
«Перечень отказов кодирования РЦ»	
Кодируемые станционные маршруты	Отклонение параметров кода (отклонение длительности 1 интервала, отклонение длительности 2 интервала, отклонение разницы между 1 и 2 интервалом, отклонение длительности кодового цикла, отсутствие кодирования)
	Отклонение напряжения кодирования

Рисунок 3. Задачи диагностирования, решаемые, самые простые в понимании проблемы на станционном уровне комплексом АДК-СЦБ

Учебный тренажерный комплекс сконструирован и разработан на основе измерительно-вычислительного комплекса ИВК-АДК, выполнен и представлен в виде следующих основных блоков:

- блока промышленного компьютера (БПК), определенный для накопления, обработки информации, идущий по каналам ввода от устройств СЦБ, протоколирования работы станционного комплекса;

- блока бесперебойного питания (ББП), который служит для обеспечения электропитанием станционного комплекса АДК при потере основного источника питания и при переключении фидеров;

- диагностического комплекса, выполняющего некоторые функции:

- а) предоставление обучающимся практических и теоретических знаний для автоматизации анализа и поиска причин взаимовлияния при работе

устройств в случаях сложных неисправностей по динамическим протоколам комплексной диагностики;

б) автоматизация технического обслуживания устройств СЦБ;

в) формирование и хранение архивов отказов, статической диагностики, динамических протоколов и других специализированных баз данных;

г) обеспечение полной и точной информацией систем ЖАТ для современного принятия решений при обслуживании, управления и диагностики технологическим процессом, в том числе и по предотвращению отказов, исходя из данных диагностики.

- блока интерфейса (БИ), который служит для кроссирования кабелей связи и питания модулей ИВК, входящих в состав одного блока автоматики;

- блоков автоматики (БА1, БА2) в котором имеется набор модулей дистанционного съема сигналов (ДСС), выполняющих одну из основных функций устройств сопряжения с устройствами СЦБ, кабельных соединителей цифровой промышленной сети (ЦПС) и электропитания, клемников и предохранителей;

- модулей дистанционного съема сигналов:

а) модули центрального блока связи (1 ЦБС, 2 ЦБС) предназначены для организации обмена информацией между модулями ДСС и компьютером, а также для обработки получаемой информации и выполнения логических и арифметических операций;

б) модули дискретного ввода (МДВ), роль которых – это контроль дискретных сигналов напряжения постоянного тока гальванически не связанных с источником питания и другими группами входных сигналов (МДВ-24-3-3, группы которых оснащен каждый по 8 каналов), а также для обмена информацией по линии связи типа «токовая петля» с основным (центральным) блоком связи ЦБС. Разъем ХР-1 предназначен для подключения линий связи и питания модуля. Разъем ХР-2, ХР-3, ХР-4 служит для подключения дискретных сигналов соответственно 1, 2, 3 группы с общим обратным полюсом питания сигналов;

в) модули аналогового ввода (МАВ) необходимы для измерения напряжения 8 гальванически не связанных аналоговых сигналов (постоянного тока (без показания полярности), в диапазоне:  $\pm 1 \dots 10$  В; переменного тока (среднеквадратического значения) частотой 25 Гц, 50 Гц, 75 Гц, в диапазоне от 0,7 до 7 В, а также для передачи информации в ЦБС);

г) модули аналогового ввода (УГР) необходимы для расширения и улучшения функциональных возможностей модулей МАВ в части измерения напряжения одного сигнала (постоянного тока (без индикации полярности), в диапазоне: от 10 до 100 мВ; переменного тока (среднеквадратического значения) частотой 25 Гц, 50 Гц, 75 Гц, в диапазоне от 7 до 70 мВ);

Оборудование, необходимое для создания учебного тренажерного комплекса, приведено на рисунке 4.

Наименование оборудование	Количество
2	3
Блок АДК-СЦБ	2 шт.
Блок бесперебойного питания ББП	1 шт.
Блок конденсаторов стрелочный БК	1 шт.
Блок питания светодиодных светофоров БПС-АБ	2 шт.
Блок фазоконтрольный ФК-75	1 шт.
Датчик импульсов ДИМ-1.2	1 шт.
Кодовый путевой трансмиттер КПТШ-515	1 шт.
Конденсатор С-1,0 мкФ	2 шт.
Конденсатор С-4,0 мкФ	5 шт.
Модули светофорные СЖДМ	6 шт.
Модуль аналогового ввода МАВ-8-8	16 шт.
Модуль дискретного ввода МДВ-24-3	13 шт.
Муфта электропривода	1 шт.
Предохранитель штепсельный банановый ПР- 4А	4 шт.
Предохранитель штепсельный банановый ПР-0,3А	12 шт.
Предохранитель штепсельный банановый ПР-3А	2 шт.
Предохранитель штепсельный банановый ПР-5А	1 шт.
Путевой приемник ПП1-11/12 У2	1 шт.
Путевой приемник ПП1-14/8 У2	2 шт.
Путевой приемник ПП1-15/12 У2	1 шт.
Путевой приемник ПП1-9/8 У2	2 шт.
Путевой трансформатор ПОБС-2МП	10 шт.
Путевой трансформатор ПОБС-5АУ3	2 шт.
Путевой трансформатор ПТ-25 МП-1	1 шт.

Рисунок 4. Оборудование учебного тренажерного комплекса

### *Заключение*

В ходе нашей работы мы рассмотрели учебно-тренажерный комплекс АДК-СЦБ. Рассмотрели его конструкцию и структурную схему учебного тренажера по диагностированию и контролю устройств СЦБ, а также его некоторые функции [1; 2; 3; 4; 5; 6].

Плюсами нашей установки является то, что студенты получают практические и теоретические навыки в работе комплекса и его преимуществ в работе диагностики и мониторинга АДК-СЦБ.

### **Список литературы:**

1. Методические указания для выполнения практических занятий и лабораторных работ по МДК 01.03 «Теоретические основы построения и эксплуатации микропроцессорных и диагностических систем ЖАТ»: [сайт]. – URL: [https://www.rgups.ru/site/assets/files/97221/metod\\_avtomatika\\_i\\_telemechanika](https://www.rgups.ru/site/assets/files/97221/metod_avtomatika_i_telemechanika)

\_na\_transporte\_mdk0103\_tihoretsk\_2015.pdf (дата обращения: 05.11.2022). – Текст : электронный.

2. Система технического диагностирования и мониторинга АДК-СЦБ (СТДМ АДК-СЦБ). Автоматизированное рабочее место диспетчера дистанции ШЧ (начальника участка) АРМ ШЧД (ШЧУ) СТДМ. Руководство пользователя. – Текст : непосредственный.

3. Структурная схема станционного комплекса АДК-СЦБ: [сайт]. – URL: <https://studfile.net/preview/2895950/page:3/> (дата обращения: 05.11.2022). – Текст : электронный.

4. Комплексы измерительно-вычислительные АДК: [сайт]. – URL: <https://www.ktopoverit.ru/prof/opisanie/46832-11.pdf> (дата обращения: 05.11.2022). – Текст : электронный.

5. Комплекс автоматического диагностирования АДК-СЦБ: [сайт]. – URL: <http://scbist.com/stati-po-scb/8906-kompleks-avtomaticheskogo-diagnostirovaniya-adk-scb.html> (дата обращения: 05.11.2022).

6. Классификация устройств ЖАТ: [сайт]. – URL: <https://cyberpedia.su/8x5e1a.html> (дата обращения: 05.11.2022). – Текст : электронный.

© Бельман Д. А., Мольц В. С., 2022

## КОМПОНЕНТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ В ШКОЛЕ В ОБЪЕКТИВИЗАЦИИ И АБСТРАКЦИИ

преподаватель кафедры математики, информатики и цифровых образовательных технологий **Иванова Ксения Романовна**,  
Ставропольский государственный педагогический институт,  
г. Ставрополь, Российская Федерация

**Аннотация.** Структурная динамика в области современного научного аппарата является одним из ключевых следствий активизации потребности в пересмотре сущности классических научных структур в условиях актуальной науки, что особенным образом обуславливается в функциональном предназначении численных методов, реализуемых во многих математических дисциплинах, важность фундаментального рассмотрения которых формируется еще в школьной математической практике, когда многим обучающимся принципиально важно представить специфику таких математических категорий, как объективизация и абстракция.

**Ключевые слова:** математика, численные методы, школьная математика, объективизация, абстракция.

## COMPONENT FEATURES OF THE IMPLEMENTATION OF NUMERICAL METHODS IN SCHOOL IN OBJECTIFICATION AND ABSTRACTION

Lecturer of the Department of Mathematics, Computer Science and Digital Educational Technologies **Ivanova Ksenia Romanovna**,  
Stavropol State Pedagogical Institute,  
Stavropol, Russian Federation

**Abstract.** Structural dynamics in the field of modern scientific apparatus is one of the key consequences of the activation of the need to revise the essence of classical scientific structures in the context of current science, which is especially conditioned in the functional purpose of numerical methods implemented in many mathematical disciplines, the importance of fundamental consideration of which is formed in school mathematical practice, when it is fundamentally important for many students to present the specifics of such mathematical categories like objectification and abstraction.

**Keywords:** mathematics, numerical methods, school mathematics, objectification, abstraction.

Современное общество, являясь сложной динамической системой, находится в непрерывном развитии, а современные условия окружающей действительности характерны для переломного момента ее развития [1].

Численные методы – это методы приближенного решения задач прикладной математики, основанные на реализации алгоритмов,

соответствующих математическим моделям [2]. Понимание численных методов на общем уровне качественным образом упрощает понимание численных моделей, используемых на уровне межпредметных связей.

Формирование численных методов в математических дисциплинах как несколько самостоятельных подсистемных единиц основывается на объективной потребности элементарной математики в возможности первичного количественного выражения какого-либо объекта. Рассматривая численные методы в школьной математике в подобном виде, мы сталкиваемся с объектным представлением этой категории – как количественной меры. Благодаря этой функции численные методы предоставляют возможность произведения разнообразных количественных операций с объектами реального мира, что следует рассматривать как первичный шаг обучающегося в любую математическую науку или в школьную математику в целом, образующую собой некоторый ступок фундаментальных математических структур из различных субматематических систем, изучаемых обучающимися в дальнейшем на более фундаментальном уровне.

Традиционные методы организации учебной деятельности, определяющие «знаниевый» подход, направлены на формирование теоретического мышления. Они определяют последовательность изложения материала от «простого» к «сложному», на основе чего осуществляются все основные операции мышления, такие как индукция, дедукция, анализ, синтез, обобщение. Однако этих методов недостаточно для развития вычислительного мышления [3]. На этой основе требуется определение системы числа, которое станет способствовать выработке методов дидактического обоснования численных методов в младших классах.

Для более компонентного выражения сущности численных методов в школьной математике приведем основные функции, которые выражает числовая оценка. С этой целью введем в оборот представление в форме «число как число», «число как символ» и «число как алгоритмический оборот».

Охарактеризуем специфику сущности «число как число».

1. Число как мера однородного счета. Сталкиваясь в математике с числом впервые, обучающемуся достаточно просто познакомиться с числом как с выражением количества объектов одной группы: 1 яблоко, 4 апельсина, 6 машин и т. п. Таким образом, ученик определяет количество по схожести на основе абсолютного подобия определяемых объектов.

2. Число как мера неоднородного счета. Повышая степень абстрактного представления числа, обучающийся сталкивается с возможностью выражения числом некоторого количества разнородных объектов. К примеру, если взять равенство  $3+2=5$ , оно может быть сформировано путем сложения единиц объектов из разных групп (3-х машин и 2-х лошадей; 3-х бутылок и 2-х пакетов и т. п.). Иными словами, мы нивелируем свойства объединяемых групп (машины, лошади, бутылки, пакеты и т. п.) и выражаем обективизированные нами сущности в виде «объектов»; то есть 3 объекта плюс 2 объекта получаем 5 объектов; в случае обективного выражения приведенного равенства и его последнего абстрактного представления конечное количество объектной размерности не теряет своих количественных свойств.

3. Число как мера абстракции. Объединяя свойства чисел в 1-ом и 2-ом случаях, мы приходим к пониманию числа как абстракции. То есть число может быть одновременно конкретным объектом и целой группой, единицы которой можно идентифицировать как самостоятельные числовые выражения. Именно возможность перехода от числа как объекта к числу как абстракции во многом демонстрирует потенциальную успешность обучающихся в освоении математических дисциплин, в том числе – школьной математики.

Теперь обозначим специфику представления числа как сущности «число как символ». Число условно является частным случаем символа, свойства которого объективизируются в различных науках: в математике, в физике, в химии и т. п.

Однако в некоторых дисциплинах, в особенности в информатике, можно наглядным образом продемонстрировать число как текстовую единицу. Вернемся к ранее обозначенному равенству  $3+2=5$ . Если в случае количественного выражения этого равенства мы приходили к некоторой «объединенной абстракции», то, рассматривая число как символ, происходит сопряжение текстовых элементов, где выполняется переход к равенству  $3+2=32$ . Иными словами, «число как число» перешло в ранг «число как текст», что можно интерпретировать в виде «междисциплинарного перехода», в особенности – в случае необходимости получения абстрактных оценок для лингвистических текстов.

Заметим, что число в структуре задач может выражаться как элемент алгоритмического оборота, что позволяет проводить тесную параллель между математикой и информатикой на школьном уровне. Таким образом, разбор алгоритма конкретной практической задачи выражается в представлении каких-либо категорий, имеющих частную числовую оценку. Однако каждая задача может одновременно служить и выражением обобщенного алгоритма, представленного в буквенной форме.

В итоге числовой алгоритм превращается в буквенный алгоритм, несколько повторяя указанный ранее смысл перехода от объективизации к абстракции. В результате, объективизация и абстракция в численных методах в аспекте алгоритма получает синтаксическое обоснование, что уже явно отсылает к абстракциям математической лингвистики. Задействование этого свойства в частных задачах, имеющих практическое обособление, формирует у младших школьников представление о взаимосвязях разнородных научных комплексов – гуманитарных и точных, способствуя дополнительной проработке навыка междисциплинарной оценки математических задач.

Алгоритмическое выражение числа в символьном варианте в некотором смысле может быть сведено к представлению инварианта преобразования. Инвариант преобразования – объект (часть, характеристика или свойство исходного объекта), который не меняется при данном преобразовании [4]. Получаем, что числовая абстракция с символьной обусловленностью превращается в стабильный алгоритмический объект.

Конечное и бесконечное выражения численных методов – еще одно достаточно затруднительное свойство. С одной стороны, любой отдельно взятый



объект из какой-либо задачи в количественной числовой оценке является конечным, однако в ранее указанном алгоритмическом подходе, получая различные соотношения числа, конечная числовая оценка может выражать как в абсолютно бесконечном выражении – в виде своеобразного пути, так и в относительно бесконечном выражении, функционируя как некий замкнутый цикл.

Конечное и бесконечное, ровно как абстрактное и объектное, в численных методах, как две противоположные сущности, могут вызывать существенное количество проблематик, связанных с неправильной интерпретацией числа как такового. В таком случае крайне важно установление рамок для числа.

Для младших школьников такое понимание рамок может во многом сосредотачиваться в возможности представления численных методов в виде практических примеров из конкретных тем. Такими темами могут служить даже темы, взятые из курса старших классов, с условиями адаптации их алгоритмической системы под понимание младших школьников. Более характерно рассмотрим такие важные темы школьного курса математики, как теория графов и теория вероятностей.

Теория графов – одна из ключевых теорий в современной математике, которая позволяет многофункциональным образом исследовать характер взаимосвязей между различными сущностями. Данная теория также является объектом исследования школьной математики, однако более структурно изучается в старших классах. Вместе с тем, этот факт не отрицает возможности преподавания азов теории графов в начальной школе в качестве факультативного занятия.

Такое использование теории графов поможет приблизить младших школьников к пониманию геометрических функций численных методов; ввиду абстрактного представления основных объектов теории графов, в качестве которых выступают точки (вершины) и соединяющие их отрезки (ребра), факультативное вовлечение младших школьников в изучение этой теоремы следует начинать с практикоориентированных примеров, знакомых каждому из этих школьников. В качестве этих примеров могут быть походы школьников в магазин, в школу, построение модели передвижения по школе в течение дня и т. п. Также возможно представлять в качестве практикоориентированного примера задачи на отыскание геометрического места точек, обладающих заданным свойством [Корчак] – любую грань геометрической фигуры возможно представить в виде графа, к примеру.

Оценочная функция численных методов в данном случае позволит школьникам определить эффективность или неэффективность используемых ими маршрутов передвижения и периодически изменять маршруты с целью повышения их эффективности. Кроме построения маршрутов также возможно использование графов взаимосвязи учебных дисциплин какого-либо образовательного цикла, уже предварительно знакомого младшим школьникам, или всего цикла предметов, изучаемых в младших классах. Эффективность данного подхода обуславливается следующими составляющими:

– во-первых, школьники получают фундаментальное представление о характере базовых дисциплин, уже исследованных ими или предстоящих к исследованию, что положительно скажется на развитии междисциплинарного компонента их образовательного процесса;

– во-вторых, усилится структурность понимания упомянутой ранее взаимосвязи численных методов с азами теории графов;

– в-третьих, постепенно станет образовываться взаимосвязь численных методов в оценочном функционале с междисциплинарностью в ее базовом исполнении, что усилит факт более четкого понимания, описанного выше абстрактно-объектного представления численных методов в младшей школе. Уровень охвата предметных связей в такой демонстрации проявления теории графов рекомендуется определять учителю, исходя из текущего уровня подготовленности школьников, однако на базовом уровне объектом реализации этого подхода может служить демонстрация внутрисубъектных взаимосвязей школьной математики на уровне младшей школы. Вместе с тем, абстрактно-объектная сущность численных методов в ассоциативном виде может выражаться в количественном наименовании при анализе графов и их составляющих частей, являющихся своеобразными подсистемами, в виде подграфов.

Системное понимание зависимостей в математической дисциплине возможно не только в призме теории графов, но также и в выражении такой достаточно непростой математической сущности, как вероятность. Стоит отметить, что вероятность не является объектом образовательного процесса школьной математики в младших классах, но ее базовые алгоритмы время от времени отражаются в отдельных темах математической науки на младшем школьном уровне; при этом не исключена возможность преподавания вероятности, по аналогии с теорией графов, на факультативных занятиях. Существование взаимосвязей в выражении вероятности, в сравнении с теорией графов, позволяет судить скорее не количественном характере взаимосвязи, а об их качестве. Именно от такого качества зависит вероятность определенной выборки или наступления того или иного события. При этом количество базовой выборки, степень однородности ее компонентов – все это является группой факторов, определяющей конечное качество зависимостей. В результате в выражении вероятности количественная оценка численных методов сосредотачивается в однородности ее объектных функций, от которых зависит конечная количественная абстракция в оценочном аспекте.

В факультативном представлении теории вероятностей на младшем школьном уровне можно опираться на предоставления примеров, используемых в базисах теории вероятностей в основном государственном экзамене (ОГЭ) или в едином государственном экзамене (ЕГЭ). В виде примеров могут быть представлены: вероятность выборки того или иного цвета из заданного множества, вероятность участия той или иной команды в соревновании, исходя из исходного количества и т. п. Допускается адаптация этих задач учителем на самостоятельной основе под более знакомые для младших школьников примеры: вероятность выбора того или иного маршрута (в подобном сопоставлении с

примером из теории графов значительно упрощается запоминание учениками количества примеров реализации той или иной темы из школьной математике), цвета школьного села и т. п.

Кроме того, в зависимости от уровня подготовленности младших школьников можно преподнести базисное понимание физического смысла численных методов через численное моделирование. В частности, обучение численному моделированию удобно начинать с изучения движения тела вдоль прямой с известной зависимостью скорости от времени:  $V=v(t)$  [5]. От физического смысла численных методов удобно переходить к приближениям, характерным для физической науки в целом. При решении реальных инженерных или научных задач часто используются не точные, а приближенные (численные) методы, которые, как известно, позволяют получить решение даже в тех случаях, когда методы высшей математики оказываются бессильны [4].

В соответствии с представленными сведениями требуется качественная проработка проблематик численных методов, выраженных в следующих свойствах:

– в сложности демонстрации специфики работы модели «абстракт – объект» и «объект – абстракт». В математике возможность перехода от общего к частному и наоборот является сложнейшей задачей для рядового школьника, в особенности, в постоянном расширении условий применения изучаемых ими тематических выдержек, поэтому необходима постоянная разработка подходов, которые фиксируют «объекты» и «абстракции» в школьных задачах на численные методы.

– в ограниченном математическом кругозоре школьников. Современный школьник в изучении различных дисциплин, в том числе математического характера, стремится шаблонизировать свои знания вместо развития способности к построению логических систем. Эта образовательная тенденция негативным образом сказывается на освоении численных методов в частности, поскольку таким подходом ученик делает практически невозможным к переходу на уровень алгоритмической абстракции при решении задач.

– в эмоциональном состоянии учеников. В эпоху современного постиндустриального общества у многих школьников возникает апатия к восприятию каких-либо информационных потоков, формируется некоторая «нейтраль» к информации, что также негативно сказывается на возможности тематического изложения подсистем школьной математики. Для борьбы с этой проблемой постоянно разрабатываются системы индивидуальной образовательной поддержки, одной из решений которой могут быть индивидуальные подборки задач.

Проблемы оптимизации педагогических объектов органично связаны с исследованиями инновационных закономерностей учебного процесса [6]. Поэтому целесообразно выделить основные направления развития численных методов в дидактике математической науки на уровне младших классов:

– внедрение специализированных программных комплексов при решении математических задач. Для младшего школьника использования специальных программ на прикладном уровне не является целесообразным

дидактическим подходом, так как для него важно установить целостность модели численных методов в математике, однако ознакомление младших школьников с основами работы в таких программах станет не только удовлетворением актуальной потребности по вовлечению школьников в IT-инфраструктуру современных дисциплин, но также позволит им адаптироваться под требования, которые в дальнейшем к ним будут предъявлять как к ученикам старшей школы. Пример – программа для визуализации/самоконтроля перевода чисел из одной системы счисления в другую [7] и другие примеры использования системы компьютерной алгебры Maple в процессе обучения [8].

– использование преимуществ социальных сетей. Современные социальные интернет-коммуникации стали постепенно средой комфортного пребывания школьников, поэтому не стоит недооценивать их потенциал. С точки зрения численных методов в школьной дидактике, социальные сети могут стать носителями актуальных практических моделей, на основе которых строятся задачи, удовлетворяющие познавательные интересы не только школьников как обособленной группы, но и каждого отдельного взятого ученика. Таким образом, объективизации численных методов поляризуется не только во внутрисистемном выражении, но и в потребностях субъекта.

– применение нейросетей. Сбор требуемой информации для построения задачи на численные методы, которые осуществляется в социальных сетях, для рядового пользователя является затруднительной задачей, однако использование нейросетевого комплекса значительно упрощает сбор и обработки информации с установлением индивидуализированных критериев построения задачи.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что численные методы в школьной математике в абстрактно-объектном выражении являются ключевой фигурой математического мышления, закладываемого у младших школьников как дальнейшая возможность изучения не только прикладных математических дисциплин, но также и выражения математике в различных междисциплинарных связях. Объективизация и абстракция численных методов обособляется в факторе совпадения этих категорий в определенных примерах. В частности, теория графов и теория вероятностей как категории с достаточно усложненной и абстрактной смысловой нагрузкой, служащие объектами математического исследования школьной математики в старших классах, на базовом уровне, на уровне доступных для младших школьников примерах, позволяют ознакомиться с возможностью совпадения объекта и абстракции – таким образом, проводится параллель между численными методами младшего школьного базиса и более прикладными направлениями математики, что в дальнейшем значительно облегчит младшим школьникам постижение не только абстракции численных методов в этих направлениях, но и собственных абстракций, вводимых в представлении теории вероятности и теории графов.

### Список литературы:

1. Корчак, К. И. Цифровая среда жизнедеятельности. Определение зарождающегося термина // Новые горизонты студенческой науки в условиях глобализации : материалы II Межрегиональной научно-практической конференции, Элиста, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: О. Н. Кониева и др. / К. И. Корчак, К. Р. Иванова. – Элиста : Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова, 2022. – С. 291-294. – Текст : непосредственный.
2. Машкова, Е. Г., Зуев, М. И. Численные методы нахождения корня уравнения, комбинированный метод / Е. Г. Машкова, М. И. Зуев. – Текст : непосредственный // Наука и современность. – 2017. – № 50. – С. 102-107.
3. Клунникова, М. М., Пушкарева, Т. П. Методы и средства развития вычислительного мышления при обучении дисциплине "Численные методы" / М. М. Клунникова, Т. П. Пушкарева. – Текст : непосредственный // Современное образование. – 2017. – № 2. – С. 102-108.
4. Семенова, Т. И., Загвоздкина, А. В., Загвоздкин, В. А. Изучение численных методов с использованием средств пакета Scilab / Т. И. Семенова, А. В. Загвоздкина, В. А. Загвоздкин. – Текст : непосредственный // Экономика и качество систем связи. – 2017. – № 4 (6). – С. 60-69.
5. Михайлов, Е. А., Рыжиков, С. Б. Исследовательские работы школьников, основанные на численном моделировании / Е. А. Михайлов, С. Б. Рыжиков. – Текст : непосредственный // Наука и школа. – 2018. – № 3. – С. 101-105.
6. Монахов, В. М. Численные методы в дидактических исследованиях как инновационный фактор объективизации и доказательности образовательных результатов / В. М. Монахов. – Текст : непосредственный // Вестник Московского университета. Серия 20. Педагогическое образование. – 2017. – № 1. – С. 17-28.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022663889 Российская Федерация. Программа для визуализации/самоконтроля перевода чисел из одной системы счисления в другую : № 2022663103 : заявл. 12.07.2022 : опубл. 21.07.2022 / А. А. Оленев, А. А. Запорожцева, Н. В. Корманенко и др.; заявитель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный педагогический институт». – Текст : непосредственный.
8. Olenov A. A., Kirichek K. A., Potchina E. V. The Maple Computer Algebra System in Teaching the Basics of Set Theory // Advances in Mathematics Research. New York. Nova Science Publishers, Inc. 2022. P. 1-40.

© Иванова К. Р., 2022

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕРКИ ДАТЧИКОВ ТОКА

студент **Габдуллин Эльдар Хайдарович**,  
студент **Москаленко Павел Анатольевич**,  
канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой автоматизации технологических  
процессов и производств **Ковалёв Дмитрий Александрович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье предложена структура устройства проверки датчиков тока, используемых в тяговых преобразователях, также рассчитан преобразователь, способный без искажения передавать сигнал с датчика. Данная задача является актуальной не только в силу важности таких проверок, но и по причине полного отсутствия такого рода устройств на рынке.

**Ключевые слова:** датчик, преобразователь, электрический ток, микроконтроллер.

## DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR TESTING CURRENT SENSORS

Student **Gabdullin Eldar Khaidarovich**,  
Student **Moskalenko Pavel Anatolyevich**,  
PhD in Technology, Associate Professor, Head of the Department of  
Automation of Technological Processes and Productions  
**Kovalev Dmitry Alexandrovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The article proposes the structure of a device for checking current sensors used in traction converters; a converter is also calculated that is capable of transmitting a signal from the sensor without distortion. This task is relevant not only because of the importance of such checks, but also because of the complete absence of such devices on the market.

**Keywords:** sensor, converter, electric current, microcontroller.

В настоящее время в электротехническом оборудовании используются преобразователи с частотно токовым или векторным управлением. Эти системы работают десятилетия, и элементы, входящие в состав преобразователей, подвергаются естественному процессу старения и нуждаются в ремонте, а срок службы тяговых преобразователей необходимо продлить на длительный срок и минимизировать цену ремонта в условиях нынешних реалий.

В связи с данными требованиями появилась проблема, связанная с определением неисправности элементов и деталей, входящих в состав преобразователей на стадиях, когда их еще можно отремонтировать. Часто сигнал обратной связи, получаемый с датчиков тока, искажается или пропадает в режимах, где через датчики проходит ток, близкий к максимальному, а во всех остальных режимах система ведет себя исправно. Чтобы искоренить проблему, необходимо найти и заменить неисправный датчик, но при взаимном влиянии, например, при управлении двигателями переменного тока, такой датчик в обратной связи по току приводит к искажению всех выходных сигналов преобразователя. Получается, что для выполнения быстрого ремонта вместо одного неисправного датчика необходимо заменить все три, что увеличивает стоимость ремонтных работ в 3 раза [1].

Для решения подобных задач требуется система, которая позволит сравнить заданный неким способом ток, который пройдет через датчик, с измеренным. При несоответствии реального и измеренного тока оператор должен в ручном режиме измерить ток и амплитуду при помощи, например, двухканального осциллографа (однако, в автоматическом режиме данная операция пройдет быстрее и удобнее). Для разработки автоматизированного устройства необходима плата управления, которая при помощи находящегося на ней микроконтроллера будет знать реальный ток и измерять выданный датчиком тока вариант. Сравнение этих величин должно выдаваться пользователю в виде значений и в виде результата «годен/негоден».

Следует уточнить, что это приблизительные характеристики датчика. С одной стороны, частота преобразователей необходимой мощности у различных производителей составляет 20...40 кГц, и увеличение частоты позволит снизить массогабаритные показатели реактивных 35 компонентов, но в тоже время увеличение частоты накладывает серьезные требования к блоку управления, а именно к микроконтроллеру, который будет управлять работой IGBT транзисторов. Поэтому ограничимся в выборе рекомендованной нижней границей диапазона частоты работы такого преобразователя. Условимся, что выходное напряжение нашего устройства будет составлять 16 В [2]. Данная величина выбрана исходя из устройств, работающих по аналогичному принципу. У сварочных инверторов используется такое напряжение, вызванное двойным требованием: с одной стороны, оно должно быть минимальным для снижения мощности всей системы, с другой – для зажигания электрической дуги оно не должно быть очень низким. В нашем случае зажигать электрическую дугу нет необходимости, и напряжение может быть очень низким. Однако снижать его до единиц Вольт тоже нельзя, так как гарантированно возникнут проблемы с достижением заданного тока из-за потерь в узлах коммутации устройства. Исходя из этого, выберем максимальное напряжение 16 В.

Из сказанного выше, можно предложить функциональную схему, представленную на рисунке.

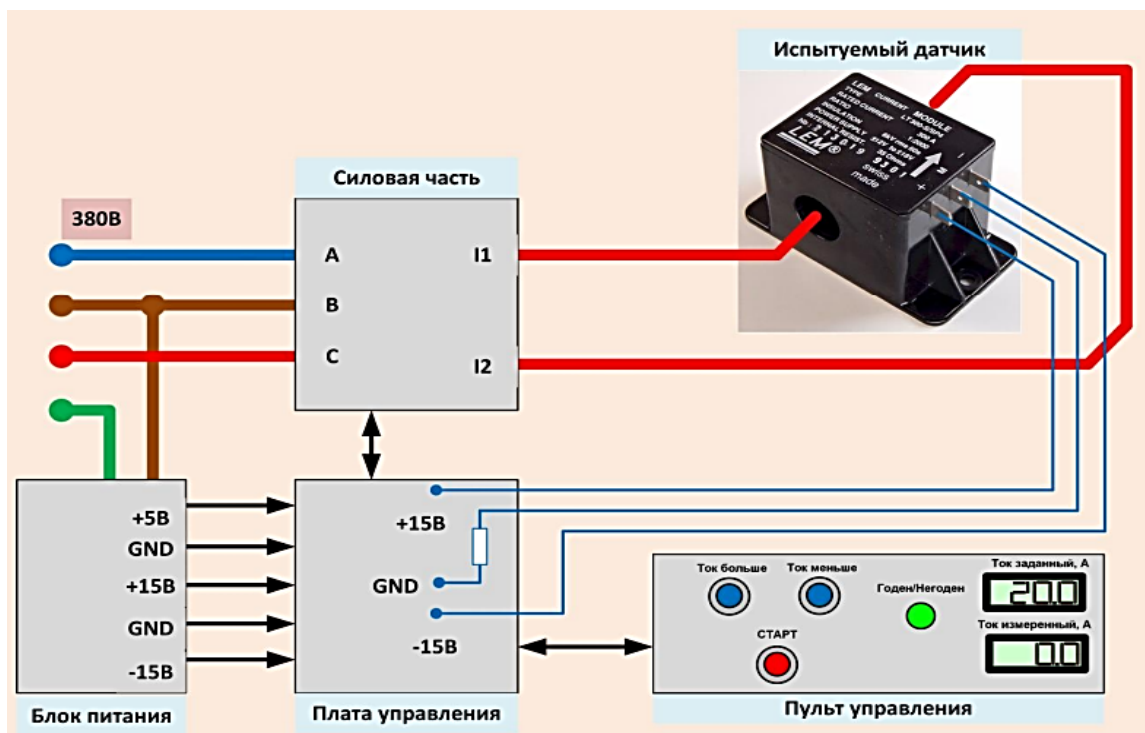


Рисунок. Функциональная схема устройства

Испытуемый датчик подключается на выход силовой части, которая преобразует переменное трехфазное напряжение 380 В в заданную величину выходного тока. Плата управления формирует управляющие воздействия на силовые транзисторы исходя из измеренных в силовой части величин выходного тока и других датчиков, обеспечивающих нормальное функционирование и надежную работу. Питание платы управления и испытуемого датчика осуществляется с платы питания. Интерфейс оператора образует пульт управления, на котором размещены основные органы управления: кнопки увеличения и уменьшения выходного тока и запуск в работу. Кроме того, на пульте установлены два индикатора для цифрового отображения величин, заданные и полученные с испытуемого датчика тока, а также двухцветный светодиод, который автоматически меняет цвет в зависимости от оценки результата [3].

При поиске и устранении неполадок, независимо от того, какое свойство будет измерять датчик, необходимо убедиться, что есть понимание, каким должен быть выходной сигнал для заданного количества измеряемого свойства. В качестве примера разберем предложенную ранее схему с установленным в ней датчиком тока.

Для начала необходимо использовать амперметр, чтобы увидеть какой ток поступает в нагрузку. Далее рассчитаем ожидаемый выходной сигнал датчика. Например, предположим, что преобразователь выдает 10 В постоянного тока, когда ток возрастает до 50 А. Разделим выходное значение (10 В постоянного тока) на диапазон 10/50 или 1/5. Таким образом, на каждые 5 А используется выходной сигнал 1 В. Следовательно, 25 А создадут выходное напряжение 5 В постоянного тока [4]. Тот же подход используется, когда преобразователь имеет выход «живой-ноль», но выходной сигнал при нулевом



токе (или напряжении, или другом измеряемом параметре) должен быть включен в расчет. Это называется смещением сигнала. При любом аналоговом сигнале, создаваемом преобразователем или датчиком, устройство, получающее выходные данные (система сбора данных, панельный дисплей, ПЛК и т. д.), должно быть настроено так, чтобы оно понимало значение выходных данных. Например, сигнал преобразователя 4-20 мА дает диапазон 16 мА. Поскольку в приведенном выше примере описывается диапазон 0-50, соотношение составляет 16/50 или 0,32 мА/А [5]. Нагрузка 37,50 А вызывает изменение выходного сигнала преобразователя на 12 мА. Таким образом, с добавленным значением смещения сигнала, выход датчика должен быть  $12 \text{ мА} + 4 \text{ мА} = 16 \text{ мА}$ , что является приемлемым значением для диагностирования поломки оборудования без искажения в датчиках.

В заключении стоит сделать вывод, что разработка статического преобразователя для обеспечения испытаний датчиков тока является актуальной не только в силу важности таких проверок, но и по причине практически полного отсутствия такого рода устройств на рынке. Предложенный вариант легко можно рассматривать и как устройство совместной проверки нескольких датчиков. Для этой цели в управляющем микроконтроллере необходимо задействовать несколько каналов АЦП.

#### **Список литературы:**

1. Matsusada: [сайт]. – URL: <https://www.matsusada.com/application/ps/current-sensor-test/> (дата обращения: 25.10.2022). – Текст : электронный.
2. Electronicdesign: [сайт]. – URL: <https://www.electronicdesign.com/content/article/21186734/testing-open-and-closed-loop-current-sensors/> (дата обращения: 05.11.2022). – Текст : электронный.
3. Researchgate: [сайт]. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/328609902/> (дата обращения: 07.10.2022). – Текст : электронный.
4. Липатов, М. С. Внедрение робототехнического контроля на котельных с целью их более эффективного функционирования / М. С. Липатов, Т. А. Ильяхунов // Дневник науки. – 2022. – № 3 (63). – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_48463552\\_85195596.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48463552_85195596.pdf) (дата обращения: 27.10.2022). – Текст : электронный.
5. Exponenta.ru: [сайт]. – URL: <https://hub.exponenta.ru/> (дата обращения: 28.09.2022). – Текст : электронный.

© Габдуллин Э. Х., Москаленко П. А., Ковалёв Д. А., 2022

## УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПОДСИСТЕМАМИ С ПОМОЩЬЮ ВСТРОЕННЫХ СИСТЕМ

студент **Подкорытов Денис Дмитриевич**,  
Тюменский индустриальный университет,  
г. Тюмень, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье обсуждаются возможности и применение управления энергетическими подсистемами с помощью встроенных систем, основанных на микроконтроллерах.

**Ключевые слова:** встроенные системы, контроллеры, энергетика, энергетические системы.

## ENERGY SUBSYSTEM CONTROL USING EMBEDDED SYSTEMS

Student **Podkorytov Denis Dmitrievich**,  
Tyumen Industrial University,  
Tyumen, Russian Federation

**Abstract.** This article discusses the possibilities and applications of controlling energy subsystems using embedded systems based on microcontrollers

**Keywords:** embedded systems, controllers, power engineering, energy systems.

Встроенная система – это компьютерная система с выделенной функцией в рамках более крупной механической или электрической системы, часто с ограничениями на вычисления в реальном времени. Она устроена как часть целостного устройства, часто включающего аппаратные и механические части. Встроенные системы управляют многими устройствами, широко используемыми сегодня. Девяносто восемь процентов всех микропроцессоров производятся как компоненты встраиваемых систем. Встроенные системы варьируются от портативных устройств, таких как цифровые часы и MP3-плееры, до крупных стационарных установок, таких как светофоры, заводские контроллеры, и в значительной степени сложных систем, таких как гибридные транспортные средства, МРТ и авионика.

Поскольку встраиваемая система предназначена только для выполнения определенных задач, инженеры-проектировщики могут оптимизировать размер, стоимость, энергопотребление, надежность и производительность. Встраиваемые системы, как правило, производятся в широких масштабах и обладают общими функциональными возможностями в различных средах и приложениях.

Встроенные системы управляются одним или несколькими процессорными ядрами в виде микроконтроллеров или цифровых сигнальных

процессоров (DSP), программируемые в полевых условиях матрицы вентиляей (FPGA), специализированные интегральные схемы (ASIC) и матрицы вентиляей. Эти обрабатывающие компоненты интегрированы с компонентами, предназначенными для управления электрическим и/или механическим взаимодействием [1].

Ключевой особенностью встраиваемой системы является преданность конкретным функциям, которые обычно требуют мощных процессоров общего назначения. Например, системы маршрутизаторов и коммутаторов являются встроенными системами, в то время как компьютер общего назначения использует соответствующую ОС для функциональности маршрутизации. Однако встроенные маршрутизаторы функционируют более эффективно, чем компьютеры на базе ОС, в отношении функций маршрутизации. Встроенные системы воспринимают величины из окружающего пространства и выполняют действия с помощью исполнительных механизмов.

Встроенная система, реализованная с помощью микроконтроллера, включает в себя сигнальный процессор. Это означает, что он работает с низким напряжением и малыми токами, которые безопасны для контроллера. Максимальный ток ограничен несколькими миллиамперами. Прямое подключение большинства исполнительных механизмов к выводу микроконтроллера приводит к немедленному повреждению вывода всего микроконтроллера.

Эта проблема может быть решена за счет использования высокомошной детали в качестве транзистора, тиристора, симистора, реле и т. д. Индуктивные нагрузки (двигатели постоянного и переменного тока и т. д.) требуют большого внимания при выборе силовых элементов и цепей [2]. Для этой цели очень часто используется защитный диод.

Простая схема полезна для активации привода (простое включение двигателя постоянного тока, катушки реле и т. д.). Если необходимо управлять скоростью вращения постоянного тока, это можно сделать с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). ШИМ – это формирование сигнала в течение рабочего цикла сигнала [1]. Его основное применение заключается в обеспечении контроля мощности, подаваемой на электрические устройства, особенно на инерционные нагрузки, такие как двигатели. Среднее значение напряжения (и тока), подаваемого на нагрузку, регулируется быстрым включением и выключением переключателя между питанием и нагрузкой. Чем дольше переключатель включен по сравнению с периодами выключения, тем выше общая мощность, подаваемая на нагрузку.

Частота переключения варьируется от нескольких раз в минуту в электрической плите; 120 Гц в диммере лампы; от нескольких килогерц (кГц) до десятков кГц для электропривода; и до десятков или сотен кГц в аудиоусилителях и компьютерных блоках питания.

Термин рабочий цикл описывает отношение времени «включения» к регулярному интервалу или «периоду» времени; низкий рабочий цикл

соответствует низкой мощности, поскольку питание отключено большую часть времени. Рабочий цикл выражается в процентах, при этом 100 % полностью включено. Главное преимущество ШИМ заключается в том, что потери мощности в коммутационных устройствах очень низкие. Когда выключатель выключен, ток практически отсутствует, а когда он включен и питание передается на нагрузку, падение напряжения на выключателе практически отсутствует. Таким образом, потери мощности, являющиеся произведением напряжения и тока, в обоих случаях близки к нулю. ШИМ также хорошо работает с цифровыми элементами управления, которые, благодаря своей природе включения / выключения, могут легко устанавливать необходимый рабочий цикл. ШИМ также использовалась в некоторых системах связи, где ее рабочий цикл использовался для передачи информации по каналу связи. Многие микроконтроллеры включают в себя встроенные ШИМ-контроллеры. Преимущество ШИМ заключается в том, что сигнал остается цифровым на всем пути от процессора к управляемой системе; нет необходимости в цифроаналоговом преобразовании, сохраняя сигнал цифровым, шумовые эффекты сводятся к минимуму [1].

Повышенная помехозащищенность является еще одним преимуществом выбора ШИМ вместо аналогового управления и является основной причиной, по которой ШИМ иногда используется для связи. Переключение с аналогового сигнала на ШИМ может значительно увеличить длину канала связи. На приемном конце подходящая сеть RC (резистор-конденсатор) или LC (катушка индуктивности-конденсатор) может удалять модулирующую высокочастотную прямоугольную волну и возвращать сигнал в аналоговую форму.

Индуктивная нагрузка в виде двигателя постоянного тока может вызвать проблемы, поскольку устройства с индуктивной нагрузкой (двигатель постоянного тока, реле, соленоид и т. д.) создают электрические всплески, которые повреждают выходы микроконтроллера, или же он может быть полностью поврежден. Для повышения безопасности и надежности полезно использовать защиту от электрической изоляции, которая изолирует сигнальную часть контроллера от силовой части двигателя постоянного тока.

Оптроны и оптоизоляторы могут использоваться сами по себе или для переключения ряда других более крупных электронных устройств, таких как транзисторы и симисторы, обеспечивая необходимую электрическую изоляцию между управляющим сигналом более низкого напряжения и выходным сигналом более высокого напряжения или тока. Общие области применения оптронов включают микропроцессорную коммутацию ввода-вывода, управление питанием постоянного и переменного тока, связь с ПК, изоляцию сигналов и регулирование источника питания, которые страдают от контуров заземления тока, и т.д. Передаваемый электрический сигнал может быть как аналоговым (линейным), так и цифровым (импульсным).

RC servo – это позиционный сервомеханизм, который состоит из двигателя постоянного тока, датчика положения и электронного управления. Существуют

вращательные, а также линейные сервоприводы [2].

Управление этими сервоприводами осуществляется с помощью обычного РС-сигнала. Это сигнал широтно-импульсной модуляции, и ширина импульса составляет значение желаемого положения углового рупора или линейного вала. Длительность импульса находится в диапазоне от 1 мс до 2 мс, а задержка между импульсами – в диапазоне от 10 мс до 20 мс.

Импульс длительностью 1 мс означает, что рупор сервопривода поворота поворачивается в положение  $-90^\circ$ , а импульс длительностью 2 мс означает поворот рупора в положение  $+90^\circ$ . Вал линейного сервопривода перемещается в конечное положение при длительности импульса 1 мс, а импульс шириной 2 мс вызывает смещение вала линейного сервопривода вперед.

Опыт показывает, что вышеупомянутое соглашение может варьироваться, и у каждого производителя разные характеристики сервопривода, а также каждая деталь от одного и того же производителя может иметь разное поведение. Рекомендуется выполнить калибровку сервопривода перед использованием РС-сервопривода. Также нагруженный сервопривод может иметь другую характеристику.

Каждый микроконтроллер способен генерировать импульсы с заданной шириной. Некоторые из них также могут генерировать импульсы на фоне основного процесса. Подключение радиоуправляемого сервопривода к микроконтроллеру простое. В любом случае безопаснее вставить резистор для ограничения тока выходного сигнала.

Шаговый двигатель – это бесщеточный электродвигатель постоянного тока, который делит полный оборот на несколько равных шагов [3]. Затем можно подать команду двигателю на перемещение и удержание на одном из этих этапов без какого-либо датчика обратной связи (контроллер с разомкнутым контуром), если двигатель точно подобран в соответствии с приложением в отношении крутящего момента и скорости.

Шаговый двигатель известен своим свойством преобразовывать последовательность входных импульсов (обычно прямоугольных импульсов) в точно определенное приращение положения вала. Каждый импульс перемещает вал на фиксированный угол.

Существует два основных способа намотки электромагнитных катушек в двухфазном шаговом двигателе: биполярный и униполярный.

Однополярный шаговый двигатель имеет одну обмотку с центральным отводом на фазу. Каждая секция (A, B, C, D) обмоток включается для каждого направления магнитного поля. Поскольку в этом устройстве магнитный полюс может быть обращен вспять без переключения направления тока, схема коммутации может быть выполнена очень простой (например, один транзистор) для каждой обмотки.

Биполярные двигатели имеют по одной обмотке на фазу. Ток в обмотке должен быть обращен вспять, чтобы повернуть магнитный полюс вспять, поэтому схема возбуждения должна быть более сложной, обычно с H-мостовым

расположением. На фазу приходится два вывода, ни один из них не является общим [4].

Измеренные данные относительно стабильны и близки к контрольному значению. Вентилятор был настроен на десять различных значений, и это привело к десяти различным значениям скорости воздушного потока.

Возможности управления приложениями встроенных систем практически неограниченны. Самым большим преимуществом являются небольшие размеры микроконтроллера, что позволяет включать микроконтроллер в управляемую машину.

Встроенная система – это оборудование, которое позволяет создать мехатронную систему. Это придает продуктам интеллектуальность, а также множество новых функций. Также новый тип продуктов может быть разработан благодаря встроенным системам, таким как проигрыватели компакт-дисков, сегвей, дроны, подушки безопасности, ABS, ESP и другие автомобильные системы в автомобилях, военные системы, сервисные роботы, банкоматы, планетоходы и т. д.

### **Список литературы:**

1. Баррет, С. Ф., Пак, Д. Дж. Встраиваемые системы. Проектирование приложений на микроконтроллерах семейства 68HC12 / HCS12 с применением языка С / С. Ф. Баррет, Д. Дж. Пак. – М. : Издательский дом «ДМКпресс», 2015. – 640 с. – Текст : непосредственный.
2. Васильев, А. Е. Встраиваемые системы автоматики и вычислительной техники. Микроконтроллеры / А. Е. Васильев. – М. : Горячая линия – Телеком, 2018. – 590 с.
3. Шаговый двигатель: [сайт]. – URL: [https://ru.zahn-info-portal.de/wiki/Stepper\\_motor](https://ru.zahn-info-portal.de/wiki/Stepper_motor) (дата обращения: 09.10.2022). – Текст : электронный.
4. Принцип работы биполярного шагового двигателя: [сайт]. – URL: <https://avtika.ru/printsip-raboty-bipolyarnogo-shagovogo-dvigatelya/> (дата обращения: 10.10.2022). – Текст : электронный.

© Подкорытов Д. Д., 2022

## **ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА В БЫТОВОЙ КУЛИНАРИИ, СВАРКЕ И ПРОМЫШЛЕННОМ ПЛАВЛЕНИИ: ТОПОЛОГИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

ст. преподаватель **Ларькина Татьяна Сергеевна**,  
доктор техн. наук, профессор **Льготчиков Валерий Вениаминович**,  
Смоленский филиал Национального исследовательского  
университета «МЭИ»,  
г. Смоленск, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы сущности проектирования систем индукционного нагрева, в частности в бытовой кулинарии и промышленности. В статье представлена минимально возможная функциональная схема построения силового канала систем индукционного нагрева. Выполнено обобщение влияния параметров нагрузки в системах индукционного нагрева. Приведено обобщение структур топологий, модуляций и управления силовыми преобразователями, применяемыми в системах индукционного нагрева. Приведен краткий анализ некоторых недавних исследований, связанных с индукционным нагревом в промышленном и бытовом применениях, с выявлением их особенностей и преимуществ.

**Ключевые слова:** система управления, индукционный нагрев, преобразователь, нагрев, автоматика.

## **ONTOLOGY OF DESIGN OF INDUCTION HEATING SYSTEMS IN HOUSEHOLD COOKING, WELDING AND INDUSTRIAL MELTING: TOPOLOGY OF CONVERTERS AND CONTROL SYSTEMS**

Senior Lecturer **Larkina Tatyana Sergeevna**,  
Doctor of Technical Sciences, Professor **Lgotchikov Valeriy Veniaminovich**,  
Branch of the "National Research University "MPEI" in Smolensk,  
Smolensk, Russian Federation

**Abstract.** This paper discusses the essence of the design of induction heating systems, in particular in household cooking and industry. The article presents the minimum possible functional scheme for constructing the power channel of induction heating systems. A generalization of the influence of load parameters in induction heating systems was performed. A generalization of the structures of topologies, modulations and control of power converters used in induction heating systems is given. A brief analysis of some recent studies related to induction heating in industrial and domestic applications is given, with the identification of their features and advantages.

**Keywords:** control system, induction heating, converter, heating, automation.

С начала XX в. индукционный нагрев использовался в промышленности для плавки металлов. Позже его стали использовать в авиационной и автомобильной промышленности. В настоящее время он используется во многих производственных компаниях для предварительного и последующего нагрева металлов, сварки, отжига, поверхностного нагрева, пайки, пайки, герметизации крышек и т. д.

Системы индукционного нагрева обладают рядом неотъемлемых преимуществ в сравнении с применением традиционных технологий на базе электрических и газовых систем, а именно:

- высокая эффективность;
- возможность применения в атмосфере защитного газа или в других средах (к примеру, в вакууме);
- небольшие массогабаритные показатели;
- отсутствие вредных выделений в атмосферу по причине того, что нагрев происходит за счет электромагнитного излучения;
- высокая скорость процесса нагрева;
- высокая точность;
- возможность достижения равномерного распределения температурного поля;
- меньшая постоянная времени при достижении тепла;
- возможность полной автоматизации технологического процесса;
- в то же время применение технологий индукционного нагрева предполагает утилизацию чистой энергии с более высокой эффективностью [1].

В настоящее время формализация объекта и понятие модели применяются во многих областях техники и науки, которые ставят своей целью решение сложных задач технологии, технологичности и экономики. При изучении свойств и особенностей объектов подобные задачи возникают с целью последующего управления, при создании адаптивных систем, в которых на основе построенной модели объекта вырабатываются оптимальные управляющие воздействия.

На стадии создания и эксплуатации систем управления объектами применяются различные типы моделей рассматриваемых объектов, систем или процессов. Это обуславливает актуальность проблемы построения эффективных моделей объектов технических, технологических, экономических или социальных процессов.

Общими признаками построения систем индукционного нагрева для электрических плит является наличие следующих функциональных узлов:

- силовая часть (силовой канал);
- система управления элементами силовой части;
- система управления технологическим процессом;
- устройство ввода-вывода и отображения информации (панель управления).

Для обеспечения принципа работы индукционного нагрева минимально необходимая структура преобразования электрической энергии должна включать следующие звенья [2]:



- устройство силового ввода;
- сетевой фильтр;
- выпрямитель;
- инвертор;
- индуктор.

На рисунке 1 приведена минимально возможная функциональная схема построения силового канала систем индукционного нагрева.

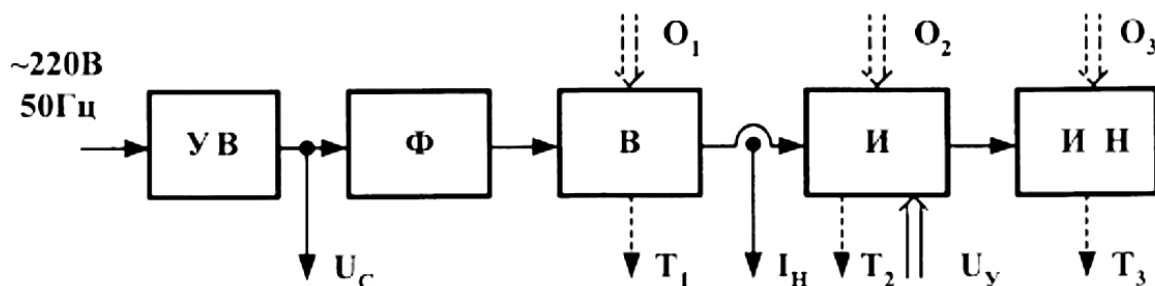


Рисунок 1. Минимально возможная функциональная схема построения силового канала систем индукционного нагрева: УВ – устройство силового ввода; Ф – сетевой фильтр; В – выпрямитель; И – инвертор; И Н – индуктор;  $O_1$  – охлаждение выпрямителя;  $O_2$  – охлаждение инвертора;

$O_3$  – охлаждение индукционного нагревателя;  $U_c$  – измерение напряжения питающей сети;  $T_1$  – измерение температуры выпрямителя;  $I_H$  – измерение тока нагрузки;  $T_2$  – измерение температуры инвертора;  $U_y$  – управление инвертором;  $T_3$  – измерение температуры индукционного нагревателя

В данной системе стоит отметить присутствие следующих физических явлений, таких как: ток Фуко (вихревой высокочастотный ток) и потери на магнитный гистерезис [3]. В случае нагрева заготовки, протекание тока Фуко возникает на поверхности нагрузки при коротком замыкании заготовки и нагревании материала по закону Джоуля.

Иной способ нагрева, связанный с применением индукционных систем, может быть реализован за счет эффекта гистерезиса с использованием соответствующего ферромагнитного материала.

В обоих случаях потери и величина тепла напрямую зависят от частоты подачи. Следовательно, выбор диапазона рабочей частоты влияет на величину результирующего тепла и, в свою очередь, на соответствующее применение: условно, несколько кГц для бытового и промышленного применения и несколько МГц для медицинского и мощного промышленного применения.

Выбор топологии силового преобразователя, частоты переключения и их рабочих характеристик определяет их соответствие конкретному применению.

Общая структура топологий и модуляций силовых преобразователей, применяемых в системах индукционного нагрева, показана на рисунке 2.

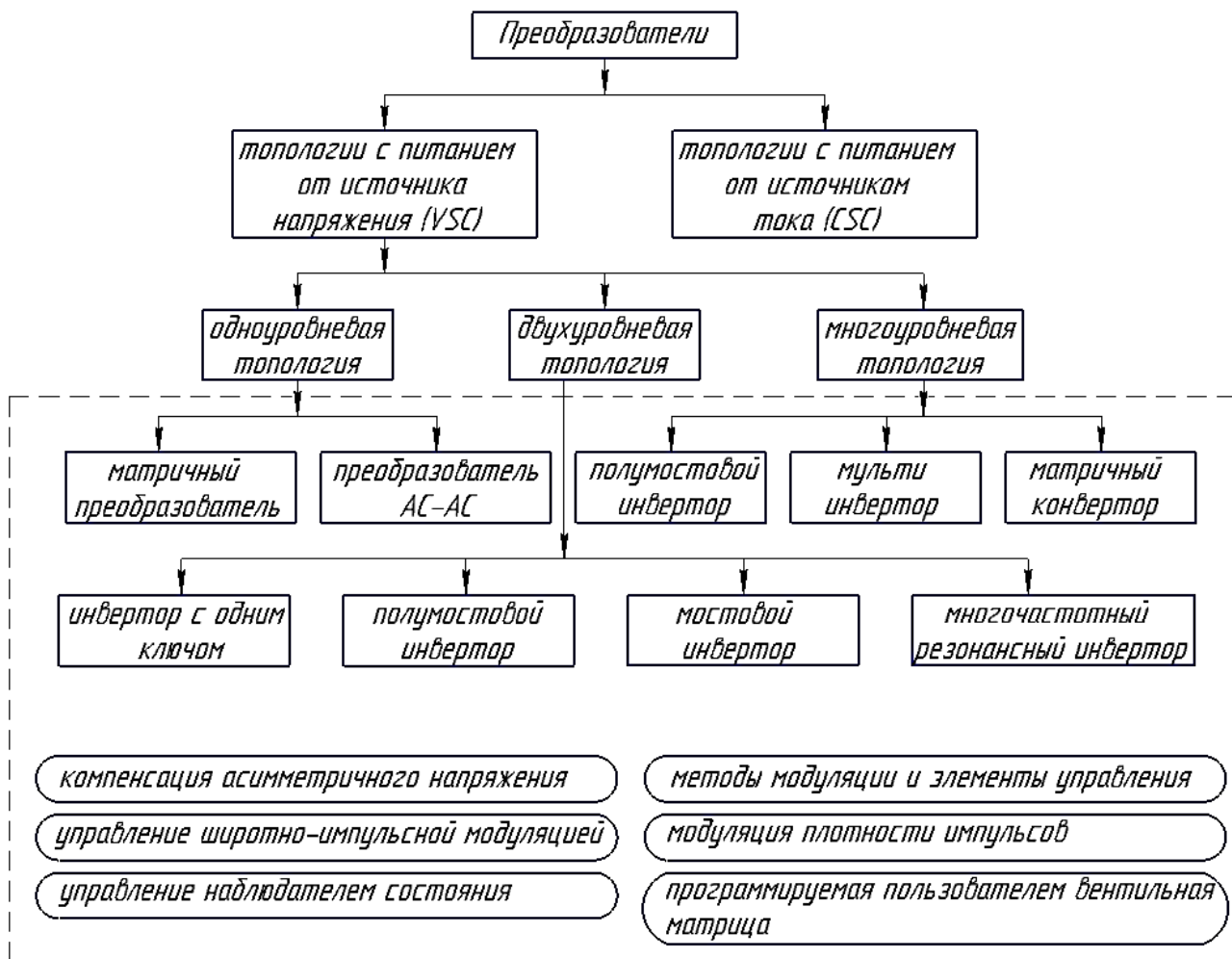


Рисунок 2. Общая структура топологий и модуляций силовых преобразователей, применяемых в системах индукционного нагрева

Питание систем осуществляется переменным током промышленной частотой 50 Гц, который требует преобразования в высокочастотный ток Фуко. Таким образом, имеют место применения различных методов преобразования энергии. Считается, что двухкаскадные схемы преобразования мощности обладают такими преимуществами, как высокое регулирование напряжения и хорошая стабильность, что заявляют многие исследователи [4; 5; 6].

Первая ступень преобразования (содержащая две ступени) обычно реализуется по мостовой схеме, в которой сеть переменного тока частотой 50 Гц выпрямляется с помощью неуправляемого диодного мостового выпрямителя. На втором этапе высокочастотный инвертор преобразует постоянный ток в переменный ток высокой частоты. На обоих этапах конструкция фильтров имеет жизненно важное значение для повышения общей эффективности и соответствия требованиям к качеству электроэнергии.

Во многих исследовательских работах рассматриваются проблемы подавления скачков напряжения и другие вопросы качества электроэнергии для обеспечения электромагнитной совместимости [5; 6]. Для повышения эффективности системы и уменьшения количества полупроводниковых переключателей разработаны однокаскадные топологии систем индукционного

нагрева с фильтрами ЭМС и без них [4; 5; 6]. Из литературы очевидно, что стремление предложить новый алгоритм управления, способный уменьшить коммутационные потери и точно регулировать мощность, имеет большое значение.

Инновации в силовой электронике в значительной степени способствовали развитию технологии индукционного нагрева [6]. Сердцем топологии индукционного нагрева является инвертор.

Довольно часто используются двухступенчатые преобразования, когда входной переменный ток преобразуется для регулирования постоянного тока на первом этапе, а затем инвертируется на втором этапе.

В некоторых применениях переменное напряжение напрямую подается на систему индукционного нагрева, и эта схема называется одноступенчатым преобразованием мощности.

Генерация вихревых токов, необходимая для индукционного нагрева, извлекается из инвертора, который изменяет фиксированную частоту, фиксированную величину напряжения на переменное напряжение и переменную частоту.

Изменение частоты оказывает прямое влияние на величину вихревого тока [2]. Поскольку вихревой ток зависит от частоты, для индукционного нагрева, как правило, выбирают частоту выше 20 кГц, чтобы избежать звукового шума, и повышают до 1 МГц в зависимости от применения.

Различают два типа инверторов, а именно: инвертор с источником напряжения и инвертор с источником тока. Они используются для приложений индукционного нагрева для получения высокой удельной мощности.

Нагрузка индукционного нагрева моделируется как эквивалентный резистор  $R_{eq}$  и эквивалентный индуктор  $L_{eq}$ . Практическое представление нагрузки индукционного нагрева представляет собой последовательное соединение  $R_{eq}$  и  $L_{eq}$ .

Используемый источник питания, геометрия катушки и ток, протекающий через катушку, определяют нагрев катушки.

Кроме того, на эффективность индукционного нагрева влияет расстояние между размещением рабочей катушки и рабочим телом (обрабатываемой деталью, нагреваемой поверхностью и т. д.) и применяемая частота. Влияние этих параметров нагрузки при индукционном нагреве приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние параметров нагрузки в системах индукционного нагрева

<i>Параметр</i>	<i>Влияние на нагрев</i>	<i>Примечание</i>
Геометрия катушки индуктивности	Зависит от плотности магнитного потока.	Геометрия катушки индуктивности должна быть спроектирована с учетом проблемы нагрева.
Частота	Эффективность скорости нагрева зависит от частоты.	Силовые полупроводники могут иметь более высокие потери при переключении, что приводит к снижению эффективности.

<i>Параметр</i>	<i>Влияние на нагрев</i>	<i>Примечание</i>
Расстояние между размещением рабочей катушки и рабочим телом	Эффект нагрева будет выше при меньшем расстоянии.	Опасность перегрева при однородной нагрузке.
Концентраторы магнитного потока	Как правило, предпочтительнее для высокотемпературных приложений.	Приводит к опасному повышению температуры для неоднородной нагрузки.
Индуктивный ток	Более высокое значение тока индуктора приводит к быстрому нагреву.	Для небольшой системы может произойти перегрев.

Регулирование частоты индукционного нагрева становится более грамотным при использовании резонансных преобразователей.

Резонансный резервуар RLC образован добавлением в цепь дополнительного резонансного конденсатора  $C_r$ . Основное назначение этого конденсатора – генерировать синусоидальный высокочастотный переменный ток для нагрева нагрузки.

Основываясь на расположении  $C_r$  последовательно или параллельно по отношению к нагрузке, схема называется последовательным резонансным инвертором или параллельным резонансным инвертором. Как правило, последовательный резонансный контур RLC чаще всего используется для системы индукционного нагрева с питанием от инвертора напряжения, что гарантирует, что средний ток, протекающий через индуктор, равен нулю из-за последовательного конденсатора.

Коммутация нулевого напряжения реализуется в инверторных ключах при работе выше резонансной частоты.

Параллельный резонансный контур RLC используется для топологий индукционного нагрева с питанием от источника тока, что снижает ток, протекающий через переключатели. В этом инверторе реализована коммутация нулевого тока. Параллельный резонансный инвертор выбирают для систем, требующих высокого тока.

Таким образом, мягкое переключение, то есть переключение при нулевом напряжении или переключение при нулевом токе, приводит к меньшим потерям при переключении, что повышает общую эффективность системы индукционного нагрева.

Номинальные характеристики силовых полупроводниковых переключателей, используемых в промышленности, показаны на рисунке 3. В зависимости от номинальной мощности и частоты переключения можно выбрать соответствующие полупроводниковые переключатели.

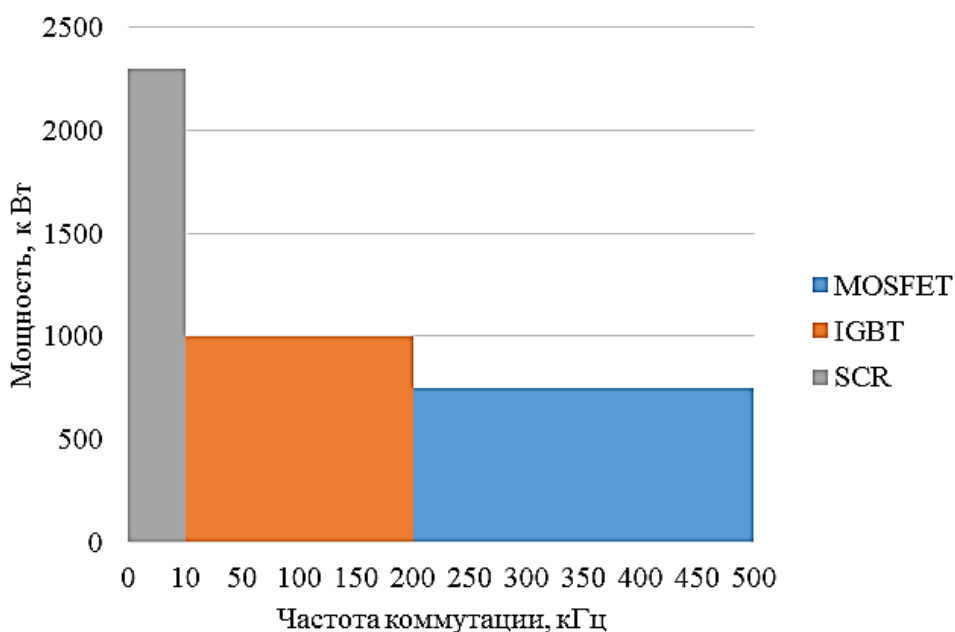


Рисунок 3. Рейтинг силовых полупроводниковых переключателей, используемых в промышленных системах

Некоторые из недавних исследований, связанных с индукционным нагревом в промышленных применениях, показаны в таблице 2 [7; 8].

Таблица 2 – Некоторые недавние исследования, связанные с индукционным нагревом в промышленном и бытовом применениях

Топология преобразователя	Область применения	Система управления	Рабочая частота	Анализ
<i>в промышленном применении</i>				
Мостовой инвертор с тремя последовательными соединениями	Машина индукционного нагрева постоянного тока	ШИМ управление	1,5 кГц	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Анализ методом конечных элементов выполняется для определения передачи энергии между токами индуктора и нагреваемой деталью.</li> <li>- Жесткая коммутация</li> <li>- Контроль температуры не осуществляется</li> </ul>
Полномостовой мультимодулированный преобразователь	Многоуровневый преобразователь для нагрева промковша	Непрерывный текущий контроль тока	1 кГц	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Трехфазный переменный ток преобразуется в однофазный переменный ток.</li> <li>- Для изменения частоты используется контур фазовой автоподстройки частоты.</li> <li>- Реализована схема контроля баланса тока.</li> <li>- Используется большее количество переключателей.</li> <li>- Более высокая стоимость и коммутационные потери</li> <li>- Сложное управление.</li> </ul>

Топология преобразователя	Область применения	Система управления	Рабочая частота	Анализ
<i>в бытовом применении</i>				
Резонансный двухвыходной последовательный инвертор с общим конденсатором	Индукционная готовка	ШИМ-управление	30 кГц	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Сокращает количество компонентов, размер и стоимость.</li> <li>- Используется общий резонансный конденсатор.</li> <li>- Сложная независимая регулировка мощности.</li> <li>- Большие коммутационные потери.</li> </ul>
Одноступенчатый полномостовой повышающий инвертор	Высокочастотное применение	ШИМ со сдвигом фазы	40 кГц	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Прямое преобразование энергии.</li> <li>- Высокая эффективность.</li> <li>- Меньшие потери при переключении</li> <li>- Инжекция высших гармоник.</li> </ul>
Многочастотный резонансный инвертор	Резонансное переключение	Непрерывный текущий контроль тока	50 кГц	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Используется трансформатор с центральным отводом.</li> <li>- Выходная частота на стороне нагрузки вдвое превышает частоту коммутации.</li> <li>- Больше вихревых токов на нагрузке.</li> <li>- Больше потерь на стороне нагрузки.</li> <li>- Сложность расчета резонансной частоты.</li> </ul>

В бытовой технике широко используются системы на основе индукционного нагрева, в том числе индукционные плиты, индукционные нагреватели и т. д. Поскольку нет необходимости в отдельной системе охлаждения, общий КПД системы зависит только от производительности силового преобразователя и параметров нагрузки. Поэтому исследования различных топологий силовых преобразователей и их расширение до высокоэффективных многovyходных схем с компактными нагрузочными катушками вызвали интерес в исследовательском сообществе. Еще одна интересная перспектива этого исследования заключается в эффективном использовании горячей поверхности за счет увеличения общей площади нагрева, чтобы рабочее тело можно было разместить на любой части поверхности. Некоторые из недавних исследований, связанных с индукционным нагревом в кулинарии, показаны в таблице 2.

Из всего вышеизложенного становится очевидным, что системы индукционного нагрева играют значительную роль во многих областях. Хотя это хорошо зарекомендовавшая себя технология, важным воплощением которой является силовой электронный интерфейс, для повышения ее производительности все же необходимо решить некоторые дополнительные

вопросы. Кроме того, прогресс в расширении возможностей технологий и применения создает новые исследовательские интересы.

### **Список литературы:**

1. Sarnago H., Lucía O., Burdio J. M. A Versatile Resonant Tank Identification Methodology for Induction Heating Systems // IEEE Trans. Power Electron. 2018. P. 1897-1901.
2. Vishnuram P., Sridhar R., Suresh P., Sureshkumar A. A. Simple Digital Control for Mitigating Voltage Stress on Single Switch Resonant Inverter for Induction Cooking Applications // Int. J. Electron. Lett. 2019. Vol. 8. P. 162-169.
3. Льготчиков, В. В., Ларькина, Т. С. Синтез системы автоматического регулирования температуры жидкости с улучшенными динамическими показателями / В. В. Льготчиков, Т. С. Ларькина. – Текст : непосредственный // Вестник МЭИ. – 2019. – № 5. – С. 73-80.
4. Ларькина, Т. С. Параметрическая идентификация параметров среды системы косвенного индукционного нагрева жидкости / Т. С. Ларькина, В. В. Льготчиков, Г. С. Ленеvский. – Текст : непосредственный // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 3 (76). – С. 117-125.
5. Acero J., Lope I., Carretero C., Burdio J. M. Adapting of Non-Metallic Cookware for Induction Heating Technology via Thin-Layer Non-Magnetic Conductive Coatings // IEEE Access. 2020.
6. Meziane B., Zeroug H. Comprehensive Power Control Performance Investigations of Resonant Inverter for Induction Metal Surface Hardening // IEEE Trans. Ind. Electron. 2016.
7. Lin B.-R. Bidirectional Resonant Converter for DC Microgrid Applications // Processes. 2021. Vol. 9. 1664 p.
8. Lin B.-R. Analysis and Implementation of a Bidirectional Converter with Soft Switching Operation // Processes. 2022. Vol. 10. 561 p.

© Ларькина Т. С., Льготчиков В. В., 2022

## ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОВЕРКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

студент **Эйтерник Адель Юрьевна**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент  
**Богданова Наталия Владимировна**,  
Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные направления автоматизации технологических процессов поверки, организационные и экономические аспекты внедрения автоматизированных систем управления в процесс поверки измерительных приборов. Определены общие способы автоматизации поверки технических приборов.

**Ключевые слова:** поверка, автоматизация, измерительный прибор, средство измерения.

## FEATURES OF AUTOMATION OF THE PROCESS OF VERIFICATION OF TECHNICAL MEASURING INSTRUMENTS

Student **Eyternik Adel Yurievna**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Bogdanova Natalia Vladimirovna**,  
Kazan State Power Engineering University,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** The article discusses the main directions of automation of technological processes of verification, organizational and economic aspects of the introduction of automated control systems in the process of verification of measuring instruments. The general methods of automation of verification of technical devices are defined.

**Keywords:** automation, verification, measuring instruments.

Поверка технических средств в области обеспечения единства измерений является основным способом государственного регулирования. Точность показаний цифровых измерительных приборов во многом зависит от процедуры поверки. Главной задачей поверки технических средств является установление соответствия средств измерений установленными правилами [1].

Поверка средств измерения реализуется несколькими способами (рисунок 1). Поэлементно-эквивалентный метод является наиболее трудоемким типом поверки. Его особенность заключается в следующем: если у поверяемого прибора имеются вспомогательные устройства, например, аналогово-цифровой преобразователь, усилитель, первичный преобразователь, то основные



погрешности и работоспособность определяются у каждой составной части. Измерения физических величин в зависимости от типа элемента прибора могут отличаться от тех, для которых предназначено средство измерения [2].

Второй способ проводится без использования эталонных средств измерений. Показания измерений некоторых видов приборов проверяются при помощи таблиц физических констант или же стандартных справочных данных.

Метод непосредственного сличения. Указанный способ подразумевает одновременные вычисления одной и той же физической величины эталонным и поверяемым приборами.

В четвертом способе сравниваются измеряемые величины и величины, полученные образцовыми приборами.

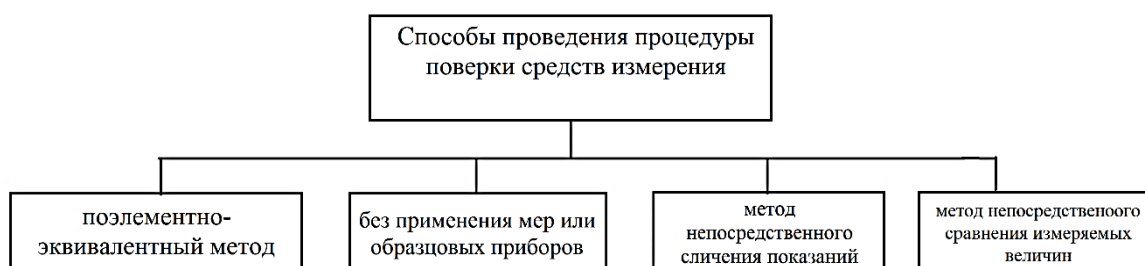


Рисунок 1. Способы проведения процедуры поверки средств измерения

Процесс поверки имеет определенные технологические сложности, а именно:

1. Длительность математических расчетов.
2. Процесс поверки занимает большое количество времени.
3. Финансовые затраты.

Процедуру поверки можно сделать более быстрой и качественной, внедрив современные технические средства. Наиболее эффективным методом улучшения может являться автоматизация процесса поверки. Многие считают, что понятие «автоматизация технологических процессов» подразумевает собой минимизацию или полное исключение участия человека в промышленном производстве. Однако автоматизация имеет область распространения только на определенные операции, осуществляемые в поверке измерительной техники [3].

Автоматизация процесса поверки в настоящее время имеет значительную роль на предприятиях высокотехнологичных отраслей промышленности. Для производства наиболее качественной продукции технологические требования средства измерения должны соблюдаться в абсолютной точности.

Основные направления автоматизации технологических процессов делятся на три группы (рисунок 2). На рассматриваемой схеме приведены общие способы и средства автоматизации процесса поверки, которые позволят сократить время на выполнение процедуры поверки, повысить достоверность результатов измерений и уменьшить количество допускаемых ошибок средства измерения.



Рисунок 2. Основные направления автоматизации технологических процессов поверки

Следует отметить, что процедура поверки, как уже было сказано ранее, не может быть полностью автоматизирована. Рассмотрим общие процессы, происходящие во время поверки:

1. Визуальная проверка технического прибора.
2. Проведение опробования (проверка: герметичности, соответствия требованиям эксплуатации, выходного нулевого значения).
3. Тестирование диэлектрической прочности и сопротивления изоляции.
4. Нахождение значения основной погрешности.
5. Анализ результата поверки.

Для первых двух процедур внедрение автоматизации будет являться практически невыполнимой задачей, так как они должны осуществляться непосредственным участием человека [4]. Последние три пункта могут быть автоматизированы, поскольку в них отражены оптимальные характеристики поверяемых приборов. При автоматизации последних операций необходимо учитывать влияющие факторы и соблюдать порядок основных действий:

1. Подключить поверяемый прибор к поверочному оборудованию, чтобы определить оптимальные характеристики.
2. Подать на выход прибора тестовый сигнал.
3. Фиксирование основных показаний поверяемого прибора.
4. Выявление факта о пригодности технического прибора.

Вышеприведенная последовательность операций устанавливается в соответствии с техническими требованиями производителя оборудования либо утверждается уже разработанной методикой поверки определенного технического прибора.

Другой способ автоматизации поверки средств измерений – имитационное моделирование. Этот метод направлен на решение задачи оценки достоверности результатов поверки. Для ее реализации необходимо:

1. Составить выборку в соответствии с заданными значениями поверяемых средств измерений.
2. Определить и построить стохастическую модель погрешностей поверяемых приборов.
3. Дать оценку точности проводимых измерений.
4. Смоделировать процесс поверки и проанализировать полученный результат.

Критерии достоверности поверки принимаются следующие: риски заказчика и изготовителя ( $R_z$  и  $R_p$  соответственно), вероятность принятия неверного решения ( $P_n$ ), а также вероятности ошибки первого и второго рода ( $P_1$  и  $P_2$ ). Составление репрезентативной выборки должно осуществляться при помощи множества однотипных средств измерения и экспериментальных исследованиях, требующих больших финансовых вложений. Поэтому в данном методе рационально использовать уже имеющиеся результаты поверки технических приборов [5].

На данный момент разработан программный комплекс, производящий обработку результатов поверки. В его составе содержатся сведения более чем 3500 видов измеряемых средств измерения. Данный комплекс обеспечивает оформление протокола поверки в соответствии с требованиями, выбор эталонного прибора для осуществления процесса поверки, проверку установленных и получаемых в результате поверки измерений, а также компактное хранение всех данных выполненных поверок [6].

Внедрение программируемого комплекса имитируемого моделирования позволило автоматизировать процесс поверки. Окупаемость такой системы будет достигаться за счет упрощения проводимой процедуры и снижения трудозатрат на оформление результата поверки.

Исходя из проведенного исследования, можно сделать вывод о том, что главной целью автоматизации процесса поверки является повышение работоспособности и качества технических приборов. Это осуществляется за счет внедрения аналогово-цифровых преобразователей, различных программных комплексов и т. д. Для автоматизации процедуры поверки также необходимо программное обеспечение, которое должно совершенствоваться параллельно со средствами измерения.

### Список литературы:

1. Приходько, Н. С. Автоматизация технологических процессов поверки средств измерения / Н. С. Приходько. – Текст : непосредственный // Научные вести. – 2019. – № 11 (16). – С. 120-125.
2. Ходжаев, И. А. Экономичный подход к автоматизации поверки средств измерений / И. А. Ходжаев, А. М. Соловьев, А. Г. Дубровин. – Текст : непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 9. – С. 38-43.
3. Голобоков, М. В. Автоматизация – эффективный путь повышения качества поверки (калибровки) средств измерений / М. В. Голобоков, С. Б. Данилевич. – Текст : непосредственный // Метрология, стандартизация, качество: теория и практика : материалы Международной научно-технической конференции, Омск, 14-16 ноября 2017 года. – Омск : Омский государственный технический университет, 2017. – С. 15-19.
4. Баггаш, М. А. М. Особенности автоматизации технологических процессов поверки средств измерения, в современных условиях развития / М. А. М. Баггаш. – Текст : непосредственный // Научный электронный журнал Меридиан. – 2020. – № 8 (42). – С. 339-341.
5. Данилевич, С. Б., Колесников, С. С., Пальчун, Ю. А. Применение имитационного моделирования при аттестации методик контроля и испытаний / С. Б. Данилевич, С. С. Колесников, Ю. А. Пальчун. – Текст : непосредственный // Измерительная техника. – 2011. – № 7. – С. 70-73.
6. Голобоков, М. В., Данилевич, С. Б. Имитационная модель процедуры поверки средств измерений / М. В. Голобоков, С. Б. Данилевич. – Текст : непосредственный // Компетентность. – 2016. – № 4. – С. 40-47.

© Эйтерник А. Ю., 2022

## АНАЛИЗ УРОВНЯ РАЗВИТИЯ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РФ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ТЭЦ

аспирант **Киани Эшрат**,  
науч. руководители: канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой теплосиловых  
установок и тепловых двигателей **Злобин Владимир Германович**,  
канд. техн. наук, доцент **Хлыновский Алексей Михайлович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассматривается работа водоподготовительных установок и химические показатели состава воды, используемой в работе ТЭЦ. Основное требование к качеству воды – необходимость обеспечить отсутствие накипи, отложений и коррозии в трубопроводах и оборудовании.

Режимы работы мембранного оборудования с ультрафильтрацией является наиболее оптимальным методом доведения природной воды до требуемых показателей. Анализ работы водоподготовительных установок на ряде ТЭЦ Российской Федерации показывает, что с помощью установок обратного осмоса достигаются экономически эффективные результаты эксплуатации.

**Ключевые слова:** водоподготовка, мембранная технология, обратный осмос, теплоэлектроцентраль.

## ANALYSIS OF THE CURRENT LEVEL OF DEVELOPMENT OF MEMBRANE TECHNOLOGIES IN THE OPERATION OF WATER TREATMENT PLANTS AT THERMAL POWER PLANTS

PhD Student **Kiani Eshrat**,  
Academic Advisors: PhD in Technology, Associate Professor, Head of the  
Department of Heat Power Installations and Heat Engines  
**Zlobin Vladimir Germanovich**,  
PhD in Technology, Associate Professor **Khlynovsky Alexey Mikhailovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The article discusses the operation of water treatment plants and the chemical indicators of the composition of the water used in the operation of the TPP. The main requirement for water quality is the need to ensure the absence of scale, deposits and corrosion in pipelines and equipment.

Modes of operation of membrane equipment with ultrafiltration is the most optimal method of bringing natural water to the required performance. An analysis of

the operation of water treatment plants at a number of thermal power plants of the Russian Federation shows that cost-effective operation results are achieved with the help of reverse osmosis plants.

**Keywords:** water treatment, membrane technology, reverse osmosis, thermal power plant.

### *Введение*

В настоящее время для подготовки воды с обеспечением химических характеристик в соответствии с требованиями нормативных документов, для использования ее в работе ТЭЦ (Теплоэлектроцентрль) применяются различные методы очистки. «Классические» технологии основаны на применении напорных, осветительных, сорбционных, ионообменных и др. фильтров. В силу различных причин, а именно: колебания качества природной воды в связи с различными климатическими изменениями (паводок), либо техногенными авариями на источниках водоснабжения, а также не удовлетворительным состоянием водопроводных сетей, существующие системы водоочистки не всегда могут справиться с задачей подготовки воды соответствующего качества.

Несмотря на широкое использование «классических» методов водоподготовки, потребители все больше внимания уделяют поиску новых перспективных методов очистки воды с использованием более компактного оборудования, более простых методов эксплуатации, при этом обеспечивающих снижение экологической нагрузки на окружающую среду. К их числу следует отнести способы водоподготовки с применением мембранных технологий.

### *1. Требования к качеству воды на ТЭЦ*

Основной задачей подготовки воды на ТЭЦ является борьба с коррозией и накипью. Режим эксплуатации водоподготовительных установок должны обеспечить работу электростанций и тепловых сетей без повреждений и снижения экономичности, вызванных коррозией внутренних поверхностей водоподготовительного, теплоэнергетического и сетевого оборудования, а также образованием накипи и отложений на теплопередающих поверхностях, отложений в проточной части турбин, шлама в оборудовании и трубопроводах электростанций и тепловых сетей. Показатели качества питательной воды для ТЭЦ приведены в таблице 1.

Химические характеристики питательной воды в зависимости от типа котла и вида топлива приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Нормы качества питательной воды для ТЭЦ

<i>Наименование химических показателей</i>	<i>Единицы измерения</i>	<i>Значение</i>
Общая жесткость	мг-экв/дм <sup>3</sup>	не более 0,2
Соединения натрия	мкг/дм <sup>3</sup>	не более 5
Кремниевая кислота	мкг/дм <sup>3</sup>	не более 15
Соединения железа	мкг/дм <sup>3</sup>	не более 10

Окончание табл. 1

Наименование химических показателей	Единицы измерения	Значение
Растворенный кислород при кислородных режимах	мкг/дм <sup>3</sup>	100-400
Удельная электрическая проводимость	мкСм/см	не более 0,3
Соединения меди в воде перед деаэратором	мкг/дм <sup>3</sup>	не более 5*
Растворенный кислород в воде после деаэратора	мкг/дм <sup>3</sup>	не более 10
Значение рН при режиме:		
гидразинно-аммиачном		9,1±0,1
гидразинном		7,7±0,2
кислородно-аммиачном		8,0±0,5
нейтрально-кислородном		7,0±0,5
Гидразин, мкг/дм <sup>3</sup> , при режиме:		
гидразинно-аммиачном		20-60
гидразинном		80-100
пуска и останова		до 3000
Содержание нефтепродуктов (до конденсатоочистки)	мг/дм <sup>3</sup>	не более 0,1

\*При установке в конденсатно-питательном тракте всех теплообменников с трубками из нержавеющей стали или других коррозионностойких материалов – не более 2 мкг/дм<sup>3</sup>

Таблица 2 – Нормы качества питательной воды для котлов различных типов

Наименование	Тип котла					
	Газо-жаротрубные			водотрубные		
	Давление, Мпа (кгс/см <sup>2</sup> )					
	1,4(14)		1,4(14)		2,4(24)	
	топливо					
	твердое	Жидкое и газ	твердое	Жидкое и газ	твердое	Жидкое и газ
Содержание взвешенных веществ, мг/л	50	5	5	5	5	5
Общая жесткость, мкг-экв/л	100	30	20	15	15	10
Содержание соединений железа в пересчете на Fe, мгк/л	Не нормируется	300	Не нормируется	300	200	100
Содержание соединений меди в пересчете на Cu, мгк/л	Не нормируется					
Содержание растворенного O <sub>2</sub> , мгк/л	100	50	50	30	50	20
Значение рН при 25 °С	8,5 – 9,5					
Содержание свободной углекислоты, мгк/л	Не нормируется					
Содержание нитритов в пересчете на мгк/л	Не нормируется					
Содержание масла и других веществ, экстрагируемых эфиром, мг/л	3,0					

## *2. Мембранные технологии в водоподготовке*

Мембранная технология по сравнению с традиционными приемами (фильтрация и др.) занимает важное место в разделении жидкостных систем. По мере накопления исследовательских и теоретических знаний по мембранной технологии стали изучаться возможности ее применения в промышленности.

В России начали создаваться промышленные производства мембран и мембранного оборудования, существенно расширились отрасли, в которых применялись мембранные технологии.

К основным мембранным методам относят: 1) обратный осмос, 2) ультрафильтрацию, 3) микрофильтрацию, 4) диализ, 5) электродиализ, 6) газоразделение.

Отметим, что мембранные методы широко применяются в химической и пищевой промышленности, в медицине и сельском хозяйстве. Эти методы широко используются для очистки, изменения концентрации и разделения жидких смесей на составляющие элементы. Основные их преимущества: высокая производительность и более низкая себестоимость производства.

## *3. Исторический экскурс: развитие мембранных технологий водоподготовки*

Первая научная публикация по мембранным методам разделения принадлежит аббату и ученому Жану Антуану Нолле (1748 г.), который изучал причины вскипания жидкостей и поставил серию экспериментов со свинными пузырями, примененными им в качестве мембран [1]. Впервые непосредственно применил мембрану для разделения смесей французский врач-физиолог Рене Дютроше, который опубликовал в 1827 г. результаты своих исследований, где он использовал как органические, так и неорганические мембраны для разделения жидкостей. В 1861 г. Томас Грэм (Англия) доложил о своих первых экспериментах по диализу, который он проводил с помощью синтетических мембран. Ученый выполнил первое мембранное разделение газов и получил обогащенный воздух, содержащий 46,6 % кислорода.

В современной России мембранные технологии также начинают занимать ведущие позиции. Усовершенствование инновационных, энергосберегающих технологий, в том числе и мембранной, является приоритетным направлением развития России. Решением Правительственной комиссии по научно-технической политике от 21 июля 1996 г., мембранная технология получила статус критической технологии федерального уровня [2].

Еще в 1985 г. вышло постановление Совета Министров СССР, направленное на ускорение развития мембранных технологий в народном хозяйстве. Было организовано ознакомление специалистов с опытом работ ведущих мировых фирм в области использования обратноосмотической технологии на объектах энергетики [3; 4].

Первая промышленная отечественная установка была изготовлена для Зуевской ТЭЦ. Производительность ее составляла 50 м<sup>3</sup>/ч. Отметим, что



установка была собрана полностью из отечественных комплектующих и, что особенно важно, находилась в промышленной эксплуатации долгое время [5].

По сравнению с другими технологиями мембранные методы имеют следующие преимущества: компактность оборудования; отсутствие постоянных минерализованных стоков; стабильное качество очистки; исключение применения концентрированных реагентов; отсутствие фазовых переходов при разделении раствора, что позволяет минимизировать расходы энергии. Процесс протекает непрерывно (за исключением процедуры регламентной химической мойки оборудования). Получение воды высокого качества происходит за счет применения двухступенчатого обратного осмоса без финишного химического дообессоливания.

Из приведенных формулировок видно, что задача обеспечения экологичности процесса достигается за счет отсутствия высокоминерализованных сточных вод. Однако данный способ имеет ряд недостатков в задачах получения глубокообессоленной воды (значение показателя: микросименс на сантиметр, равно  $\chi \leq 0,5$  мкСм/см). Возникает необходимость применения: химического фильтра смешанного действия, Н-ОН-ионирования или электрохимического обессоливания (электродеионизация).

Существуют высокие требования к качеству воды, подаваемой на УОО (установку обратного осмоса). Применяется ультрафильтрация, умягчение; кроме того, требуются значительные расходы воды на собственные нужды – порядка  $\approx 25$  %. Пока еще есть необходимость использования комплектующих от зарубежных производителей. Существует высокая чувствительность мембран к загрязнениям; а также ограниченный температурный интервал эксплуатации (+5 - +35 °С).

Стоит отметить, что на начальном этапе внедрение УОО проходило путем замены ионообменных фильтров первой ступени обессоливания. Это позволило повысить эффективность работы последующих ступеней ионообменного фильтрования, снизить расходы реагентов на регенерацию, уменьшить нагрузку по органическим соединениям. В процессе эксплуатации были выявлены проблемы, связанные с химическим составом воды, поступающей на УОО: низкое качество вызывало необходимость часто проводить химическую мойку оборудования. В связи с чем возникала необходимость организации процесса предочистки воды. Многолетний опыт эксплуатации и исследований показали, что наиболее оптимальной, с точки зрения приведения исходной воды к требуемым показателям, поступающей на УОО, является ультрафильтрация. Она обеспечивает снижение таких показателей как содержание железа, алюминия, взвешенных веществ, наличие вирусов и бактерий и т. д. По результатам исследования [6], известно, что в последнее десятилетие спрос на ионообменные технологии падает, а на обратноосмотические мембранные технологии растет.

Практика показала, что внедрение интегрированных мембранных технологий в отечественную индустрию позволит создать безреагентные, ресурсосберегающие, энергоэффективные и экологически безопасные методы

обессоливания. Благодаря их применению решается задача создания безотходных схем водопользования с включением в оборот сточных вод.

#### *4. Результаты промышленной эксплуатации установок обратного осмоса*

ТЭЦ-14 была принята в эксплуатацию 30 марта 1957 г., наименовалась «Кировская ТЭЦ-14». В 1967 г. станция была переименована в «Первомайскую». Все турбоагрегаты изготовлены крупнейшими отечественными производителями тяжелого машиностроения – Ленинградским металлическим заводом и Уральским турбинным заводом. Котлы станции изготовлены специалистами Барнаульского, Дорогобужского и Таганрогского заводов. Оборудование вводилось в эксплуатацию в несколько этапов с 1957 по 1973 гг. С 2007 по 2016 гг. проводилась программа глубокой реконструкции Первомайской ТЭЦ. Началось строительство нового энергоблока в составе двух парогазовых установок мощностью 180 МВт каждая. Основная цель проекта: замена устаревшего оборудования.

В январе 2012 г. два новых энергоблока Первомайской ТЭЦ в составе двух ПГУ-180 начал поставки мощности на рынок энергии. В состав каждого блока входят: паровая турбина Т-50/64-7,4/0,12 с генератором ТЗФП-63-2МУЗ производства ОАО «Силовые машины», и 2-х газовых турбины V64.3A фирмы Ansaldo Energia (Италия) с генераторами [7].

«Первомайская ТЭЦ» – предприятие энергетики Санкт-Петербурга, входящее в состав ПАО «ТГК-1» – обеспечивает электрической и тепловой энергией промышленные предприятия, жилые и общественные здания юго-западной части Санкт-Петербурга (Адмиралтейского, Кировского и Красносельского районов). В зоне теплоснабжения станции проживают около 500 тыс. человек, а также находится ряд крупных системообразующих производственных площадок, таких как ОАО «Кировский завод» и ОАО «Северная верфь».

Установленная электрическая мощность – 360 МВт.

Установленная тепловая мощность – 928 Гкал/ч.

Основное топливо – газ, резервное – мазут.

Технологическая схема работы блока водоподготовки ТЭЦ-14 приведена на рисунке.

### Процесс водоподготовки

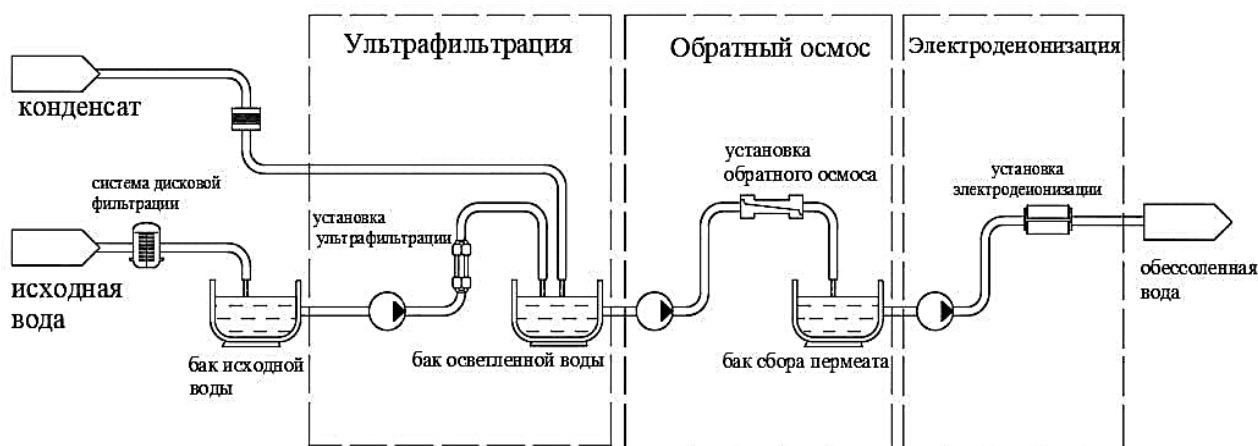


Рисунок. Схема ВПУ ТЭЦ-14 «Первомайская»

В таблице 3 приведены химические показатели состава питательной воды на каждом этапе работы УОО и при работе блока УФ (Ультрафильтрация), представленные лабораторией контроля цеха хим. водоподготовки.

Таблица 3 – Химические показатели воды в ВПУ ТЭЦ-14

Химические показатели	Городская вода	Вход УУФ	Вход УОО	Вход УЭДИ	Выход УЭДИ
рН	6,3-6,47	6,8-7,6	7,2 – 8,1	6,2 – 7,4	5,8-6,7
Железо общ, мкг/дм <sup>3</sup>	0,13-0,2	96-300	6-63	2-7,0	1,0-3,0
Мутность, мг/л	<0,5-0,9	<0,5	<0,5		-
Кремнекислота, мкг/дм <sup>3</sup>	0,62-1,39	-	0,17-1,02	0,01-0,1	-
Окисляемость, мгО/л	2,49-2,95	2,0-2,8	-	-	-
Нефтепродукты, мг/л	0,02	0,01-0,03	-	-	-
Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	25,5	-	-	-	-
Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	7,4	-	-	-	-
Общее солесодержание	24,3-63,8	-	24,3-63,8	-	-
Жесткость общ, мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,76	-	0,4-0,67	-	-
Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,46	-	-	-	-
Щелочность, мг-экв/л	0,3	-	0,28-0,5	-	-
Активный хлор, мг/л	-	0,02		-	-
Электропроводимость, мкСм/см <sup>2</sup>	-	-	108-141	-	-
Углекислота	-	-	2,6-3,4	0,0	-
Жесткость, градус	-	-	-	0,2·10 <sup>-3</sup>	-
Медь, мкг/дм <sup>3</sup>	-	-	-	1,8-3,8	1,0-3,2

### *Вывод*

Результаты анализа работы отдельных водоподготовительных устройств на ТЭЦ в РФ показывают, что применение установок обратного осмоса является перспективным. Это обстоятельство необходимо учитывать как при проектировании, так и при реконструкции химических цехов ТЭЦ.

### **Список литературы:**

1. Nollet J. A. Lecons de physique-experimental // Paris: Hippolyte-Louis Guerin. 1748.
2. Приоритетные направления развития науки и техники. Критические технологии Федерального уровня (утв. Правительственной комиссией по научно-технической политике 21.07.96 №2727П-П8, №2728П-П8). – Текст : непосредственный.
3. Дзюбенко, В. Г. Мембранные технологии сегодня. Перспективы проекта "Русские мембраны" / В. Г. Дзюбенко, В. П. Дубяга, А. А. Свитцов, Г. Г. Каграманов. – Текст : непосредственный // Мембраны. – Москва : ИФС РАН им. А.В. Топичева, 2010. – Т. 2.
4. Юрчевский, Е. Б. Зарубежные обратноосмотические установки / Е. Б. Юрчевский, А. П. Мамет. – Текст : непосредственный // Теплоэнергетика. – 1984. – № 7. – С. 73-74.
5. Юрчевский, Е. Б. Применению обратноосмотической технологии обессоливания в энергетике – 20 лет / Е. Б. Юрчевский, А. Г. Первов, М. А. Пичугина. – Текст : непосредственный // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. – № 5. – С. 2-8.
6. Шаповалов, Д. А. Исследование и оптимизация режимов работы обратноосмотических установок в задачах построения ВПУ для ТЭС: дис. ... канд. техн. наук / Шаповалов Дмитрий Александрович. – Москва : МЭИ, 2016. – 143 с. – Текст : непосредственный.
7. Первомайская ТЭЦ-14 – ЗАО Трест Севзапэнерго-монтаж: [сайт]. – URL: <https://trestszem.ru> (дата обращения: 23.10.2022). – Текст : электронный.

© Киани Э., 2022

## АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЕРМСКОГО КРАЯ

магистр **Куданов Евгений Андреевич**,  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
г. Пермь, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье проведен детальный анализ изучаемого объекта разработки на примере одного из месторождений Пермского края. Приведена историческая справка, описана его геолого-физическая характеристика, приведены данные по фонду и добыче с начала разработки, проведен анализ текущего состояния разработки. Оценено энергетическое состояние залежи. Подробно разобраны применяемые методы увеличения нефтеотдачи как на рассматриваемом объекте, так и на месторождениях-аналогах. Выявлены основные причины неэффективности системы разработки, подобраны мероприятия для увеличения добычи, выбраны скважины-кандидаты. Планируемые мероприятия посчитаны на прогноз 30 лет на гидродинамической модели, они положительно сказываются на накопленной добыче нефти и жидкости. Посчитана эффективность предлагаемого варианта в сравнении с базовым вариантом разработки объекта. Данное исследование является одним из этапов детального анализа эффективности разработки и применяемых мероприятий.

**Ключевые слова:** разработка, гидродинамическая модель, геолого-технические мероприятия, Пермский край, дебит нефти, приемистость, метод увеличения нефтеотдачи, пластовое давление, дострел, ремонтно-изоляционные работы, гидравлический разрыв пласта.

## ANALYSIS OF THE CURRENT STATE AND IMPROVEMENT OF DEVELOPMENT EFFICIENCY ON THE EXAMPLE OF A DEPOSIT IN PERM REGION

Master Student **Kudanov Evgeniy Andreevich**,  
Perm National Research Polytechnic University,  
Perm, Russian Federation

**Abstract.** In this article a detailed analysis of the studied object of development by the example of one of the fields of the Perm region. It gives a historical background, describes its geological and physical characteristics, provides data on the stock and production since the beginning of development, analyzes the current state of development. The energy state of the deposit is assessed. Methods of oil recovery

enhancement used both at the object in question and at the analogous fields were analyzed in detail. The main causes of inefficiency of the development system are identified, measures to increase production are selected, and candidate wells are chosen. The planned activities are calculated for a forecast of 30 years on the hydrodynamic model, they have a positive effect on the cumulative oil and liquid production. Efficiency of the offered variant in comparison with the base variant of development of object is calculated. This study is one of the stages of detailed analysis of development efficiency and effectiveness of applied measures.

**Keywords:** development, hydrodynamic model, geological and technical measures, Perm Krai, oil flow rate, injectivity, oil recovery enhancement method, reservoir pressure, completion, repair and insulation works, hydraulic fracturing.

Серьезной проблемой для нефтегазовых добывающих компаний остается снижение технико-экономических параметров производственного процесса по мере выработки запасов на поздних стадиях разработки. Для того чтобы изменить эту динамику, требуется переход к интенсивной разработке месторождений с помощью активного воздействия на пласт и его призабойную зону [1]. Чтобы правильно планировать экономическую деятельность, компаниям необходимо с высокой достоверностью планировать методы увеличения нефтеотдачи (МУН).

Одной из основных задач при разработке нефтяных месторождений является максимальное извлечение запасов углеводородного сырья из недр [2]. В данной работе на основании геолого-геофизической изученности, ранее проведенного подсчета запасов углеводородного сырья (УВС) и сравнении проектных и фактических показателей на примере одного из объектов разработки месторождения Пермского края проводится анализ по повышению эффективности разработки за счет развития сырьевой базы.

Поиск наиболее оптимальной стратегии использования МУН, как правило, определяется на основе многократных итераций расчета прогнозных показателей на гидродинамической модели (ГДМ) месторождения с целью получить такую комбинацию управляющих параметров, которые в конечном итоге смогут максимально увеличить выбранную целевую функцию, например, накопленную добычу, за определенный период времени.

В ходе анализа рассматривалось нефтяное месторождение, открытое в 1985 г. Промышленная нефтеносность установлена в тульских терригенных и турнейских карбонатных отложениях. Впервые запасы нефти и растворенного газа поставлены на государственный баланс по результатам оперативного подсчета в 1986 г., далее неоднократно пересматривались в оперативном порядке по мере поступления новой геолого-промысловой информации: после открытия новых залежей, по результатам эксплуатационного бурения, изменения величин коэффициента извлечения нефти (КИН) и сейсморазведочных работ 3D. Разработка объекта ведется с 1988 г., освоение системы поддержания пластового давления (ППД) начато в 1996 г.

Всего за период разработки месторождения под добычей нефти пребывали 35 скважин. В среднем на одну добывающую скважину, пребывавшую в эксплуатации, отобрано 47,2 тыс. т нефти.

Изучаемый объект разработки – терригенные Тульские отложения. Геолого-физическая характеристика представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Геолого-физическая характеристика рассматриваемого объекта разработки

<i>Параметр</i>	<i>Значение, размерность</i>
Площадь нефте/газоносности	5094, тыс.м <sup>2</sup>
Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина	5,0 м
Коэффициент пористости	0,18-0,22 доли ед,
Коэффициент нефтенасыщенности пласта	0,76-0,87 доли ед,
Проницаемость	40-966 мкм <sup>2</sup> ·10 <sup>-3</sup>
Начальная пластовая температура	25,0 °С
Начальное пластовое давление	14,0 МПа
Вязкость нефти в пластовых условиях	5,73-11,98 мПа*с
Плотность нефти в пластовых условиях	0,84-0,87 (кг/м <sup>3</sup> )·10 <sup>-3</sup>
Объемный коэффициент нефти	1,051-1,109 доли, ед,
Газосодержание	26,5-54,5 м <sup>3</sup> /т

Рассматриваемый объект разработки содержит 35 % начальных извлекаемых запасов нефти месторождения. Разработка объекта ведется с 1988 г., освоение системы ППД начато в 1996 г. Всего под добычей пребывали 16 скважин (в т. ч. 2 горизонтальных ствола (ГС)), под закачкой – 4 скважины (в т. ч. 2 – после отработки нефть), из них 2 скважины в связи с обводнением в процессе эксплуатации переведены на другие объекты. За 2021 г. добыча нефти составила 50,5 тыс. т. (темп отбора от начальных извлекаемых запасов (НИЗ) – 3,5 %), добыча жидкости – 118,4 тыс. т при обводненности 57,3 %.

Установлено, что по состоянию на 01.01.2022 г. объект находится на 3 стадии разработки. За период эксплуатации добыто 661 тыс. т нефти, 1845 тыс. т жидкости. Степень выработки запасов – 45,9 % от НИЗ, при обводненности 57,3 %. Текущий КИН – 0,235, при утвержденном – 0,511.

По состоянию на 01.01.2022 г. действующий добывающий фонд составляет 11 скважин, нагнетательный фонд – 4 скважины. На дату анализа действующий добывающий фонд характеризуется широким диапазоном изменения текущих дебитов жидкости (от 0.03 до 169 т/сут при среднем значении 44,1 т/сут) и нефти (от 0,01 до 46,4 т/сут при среднем значении 14,2 т/сут). Текущая обводненность добываемой продукции изменяется от 8 до 96 % (при среднем значении 67,7 %), что обусловлено различными стадиями разработки залежей. Во всех скважинах попутно добываемая вода пластового характера (уд. вес 1,17-1,18 г/см<sup>3</sup>).

В 2021 г. в пласт было закачано 16,7 тыс. м<sup>3</sup> воды, что обеспечило компенсацию отборов лишь на 2,6 %, при этом накопленная компенсация составила 22,0 %, таким образом, ухудшение энергетического состояния залежи

может быть обусловлено недостаточной компенсацией в условиях сезонной закачки при одновременных интенсивных отборах жидкости из пласта.

В рамках анализа рассматриваемого объекта разработки установлено, что фактическая годовая добыча снижается каждый год в связи с недостаточной компенсацией текущих отборов со стороны нагнетательных скважин и законтурной области, в целом объект характеризуется отрицательной динамикой пластового давления. В настоящий момент средневзвешенное пластовое давление по объекту на 4-9 % ниже начального. Анализ текущего состояния разработки изучаемого объекта позволяет сделать выводы о необходимости повышения эффективности разработки: оптимизация системы ППД, а также применение МУН для поддержания достигнутых темпов отбора.

Для формирования перечня мероприятий на фонде необходимо детально изучить уже проведенные геолого-технические мероприятия (ГТМ) на объекте разработки, а также оценить применение ГТМ на месторождениях-аналогах [3; 4].

Всего на данном объекте было проведено 7 ГТМ, 5 – на добывающем фонде и 2 – на нагнетательном. Результаты проведения мероприятий приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты проведения ГТМ на объекте разработки

Фонд	Вид ГТМ	Кол-во скв.-опер.	Доп. добыча нефти, т	Удельная добыча нефти, т/скв	Сред. время эффекта, сут	Сред. Начальный прирост, т/сут	Период применения технологии		
Нефт.	Бурение БС	1	12192,1	12192,1	2407	8,1	2013		
	ГРП	1	1435,4	1435,4	213	3,5	2019		
	ОРЭ	2	5252,6	2626,3	1488	5,35	2015		
	Сверлящая перфорация	1	1249,5	1249,5	2192	2,4	2013		
<i>Итого по нефтяным скважинам</i>			5	20129,6	4375,8	1575	4,8	2006	2019
Нагн.	Ввод Нов. нагн.	1	-	-	-	-	2017		
	Нов. нагн. с ГРП	1	-	-	-	-	2017		
<i>Итого по нагнетательным скважинам</i>			2	-	-	-	-	2017	2018
<i>Общий итог</i>			7	20129,6	4375,8	1575	4,8	2006	2019

На нагнетательном фонде в 2017 г. выполнено бурение двух скважин. Боковой ствол в пробурен в 2013 г. Начальный прирост дебита нефти составил – 8,1 т/сут, дополнительная добыча нефти – 12,2 тыс.т, время эффекта – 2407 сут. В 2019 выполнен пропантный ГРП. Начальный прирост дебита нефти составил – 3,5 т/сут, дополнительная добыча нефти – 1,4 тыс.т, время эффекта – 213 сут. Сверлящая перфорация оказалась низкоэффективной, прирост составил всего



2,4 т/сут при плановом значении 5,0 т/сут. Дополнительная добыча нефти от мероприятия 1,2 тыс.т.

Также рассмотрены результаты применения МУН на месторождениях-аналогах. На добывающем фонде выполнено 22 мероприятия, на нагнетательном – 27. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты проведения ГТМ на месторождениях-аналогах

Фонд	Вид ГТМ	Кол-во скв.-опер.	Доп. добыча нефти, т	Удельная добыча нефти, т/скв	Сред. время эффекта, сут	Сред. начальный прирост, т/сут	Период применения технологии	
Нефть	ГРП	7	92114,2	13159,2	1324	5,8	2008	2018
	Дострел	2	16264,8	8132,4	1636	7,7	2011	2018
	ОРЭ	6	18828,4	3138,1	1320	4,0	2013	2019
	Перестрел	4	8495,0	2123,8	368	4,2	2018	2019
	Перевод	1	14399,8	14399,8	2838	6,5	2011	
	РИР ДТС	1	639,2	639,2	688	5,7	2017	
	РИР цем	1	284,3	284,3	302	1,8	2019	
<i>Итого по нефтяным скважинам</i>		22	151025,7	6864,8	1171	5,0	2008	2019
Нагн	ГРП	1	-	-	-	-	2016	
	ОРЗ	1	-	-	-	-	2013	
	Ввод нов.нагн	3	-	-	-	-	2012	2018
<i>Итого по нагнетательным скважинам</i>		5	-	-	-	-	2012	2018
<i>Общий итог</i>		27	151025,7	6864,8	1171	5,0	2008	2019

При выборе технологий для воздействия на продуктивные пласты учитывались особенности геологического строения залежей, фильтрационно-емкостные свойства пластов, физико-химические свойства пластовых флюидов, а также эффективность геолого-технических мероприятий, проведенных ранее на объектах-аналогах.

Проведение мероприятий рекомендуется на трех скважинах, к ним относятся 1 нагнетательная – пропантный гидравлический разрыв пласта (ГРП), и 2 добывающих, на обеих скважинах дострел и ремонтно-изоляционные работы (РИР). Эффективность применения мероприятий оценена с помощью прогнозного расчета на 30 лет на основе актуализированной ГДМ, выполненной под требования регламента по созданию интегрированных моделей [5]. При формировании расчетного варианта учитывалось: ранее принятые проектные решения, степень и эффективность реализации, текущее состояние показателей разработки и выработка запасов от НИЗ, результаты проведенных ГТМ. Мероприятия по фонду представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Список предлагаемых ГТМ

Скважина	Мероприятие	Дата проведения
Нагнетательная	Пропантный ГРП	2024
Добывающая	Дострел, РИР	2025
Добывающая	Дострел, РИР	2028

По результатам выполнения прогнозного расчета можно сделать вывод, что проведение ГТМ на 3 скважинах положительно сказывается на накопленной добыче нефти и жидкости (+53,9 тыс.т и +485,4 тыс.т).

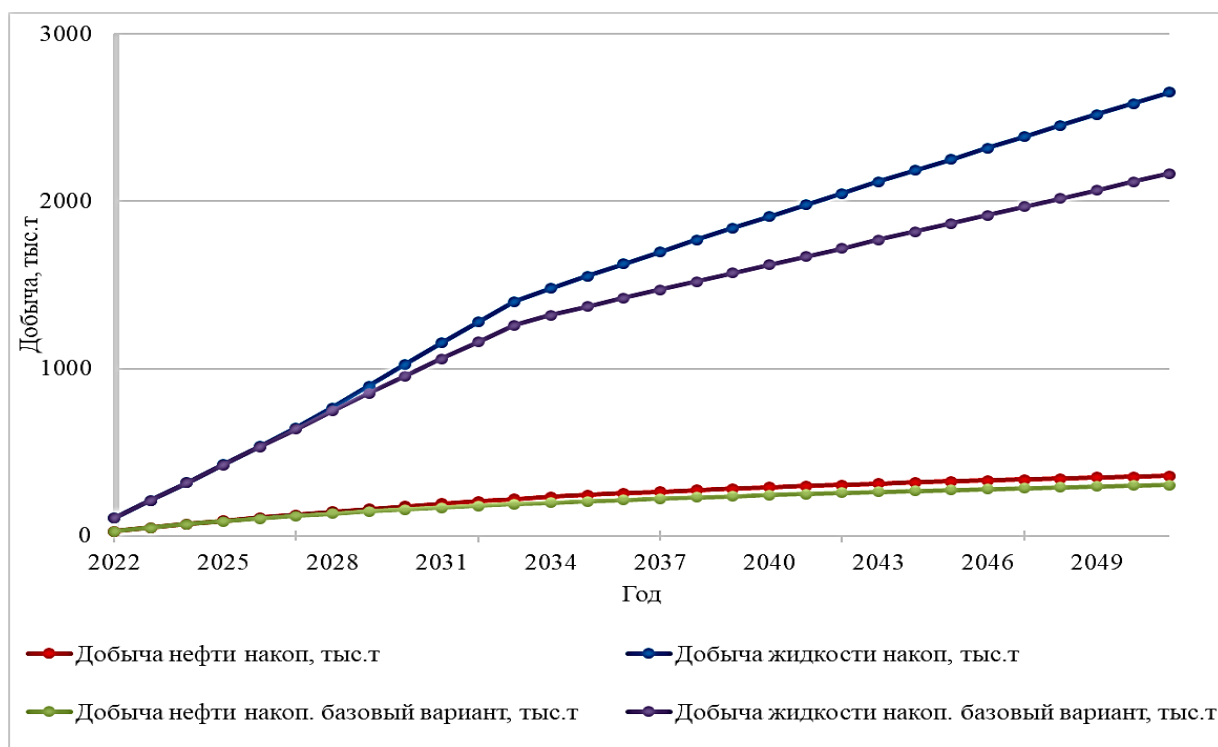


Рисунок. Сравнение результатов технологических показателей разработки базового варианта с предлагаемым вариантом

Также при проведении ГТМ происходит увеличение обводненности (+1,9 %). Увеличение обводненности обуславливается увеличением темпа отборов в рекомендуемом варианте. Результаты представлены на рисунке.

### **Список литературы:**

1. Куудинов, В. И., Сучков, Б. М. Методы повышения производительности скважин / В. И. Куудинов, Б. М. Сучков. – Самара : Кн. изд-во, 1996. – 414 с. – Текст : непосредственный.
2. Куудинов, В. И., Сучков, Б. М. Новые технологии повышения добычи нефти / В. И. Куудинов, Б. М. Сучков. – Самара : Кн. Изд-во, 1998. – 368 с. – Текст : непосредственный.
3. Кокорев, В. И. Техничко-технологические основы инновационных методов разработки месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными запасами нефти: автореферат дис. ... доктора технических наук / Кокорев Валерий Иванович. – М., 2010. – 45 с. – Текст : непосредственный.
4. Галимов, И. Ф. Анализ эффективности технологии гидроразрыва терригенных пластов на Южно-Ромашкинской площади Ромашкинского месторождения в условиях поздней стадии разработки / И. Ф. Галимов, Ф. А. Губайдина, А. В. Вахин, П. В. Исаев. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 1. – С. 52-54.
5. Муслимов, Р. Х. Нефтеотдача: прошлое, настоящее, будущее / Р. Х. Муслимов. – Казань : Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2014. – 750 с. – Текст : непосредственный.

© Куданов Е. А., 2022

## ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В ТАТАРСТАНЕ

студент **Лесниченко Иван Николаевич**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент

**Мухаметжанов Рустем Наимович**,  
Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной работе, основанной на анализе источников литературы, предпринимается попытка рассмотрения становления и текущего развития возобновляемой энергетики в Республике Татарстан с целью представления научному сообществу современных проектов и инициатив данного сектора ВИЭ в этом регионе.

**Ключевые слова:** Республика Татарстан, энергетическая стратегия, электроэнергетика, возобновляемая энергетика, экономическое развитие.

## RENEWABLE ENERGY SOURCES IN TATARSTAN

Student **Lesnichenko Ivan Nikolaevich**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor  
**Mukhametzhanov Rustem Naimovich**,  
Kazan State Power Engineering University,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** In this work, based on the analysis of literature sources, an attempt is made to consider the formation and current development of renewable energy in the Republic of Tatarstan, with the aim of presenting to the scientific community modern projects and initiatives of this renewable energy sector in this region.

**Keywords:** Republic of Tatarstan, energy strategy, electric power industry, renewable energy, economic development.

Способы получения энергии для нужд человека принято разделять на традиционные и альтернативные. Несмотря на то, что представление об альтернативной энергетике чаще всего ограничивается ветряными и солнечными электростанциями, к альтернативным относится целый ряд источников энергии:

1. Возобновляемые источники энергии, такие как энергия ветра, солнечного света, движения воды, а также геотермальная энергия.
2. Производство топлива по замкнутому углеродному циклу (биогаз, синтетический метан, биоэтанол и пр.).
3. Более полное использование не возобновляемых источников энергии (например, попутный газ).

Использование всех перечисленных источников энергии экономически целесообразно. Однако, например, электростанции, использующие возобновляемые источники энергии, не производят выбросов в атмосферу парниковых и токсичных газов, а производство топлива по замкнутому углеродному циклу не увеличивает долю CO<sub>2</sub> в атмосфере. Поэтому, говоря об альтернативной энергетике, далее мы будем подразумевать энергоустановки первых двух типов.

Развитие альтернативной энергетики в Татарстане находится на зачаточном уровне. Несмотря на усилия отдельных компаний (например, ОАО «Татнефть») по строительству ветроустановок, а также ввод в строй ряда малых ГЭС (например, Карабашская ГЭС мощностью 500 кВт), доля нетрадиционных источников в структуре общей выработки электроэнергии республики составляет менее 1 %.

При этом «Программа развития топливно-энергетического комплекса Республики Татарстан на 2006-2020 годы» [1] предусматривает строительство 25 малых ГЭС, а также 146 ветроустановок до 2020 года. Суммарная выработка этих перспективных станций оценивается в 1.382 млн кВт·ч в год [2], что должно составить около 5 % от потребления электроэнергии в республике.

Применимость альтернативных энергоустановок ограничивает ряд проблем, лежащих как в технической, так и в экономической плоскости. К техническим относятся непостоянство работы возобновляемых источников энергии (нерегулярный сток малых рек – в условиях татарстанского климата значительную часть года реки находятся подо льдом, изменения скорости ветра и количества солнечных дней), а также пока еще сравнительно низкий КПД ветро- и гелиоустановок (хотя этот показатель медленно, но верно повышается).

К экономическим проблемам относится, в первую очередь, высокая стоимость самого оборудования, а также необходимость регулярной замены дорогостоящих аккумуляторных батарей, входящих в состав энергоустановки.

Существует также ряд проблем, связанных с управлением работой альтернативных энергоустановок. С одной стороны, это неспособность конкурировать на равных с классическими тепло- и гидроэлектростанциями в рамках единой энергосистемы. Дело в том, что по большей части электроэнергия продается на оптовом рынке, и для того, чтобы осуществлять такую торговлю, генератор должен содержать целый штат сотрудников – нужно выдерживать правила Администратора торговой системы, соблюдать торговый график и так далее. Кроме этого, для того чтобы работать в единой энергосистеме, нужно выполнить целый ряд технических требований. Мелкие генераторы не могут нести все эти расходы наряду с крупными производителями электроэнергии.

С другой стороны, если говорить не о единой, а о локальной, автономной энергосистеме, то возникает вопрос о потреблении излишков производимой энергии. Излишки возникают постольку, поскольку потребление электроэнергии в течение суток изменяется, в то время как генерирующие мощности должны вырабатывать столько электроэнергии, сколько необходимо на пике

потребностей. Эта проблема может быть решена либо путем субсидирования производства этих излишков (то есть субсидирования отказа от работы в единой энергосистеме), либо поиска каких-либо вариантов выгодного использования этих излишков.

Несмотря на наличие проблем при внедрении, в ряде случаев создание автономных локальных энергетических систем на базе альтернативных энергоустановок целесообразнее, нежели централизованное энергоснабжение. Дело в том, что для удаленных потребителей, которым требуются небольшие мощности, стоимость технологического присоединения существенно вырастает, поскольку в нее включаются затраты на постройку сетевого хозяйства (линии электропередач, подстанции и т. д.). Такой подход снизит и потери электроэнергии, а также количество отказов на линиях электропередач, что позволит уменьшить издержки сетевой компании [3].

За примерами далеко ходить не надо. Участки для многодетных семей, выделенные недалеко от деревни Каймары (Высокогорский район), находятся на достаточном удалении от электрических сетей. Количество домохозяйств, к которым требуется подвести электроэнергию – около 6000. Необходимая для этого мощность ориентировочно составит не менее 30 мегаватт. Чтобы обеспечить такой уровень нагрузки вблизи поселка, нужна не только линия электропередач, но и подстанция. Стоимость строительства только высоковольтной линии составляет не менее 2 млн. рублей за километр, поэтому можно представить какие средства придется потратить бюджету для обеспечения электроснабжения этих участков [4].

При этом участки находятся на достаточно возвышенном месте, рядом протекает небольшая речка. Экономически целесообразным может быть установка здесь ветропарка (стоимость одного «ветряка» мощностью 5 кВт составляет порядка 400 тыс. рублей) и строительство микроГЭС для того, чтобы обеспечить хотя бы часть потребности в электроэнергии – в таком случае возможно хотя бы уменьшить количество линий электропередач, которые потребуется подвести к поселку. В этом случае вопрос заключается и в удобстве для новых поселенцев. Можно, к примеру, ждать два года и потратить 500 млн рублей на вновь вводимое оборудование сетей, при этом получить незагруженную подстанцию, на которой нагрузка дойдет до приемлемой в течение не менее 5 лет (до тех пор, пока все построятся и заселятся). А можно в течение месяца за 60 млн рублей смонтировать ветропарк, покрыть потребности первых 200 хозяйств, позволив им начать работу по освоению участков.

Перспективным также является использование опыта ОАО «Татнефть» по совмещению ветроустановки и микроГЭС с солнечной установкой (такой комплекс кратко обозначается как ВСГЭС).

Преимущества подобного комплексного решения, следующие:

1. Сравнительно короткие сроки строительства по сравнению с периодом ожидания строительства подстанции и высоковольтной линии (и решения соответствующих финансовых вопросов).

2. Возможность круглосуточного пользования электроэнергией (днем – ветро- и гелиоустановки, ночью – микроГЭС).

3. Возможность начать освоение участков параллельно с постройкой сетевого хозяйства для электроснабжения поселка.

4. Низкая интенсивность воздействия на окружающую среду (что, впрочем, относится не только конкретно к этому комплексному решению, но и к каждой его составной части) [5].

Схема совмещения ветрогенерации, солнечных батарей и микроГЭС при достаточном уровне проработанности может также снизить затраты на оборудование и эксплуатацию всей энергоустановки, поскольку позволит полностью отказаться либо минимизировать использование аккумуляторных батарей. Дело в том, что в большинстве энергоустановок, использующих возобновляемые источники, предусматривается наличие аккумуляторов для того, чтобы иметь возможность пользоваться электроэнергией во время невозможности работы основной установки (обычно ночью, когда не светит солнце и стихает ветер). Применение аккумуляторов имеет определенные недостатки: недостаточная емкость для полноценной работы в течение длительного времени, гораздо меньший ресурс работы аккумулятора по сравнению с ресурсом основной установки, высокая стоимость замены аккумуляторной батареи. Совмещенная энергоустановка, включающая в себя ветрогенератор, солнечную батарею и микроГЭС, может работать без аккумуляторов, которые после отработки ресурса нужно еще и утилизировать.

Применение ВСГЭС актуально для потребителей, характеризующихся двумя основными признаками:

- отдаленность от электрических сетей;
- небольшая мощность, требуемая потребителю.

Под эти критерии подходят потребители сельских поселений (население, небольшие фермы), объекты инфраструктуры (автозаправочные станции, вышки сотовой связи), объекты нефте- и газодобычи.

В территориальном разрезе применение ВСГЭС наиболее перспективно для районов правого берега Волги (Верхнеуслонский, Камскоустынский районы), юга республики (Алькеевский, Нурлатский районы), нефтяного юго-востока (Бугульминский район) [3], причем в этих регионах республики имеются приемлемые природные условия для функционирования всех компонентов ВСГЭС. При этом для южных районов применение ВСГЭС особенно актуально, поскольку в ряде случаев электрическая нагрузка на существующих подстанциях там составляет менее 5 % – фактически такие подстанции работают только на технические потери [1].

В качестве еще одной возможности для более глубокого использования потенциала альтернативной энергетики можно рассматривать выработку синтетических топлив на основе органического сырья, производимого в аграрном секторе республики. Спектр вариантов здесь достаточно широк: биогаз, биоэтанол, синтетический метан, синтетическое дизельное топливо.

Такое производство достаточно легко останавливается и возобновляется, поэтому оно само может быть обеспечено электроэнергией от альтернативных источников – это и может быть тем самым выгодным вариантом потребления излишков электроэнергии в локальных автономных энергосистемах во время минимумов нагрузок [4].

Успешное прикладное «предметное» применение альтернативной энергетики для нужд экономики Татарстана в конечном счете решает две глобальные задачи: снижение газовой зависимости Татарстана в производстве электроэнергии и развитие передовых технологий. Более того, возможностей татарстанской науки и промышленности достаточно для того, чтобы в среднесрочной перспективе полностью обеспечить энергетику татарстанскими энергоустановками. Для того чтобы в перспективе достичь успехов на этом направлении, государство должно выступить в роли катализатора развития альтернативной энергетики, в том числе частной инициативы в этой области – такой путь прошли все развитые страны, добившиеся в этой сфере значительных успехов.

#### **Список литературы:**

1. Пасечкин, Н. Н. Проблемы и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии / Н. Н. Пасечкин. – Майкоп : Лань, 2009. – 356 с. – Текст : непосредственный.
2. Власов, К. Н. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / К. Н. Власов, Л. Е. Рябков, А. С. Николаев. – Краснодар : Дрофа, 2013. – 294 с. – Текст : непосредственный.
3. Гречухина, И. А. Возобновляемые источники энергии как фактор трансформации глобальной энергетики / И. А. Гречухина. – Ростов-на-Дону : Наука, 2019. – 58 с. – Текст : непосредственный.
4. Четошникова, Л. М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии / Л. М. Четошникова. – Челябинск : Фолиум, 2015 – 20 с. – Текст : непосредственный.
5. Пронина, Н. В. Альтернативные энергоносители / Н. В. Пронина. – Москва : Лань, 2011. – 154 с. – Текст : непосредственный.

© Лесниченко И. Н., 2022



## РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СКАЛЯРНОГО КВАДРАТИЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ В MATLAB

студент **Иванов Олег Олегович**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой  
автоматизированного электропривода и электротехники  
**Благодарный Николай Семенович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Современный автоматический электропривод содержит в своем составе преобразователи частоты, поддерживающие скалярное управление: линейное, квадратичное и настраиваемое. Для управления скоростью вращения насосов, вентиляторов и компрессоров целесообразно использовать квадратичную вольт-частотную характеристику. В данной работе построена система скалярного квадратичного управления асинхронным двигателем, смоделированная в Matlab.

**Ключевые слова:** автоматический электропривод, скалярное управление, моделирование в Matlab&Simulink.

## DEVELOPMENT AND SIMULATION OF A SCALAR QUADRATIC CONTROL SYSTEM FOR AN ASYNCHRONOUS MOTOR IN MATLAB

Student **Ivanov Oleg Olegovich**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor,  
Head of the Department of Automated Electric Drive and  
Electrical Engineering **Blagodarniy Nikolai Semenovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** A modern automatic electric drive contains frequency converters that support scalar control: linear, quadratic and adjustable. To control the speed of rotation of pumps, fans and compressors, it is advisable to use a quadratic volt-frequency characteristic. In this paper, a system of scalar quadratic control of an induction motor, simulated in Matlab, will be built.

**Keywords:** automatic electric drive, scalar control, simulation in Matlab&Simulink.

Преобразователи частоты имеют в своем функционале два метода управления: скалярный и векторный. При работе с вентиляторами, насосами и нагрузками, не требующими высокой динамики, используется скалярное управление. Современные преобразователи поддерживают линейную, квадратичную и настраиваемую вольт-частотную характеристику.

В задаче управления мощными вентиляторами целесообразно использовать квадратичную вольт-частотную характеристику. Суть данного метода заключается в том, что отношение действующего значения напряжения к квадрату частоты является константой во всем диапазоне регулирования. Вольт-герцовая характеристика является квадратичной до тех пор, пока напряжение на статоре не возрастет до номинала [1]. Эти рассуждения можно описать уравнением:

$$\frac{U}{f^2} = const.$$

Поддерживая отношение  $U/f^2$  постоянным, относительно постоянным будет поддерживаться и магнитный поток машины. Однако, если необходимо создать момент трогания или создать нужное намагничивание, которое ослабевает на малых скоростях, в закон управления требуется вводить компенсационные параметры [2; 3]. Эти параметры выполняют оптимальное намагничивание и поддержание нужного магнитного потока в зазоре, что дает улучшенный крутящий момент при пуске и на всем диапазоне частот. Таким параметром выступает пусковое (минимальное) напряжение  $U_{min}$ . Окончательный закон управления выглядит так:

$$\frac{U-U_{min}}{f^2} = const.$$

Реализуем данный закон в Matlab. На рисунке 1 изображена структурная схема, а ниже приведена подсистема в виде программируемого блока и параметрами, которые может установить пользователь. На вход блока поступает опорная частота, на выходе получается трехфазное напряжение с меняющейся частотой и амплитудой.

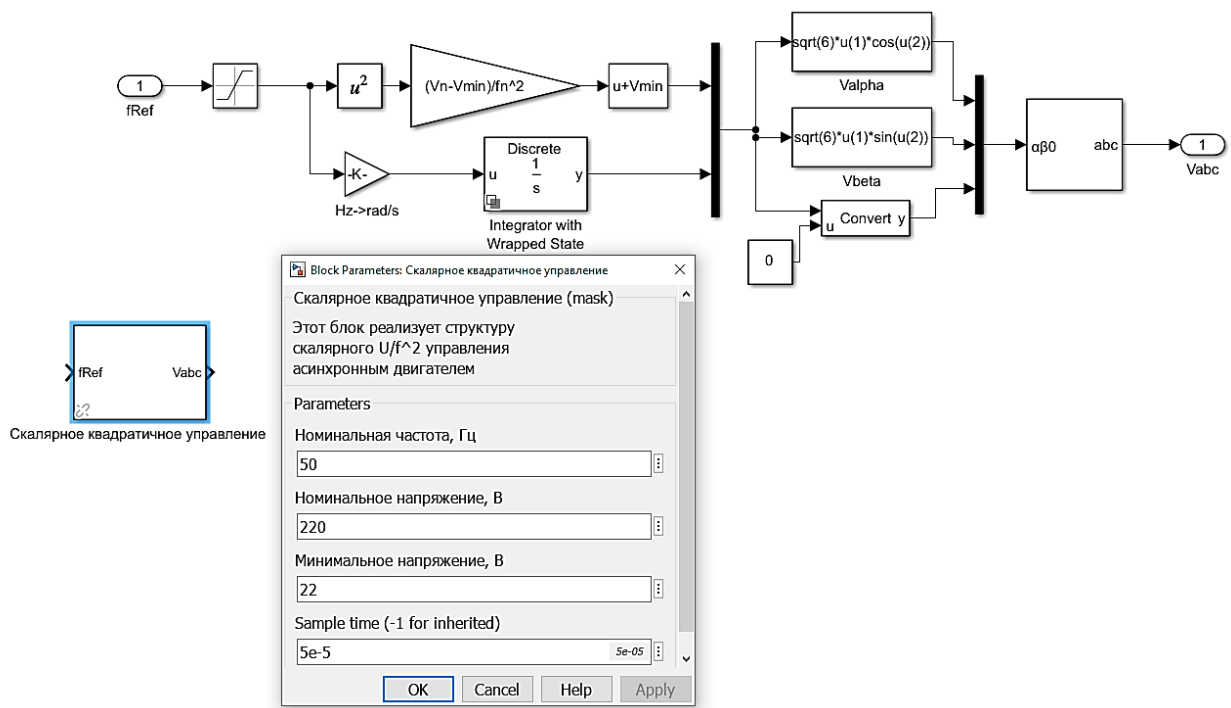


Рисунок 1. Модель блока скалярного квадратичного управления

Далее рассмотрим работу блока при изменении частоты от 0 до 50 Герц на входе за 0,3 секунды.

График вольт-частотной характеристики изображен на рисунке 2.

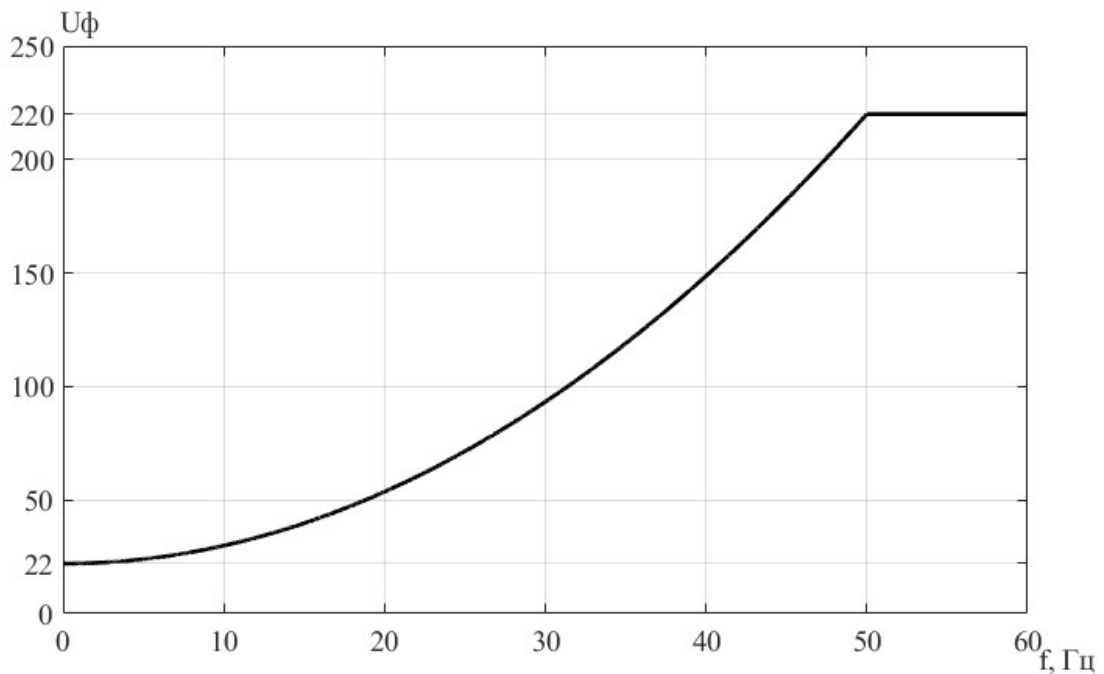


Рисунок 2. Квадратичная вольт-частотная характеристика

Выходной сигнал представлен на рисунке 3, где изображены кривые трехфазной системы напряжений с меняющимися амплитудой и частотой.

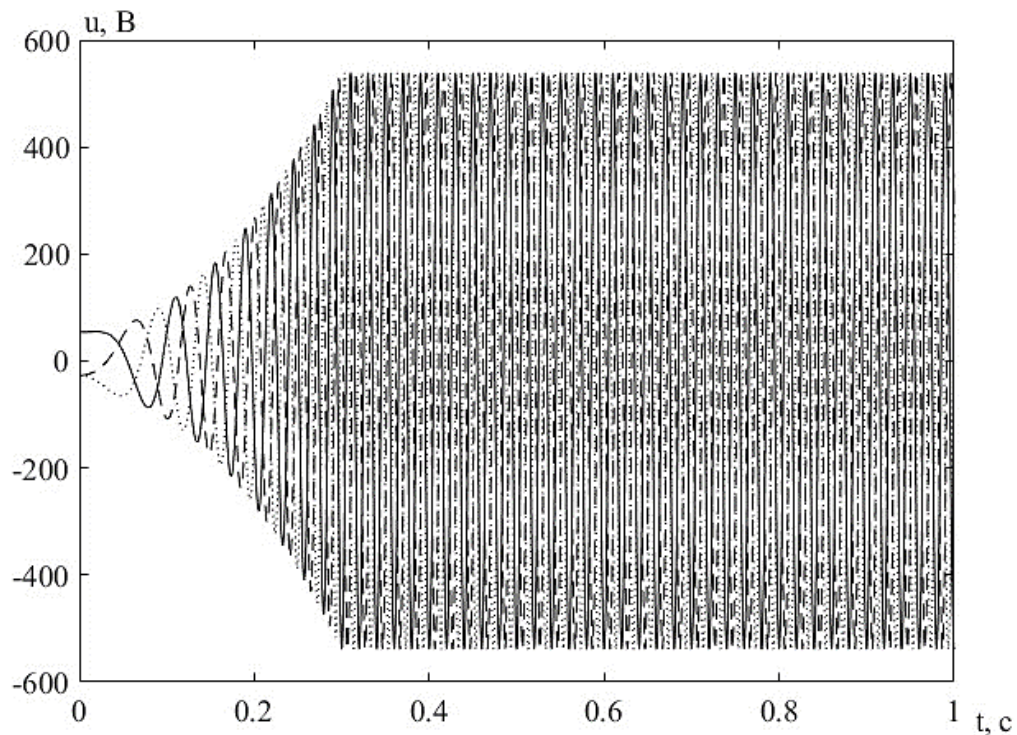


Рисунок 3. Трехфазная система напряжений блока скалярного квадратичного управления

Для проверки работы блока рассмотрим отдельно одну кривую линейного напряжения (рисунок 4).

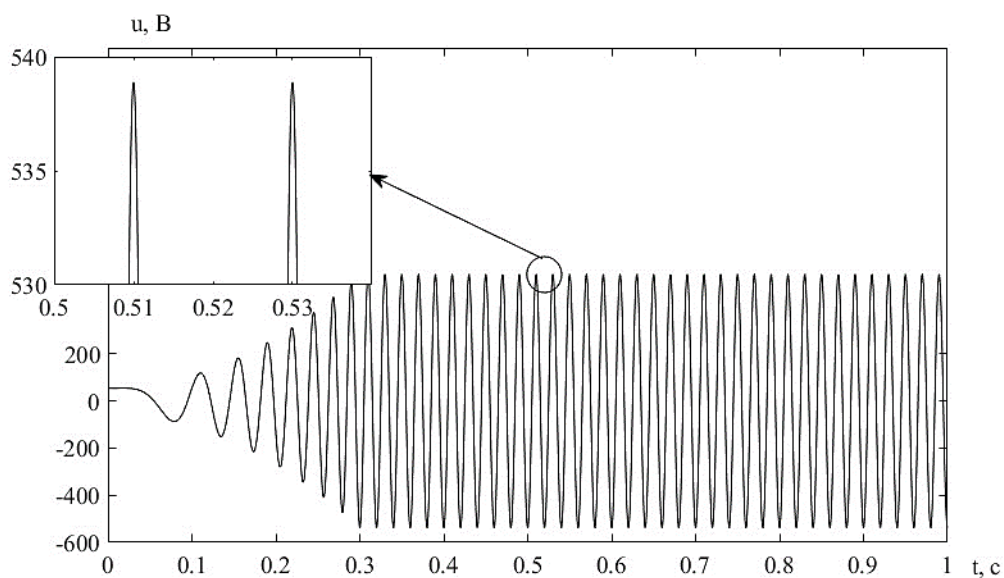


Рисунок 4. Одна кривая линейного напряжения

На рисунке 4 можно увидеть, что частота напряжения равна:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,053 - 0,051} = 50 \text{ Гц.}$$

Для того чтобы удобно использовать данный блок для управления скоростью вращения асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, необходимо составить схему, изображенную на рисунке 5.

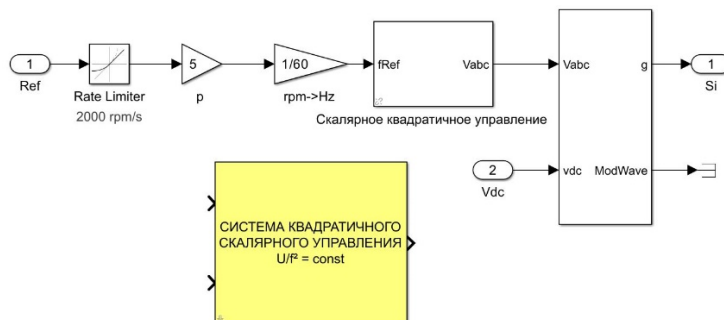


Рисунок 5. Схема моделирования системы скалярного квадратичного управления

Подключим созданный блок к трехфазному инвертору, а инвертор к асинхронному двигателю АИР355 М8, данные которого приведены в Matlab Script ниже:

```

Pn = 110e3; % Вт, номинальная мощность
fn = 50; % Гц, номинальная частота
Rs = 0.019; % Ом, активное сопротивление статора
Lls = 0.0004; % Гн, индуктивность рассеяния статора
Rr = 0.0188; % Ом, активное сопротивление ротора, приведенное к статору
Llr = 0.0006; % Гн, индуктивность рассеяния ротора, приведенное к статору
Lm = 0.273; % Гн, индуктивность цепи намагничивания
H = 3,5; % кг*м^2, момент инерции ротора
p = 5; % число пар полюсов
    
```

Схема моделирования преобразователь-двигатель приведена на рисунке 6. В качестве нагрузки выступает вентилятор с номинальной синхронной скоростью вращения 600 об/мин.

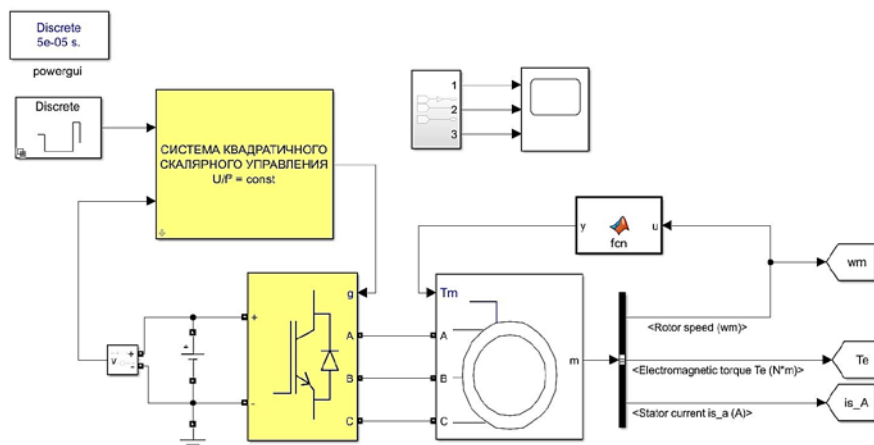


Рисунок 6. Схема моделирования системы скалярного управления и двигателя под нагрузкой

Ниже на рисунке 7 представим графики скорости, момента и тока двигателя, полученные как реакции на задание скорости: в начальный момент времени 600 об/мин (50 герц), при  $t = 15$  секунд задание составляет 400 об/мин (26 герц), при  $t = 20$  секунд задание равно 600 об/мин (50 герц).

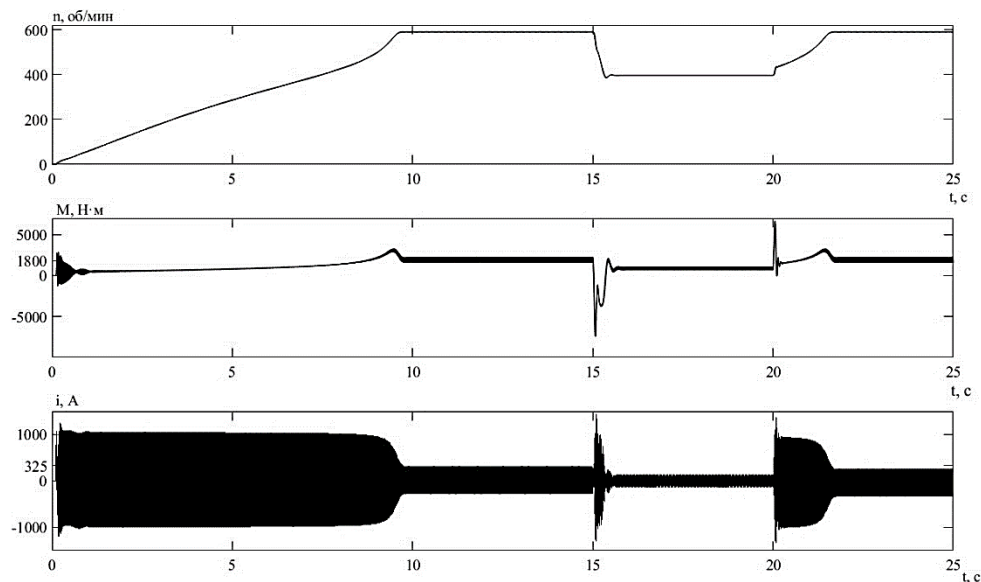


Рисунок 7. Графики скорости (верх), момента (середина) и тока двигателя (низ)

### Список литературы:

1. Преимущества векторного управления асинхронным двигателем: [сайт]. – URL: <https://tehprivod.su/poleznaya-informatsiya/preimushchestva-vektornogo-upravleniya-elektrodvigatелеm.html> (дата обращения: 26.10.2022). – Текст : электронный.
2. Квадратичный закон напряжение частота: [сайт]. – URL: <https://plastep.ru/kvadratichnyy-zakon-napryazhenie-chastota/> (дата обращения: 06.11.2022). – Текст : электронный.
3. Матьякубов, Х. Б. Разработка системы управления асинхронным электродвигателем и исследование режимов его работы / Х. Б. Матьякубов. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2021. – № 12 (354). – С. 19-23.
4. Намагничивание двигателя при нулевой скорости вращения: [сайт]. – URL: <https://euroes.by/article/145> (дата обращения: 07.11.2022). – Текст : электронный.

© Иванов О. О., 2022

## BUILDING A MATHEMATICAL MODEL OF TRADE AND ECONOMIC RELATIONS OF THE BRICS COUNTRIES

Student **Timofeeva Elizaveta Aleksandrovna**,  
Student **Golubeva Valeria Aleksandrovna**,  
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
Graduate School of Industrial Economics,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The paper examines the growth potential of the economic indicators of the BRICS countries. A mathematical model of the economic process has been developed that predicts the development of variables that assess further prospects for changes in the indicators of the total development of GDP, exports, imports per capita, the total population in the BRICS countries until 2025.

**Keywords:** BRICS countries, trade and economic relations, economic partnership, mathematical model, development forecasting.

## ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТОРГОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ СТРАН БРИКС

студент **Тимофеева Елизавета Александровна**,  
студент **Голубева Валерия Александровна**,  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Высшая инженерно-экономическая школа,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе исследуется потенциал роста экономических показателей стран БРИКС. Разработана математическая модель экономического процесса, прогнозирующая развитие переменных, оценивающих дальнейшие перспективы изменения показателей объемов суммарного развития ВВП, экспорта, импорта на душу населения, общую численность населения в странах БРИКС до 2025 года.

**Ключевые слова:** страны БРИКС, торгово-экономические отношения, экономическое партнерство, математическая модель, прогнозирование развития.

Object of research: economic growth of the BRICS countries. Subject of research: economic interaction between the countries of the BRICS integration association. Objective: to develop a mathematical model of the economic process that allows analysis and forecasting of the development of the process over time, to make a forecast of the development of variables that evaluate the process over the time horizon until 2025. Tasks: to formulate indicators of economic growth of countries, indicators of interaction of countries within the BRICS, to develop models of the impact of economic interaction of the BRICS countries on the economic growth of the

BRICS, to calculate the parameters of the model, to predict the development of variables that evaluate the process over a time horizon until 2025.

Introduction. The integration association of the five BRICS countries – Russia, Brazil, India, China and South Africa – represents the prerogative of building a multipolar world [1], strengthening the multilateral system by maintaining multifaceted cooperation and implementing a polycentric system of international relations [2] of the five economies of the world with the most dynamically growing indicators of GDP. Strengthening trade and economic cooperation is one of the key areas of BRICS cooperation, especially relevant given the current global unprecedented economic challenges [3]. However, the high economic growth potential of the BRICS interstate association is associated with a low standard of living in the BRICS countries compared to developed countries: for 2022, the ICJ of Russia is 103.19, Brazil is 103.98, India is 124.38, China is 95.55, South Africa is 136.55, when the first echelon of countries in accordance with a high level of ICJ reaches the values of the indicator from 190 [4]. Research hypothesis: BRICS trade and economic cooperation can have an impact on the ICJ of each of the member countries of the commonwealth.

Development and analysis of a model of economic interaction between the member countries of the BRICS integration association.

In the process of drawing up a model showing economic interaction between the BRICS member countries, it is necessary to identify the main factors characterizing the state of economic growth of the BRICS countries. Thus, the following factors characterizing the state of economic growth of the BRICS countries were selected (Table1):

Table 1 – Endogenous indicators

<b>Endogenous indicators</b>	<b>The name of the indicator</b>	<b>Dimension</b>
$y_t^1$	The volume of total GDP per capita in the BRICS countries in the t-th year	billion US dollars
$y_t^2$	The volume of total exports per capita in the BRICS countries in the t-th year	billion US dollars
$y_t^3$	The volume of total imports per capita in the BRICS countries in the t-th year	billion US dollars
$y_t^4$	Total population in the BRICS countries in the t-th year	thousand people

After the economic growth indicators of the BRICS countries have been determined, we identify anthropogenic factors characterizing the state of the economy of the BRICS integration association. Thus, within the framework of this goal, the following indicators were identified that characterize the economic interaction between the member countries of the BRICS integration association (Table 2):



Table 2 – Exogenous indicators

<b>Exogenous indicators</b>	<b>The name of the indicator</b>	<b>Dimension</b>
$x_t^1$	The total level of foreign exchange reserves in the BRICS countries in the t-th year	millions of US dollars
$x_t^2$	The volume of the total nominal GDP in the BRICS countries in the t-th year	billion US dollars
$x_t^3$	The average number of labor resources (employment rate) in the BRICS countries in the t-th year	%
$x_t^4$	The average number of doctors per 1000 people in the BRICS countries in the t-th year	human
$x_t^5$	The average unemployment rate in the BRICS countries in the t-th year	%

The next stage is the collection of statistical data on each of the indicators of exogenous and endogenous variables from 1994 to 2020 [5]. The interdependence of endogenous and exogenous variables is reflected in Table 3 ( $y_{t-j}^*$  means the indicator of previous periods).

Table 3 – The interdependence of endogenous and exogenous variables

<b>Endogenous variables</b>	<b>Lag endogenous variables</b>	<b>Exogenous variables</b>							
$y_t^1$	$y_{t-j}^1$	$y_t^2$	$y_t^3$	$y_t^4$	$x_t^1$	$x_t^2$	$x_t^3$	$x_t^4$	$x_t^5$
$y_t^2$	$y_{t-j}^2$	$y_t^1$	$y_t^3$	$y_t^4$	$x_t^1$	$x_t^2$	$x_t^3$	$x_t^4$	$x_t^5$
$y_t^3$	$y_{t-j}^3$	$y_t^1$	$y_t^2$	$y_t^4$	$x_t^1$	$x_t^2$	$x_t^3$	$x_t^4$	$x_t^5$
$y_t^4$	$y_{t-j}^4$	$y_t^1$	$y_t^2$	$y_t^3$	$x_t^1$	$x_t^2$	$x_t^3$	$x_t^4$	$x_t^5$

The general form of the system of equations will take the following form:

$$\begin{aligned}
 y_t^1 &= f(y_{t-j}^1, y_t^2, y_t^3, y_t^4, x_t^1, x_t^2, x_t^3, x_t^4, x_t^5) \\
 y_t^2 &= f(y_{t-j}^2, y_t^1, y_t^3, y_t^4, x_t^1, x_t^2, x_t^3, x_t^4, x_t^5) \\
 y_t^3 &= f(y_{t-j}^3, y_t^1, y_t^2, y_t^4, x_t^1, x_t^2, x_t^3, x_t^4, x_t^5) \\
 y_t^4 &= f(y_{t-j}^4, y_t^1, y_t^2, y_t^3, x_t^1, x_t^2, x_t^3, x_t^4, x_t^5)
 \end{aligned}$$

Standardization is a widely applicable way of translating natural data to a homogeneous feature space and is calculated using the following formula:

$$X_{ij}^{(Un)} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j},$$

Where  $S_j$  – standard deviation (mean square deviation, standard deviation, square deviation, standard deviation, standard spread). Normalized values of exogenous and endogenous variables were obtained using the Excel program.

The next step is to check the time series for stationarity using the Dickey-Fuller test. The Dickey-Fuller test is an autoregressive equation of the form:

$$y_t = ay_{t-1} + \varepsilon_t$$

$y_t$  – time series,  $\varepsilon_t$  – bug.

If  $|a| < 1$ , then it is stationary row. If  $a=1$ , then the process has a unit root, in this case the series is not stationary, it is an integrated time series of the first order. The Dickey-Fuller test will be conducted according to the values of the indicators  $y_t^1, y_t^2, y_t^3, y_t^4, x_t^1, x_t^2, x_t^3, x_t^4, x_t^5$ .

Based on the normalized values of exogenous and endogenous variables obtained, we will check the time series for stationarity using the Dickey-Fuller test. The Dickey-Fuller test will be performed in Excel for each row. Regression is calculated using the MS Excel "Data Analysis" function. For the values of the interval Y, a series with a t-1 lag is selected, for the values X – the original time series.

As a result of the Dickey-Fuller test, it turned out that the series  $y_t^4, x_t^1, x_t^3, x_t^4, x_t^5$  they turned out to be stationary, and the rows  $y_t^1, y_t^2, y_t^3, x_t^2$  – non-stationary, after they were turned into stationary by calculating the difference of the first order, so we will introduce new designations:  $\Delta Y_t^1, \Delta Y_t^2, \Delta Y_t^3, \Delta X_t^2$ .

It is necessary to consider the correlation coefficient of a pair of endogenous and exogenous variables. At this step, the variables that need to be left in the right side of each equation are analyzed (for each endogenous variable ( $Y_t^i$ )). If the coefficient of paired correlation between the endogenous variable ( $Y_t^i$ ) and another endogenous variable ( $Y_t^j$ ) or exogenous ( $X_t^i$ ) exceeds  $|0.7|$ , you should leave another variable for further analysis on the right side of the equation.

In accordance with the methodology of model development, the next step in determining the parameters of the model is correlation analysis. Using the SPSS Statistics program, we obtain a correlation matrix. Based on the results of the correlation analysis, we will construct Table 4, in which we will reflect all the endogenous and exogenous variables on the basis of which the equations will be constructed.

Table 4 – The interdependence of endogenous and exogenous variables

Endogenous variables	Lag endogenous variables	Exogenous variables					
		$\Delta Y_t^2$	$\Delta Y_t^3$	$y_t^4$	$x_t^1$	$\Delta X_t^2$	$x_t^3$
$\Delta Y_t^1$	$\Delta Y_{t-j}^1$	$\Delta Y_t^2$	$\Delta Y_t^3$	$y_t^4$	$x_t^1$	$\Delta X_t^2$	$x_t^3$
$\Delta Y_t^2$	$\Delta Y_{t-j}^2$	$\Delta Y_t^1$	$\Delta Y_t^3$	$y_t^4$	$x_t^1$	$\Delta X_t^2$	$x_t^3$
$\Delta Y_t^3$	$\Delta Y_{t-j}^3$	$\Delta Y_t^1$	$\Delta Y_t^2$	$y_t^4$	$x_t^1$	$\Delta X_t^2$	$x_t^3$
$y_t^4$	$y_{t-j}^4$	$\Delta Y_t^1$	$\Delta Y_t^2$	$\Delta Y_t^3$	$x_t^1$	$\Delta X_t^2$	$x_t^3$

Thus, the general form of the system of equations will take the following form:

$$\begin{aligned}\Delta Y_t^1 &= f(\Delta Y_{t-j}^1, y_t^2, y_t^3, y_t^4, x_t^1, \Delta X_t^2, x_t^3) \\ \Delta Y_t^2 &= f(\Delta Y_{t-j}^2, y_t^1, y_t^3, y_t^4, x_t^1, \Delta X_t^2, x_t^3) \\ \Delta Y_t^3 &= f(\Delta Y_{t-j}^3, y_t^1, y_t^2, y_t^4, x_t^1, \Delta X_t^2, x_t^3) \\ y_t^4 &= f(y_{t-j}^4, y_t^1, y_t^2, y_t^3, x_t^1, \Delta X_t^2, x_t^3)\end{aligned}$$

The next step analyzes the variables that are left on the right side of each equation after the first step. They are analyzed for multicollinearity by pairwise analysis of the variables left in the right side of each equation: if the coefficient of paired correlation between a pair of variables in the right side exceeds  $|0.7|$ , one variable should be excluded from further analysis.

As a result of checking for multicollinearity, it turned out that the coefficients of the pair correlation of variables  $x_t^4$  and  $x_t^5$  less than  $|0.7|$ , accordingly, they should be excluded from further analysis. Therefore, variables  $x_t^4$  and  $x_t^5$  excluded from checking exogenous variables for multicollinearity of all 4 equations.

From the first equation  $\Delta Y_t^1 = f(\Delta Y_{t-j}^1, \Delta Y_t^2, \Delta Y_t^3, y_t^4, x_t^1, \Delta X_t^2, x_t^3)$  exclude variables  $\Delta Y_t^2, \Delta Y_t^3, y_t^4, \Delta X_t^2, x_t^3$ , since they have a strong relationship with the variable  $x_t^1$ . The result will be  $\Delta Y_t^1 = f(\Delta Y_{t-j}^1, x_t^1)$ .

From the second equation  $\Delta Y_t^2 = f(\Delta Y_{t-j}^2, \Delta Y_t^1, \Delta Y_t^3, y_t^4, x_t^1, \Delta X_t^2, x_t^3)$  exclude variables  $\Delta Y_t^1, \Delta Y_t^3, y_t^4, x_t^1, x_t^3$ , since they have a strong relationship with the variable  $\Delta X_t^2$ . The result will be  $\Delta Y_t^2 = f(\Delta Y_{t-j}^2, \Delta X_t^2)$ .

From the third equation  $\Delta Y_t^3 = f(\Delta Y_{t-j}^3, \Delta Y_t^1, \Delta Y_t^2, y_t^4, x_t^1, \Delta X_t^2, x_t^3)$  exclude variables  $\Delta Y_t^1, \Delta Y_t^2, y_t^4, x_t^1, \Delta X_t^2$ , since they have a strong relationship with the variable  $x_t^3$ . The result will be  $\Delta Y_t^3 = f(\Delta Y_{t-j}^3, x_t^3)$ .

From the fourth equation  $y_t^4 = f(y_{t-j}^4, \Delta Y_t^1, \Delta Y_t^2, \Delta Y_t^3, x_t^1, \Delta X_t^2, x_t^3)$  exclude variables  $\Delta Y_t^1, \Delta Y_t^2, \Delta Y_t^3, \Delta X_t^2, x_t^3$ , since they have a strong relationship with the variable  $x_t^1$ . The result will be  $y_t^4 = f(y_{t-j}^4, x_t^1)$ .

Thus, the general form of the system of equations will take the following form:

$$\begin{aligned}\Delta Y_t^1 &= f(\Delta Y_{t-j}^1, x_t^1) \\ \Delta Y_t^2 &= f(\Delta Y_{t-j}^2, \Delta X_t^2) \\ \Delta Y_t^3 &= f(\Delta Y_{t-j}^3, x_t^3) \\ y_t^4 &= f(y_{t-j}^4, x_t^1)\end{aligned}$$

Next comes the selection of lags of endogenous variables to display the background of the process. Autocorrelation of variables was carried out in the IBM SPSS program. It turned out that the variables have autocorrelation  $\Delta Y_t^1, Y_t^2, \Delta Y_t^3$  и  $y_t^4$ , accordingly, the following lags will be included in the analysis:  $\Delta Y_{t-1}^1, \Delta Y_{t-2}^1, \Delta Y_{t-3}^1, \Delta Y_{t-1}^2, \Delta Y_{t-2}^2, \Delta Y_{t-1}^3, \Delta Y_{t-2}^3, y_{t-1}^4, y_{t-2}^4$ .

Thus, the general form of the system of equations will take the following form:

$$\Delta Y_t^1 = f(\Delta Y_{t-1}^1, \Delta Y_{t-2}^1, \Delta Y_{t-3}^1, x_t^1)$$

$$\Delta Y_t^2 = f(\Delta Y_{t-1}^2, \Delta Y_{t-2}^2, \Delta X_t^2)$$

$$\Delta Y_t^3 = f(\Delta Y_{t-1}^3, \Delta Y_{t-2}^3, x_t^3)$$

$$y_t^4 = f(y_{t-1}^4, y_{t-2}^4, x_t^1)$$

Let's write down the system of equations of the model in a structural form:

$$\Delta Y_t^1 = a_1^1 * \Delta Y_{t-1}^1 + a_2^1 * \Delta Y_{t-2}^1 + a_3^1 * \Delta Y_{t-3}^1 + b_1^1 * x_t^1$$

$$\Delta Y_t^2 = a_1^2 * \Delta Y_{t-1}^2 + a_2^2 * \Delta Y_{t-2}^2 + b_1^2 * \Delta X_t^2$$

$$\Delta Y_t^3 = a_1^3 * \Delta Y_{t-1}^3 + a_2^3 * \Delta Y_{t-2}^3 + b_1^3 * x_t^3$$

$$y_t^4 = a_1^4 * y_{t-1}^4 + a_2^4 * y_{t-2}^4 + b_1^4 * x_t^1$$

Where  $a_j^i, b_j^i, i = \overline{1,5}, j = \overline{1,5}$  – model coefficients.

Let's determine the coefficients of the reduced form of the model. The calculations were carried out in the IBM SPSS program. As a result, we have obtained a system of equations with new coefficients. Thus, the system of simultaneous econometric equations looks like this:

$$\Delta Y_t^1 = 2,037 * \Delta Y_{t-1}^1 + (-2,952) * \Delta Y_{t-2}^1 + 1,869 * \Delta Y_{t-3}^1 + 0,632 * x_t^1 - 0,007$$

$$\Delta Y_t^2 = (-0,490) * \Delta Y_{t-1}^2 + 0,726 * \Delta Y_{t-2}^2 + 0,875 * \Delta X_t^2 - 0,024$$

$$\Delta Y_t^3 = (-3,014) * \Delta Y_{t-1}^3 + 3,865 * \Delta Y_{t-2}^3 + (-0,501) * x_t^3 - 0,137$$

$$y_t^4 = (-3,554) * y_{t-1}^4 + 4,040 * y_{t-2}^4 + 0,590 * x_t^1 - 0,151$$

Next, we will check the validity of the model equations by Fischer's F-criterion. We will perform the check in the IBM SPSS program. F tabular will be determined using the distribution table for a given significance level (0.05).

Consider 1 equation: the calculated value of F turned out to be 525,891. F tabular = 2.82. Since F is calculated > F is tabular, the equation is recognized as statistically significant.

Consider equation 2: the calculated value of F turned out to be equal to 1660,644. F tabular = 3.03. Since F calculated > F tabular, the equation is recognized as statistically significant.

Consider equation 3: the calculated value of F turned out to be 927.058. F tabular = 3.03. Since F calculated > F tabular, the equation is recognized as statistically significant.

Consider equation 4: the calculated value of F turned out to be 70,039. F tabular = 3.03. Since F calculated > F tabular, the equation is recognized as statistically significant.

At this stage, the transition from standardized coefficients of the multiple regression equation will be carried out  $\beta_i$  (coefficients obtained from normalized variables) to the coefficients of "pure" regression.

Relation of coefficients of the multiple regression equation  $b_i$  (net regression coefficients) with standardized coefficients of the multiple regression equation  $\beta_i$  (coefficients obtained from normalized variables) is described by the ratio:

$$b_i = \beta_i \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_i}}$$

$\sigma_y, \sigma_{x_i}$  – standard deviation

The standard deviation is, in probability theory and statistics, an indicator of the dispersion of the values of a random variable relative to its mathematical expectation.

$$\sigma_{x_i} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Values  $\beta_i$  they are called standardized coefficients of the regression equation,  $\sigma$  – the mean square deviation of y and the corresponding  $x_i$ .

$\beta_i$  – these are the coefficients of the equations that you found after normalizing the original data.

$b_i$  – the coefficients of the multiple regression equation that you need for further analysis.

It is necessary to present equations with coefficients of the multiple regression equation  $b_i$ , after finding the standardized coefficients of the multiple regression equation  $\beta_i$ . After the transformations described above, the system of simultaneous econometric equations forming a model of economic interaction between the member countries of the BRICS integration association will look like this:

$$\Delta Y_t^1 = 33868,044 * \Delta Y_{t-1}^1 + (-44709,210) * \Delta Y_{t-2}^1 + 26312,286 * \Delta Y_{t-3}^1 + 0,002 * x_t^1 + 4236,796$$

$$\Delta Y_t^2 = (-36796,103) * \Delta Y_{t-1}^2 + 49703,873 * \Delta Y_{t-2}^2 + 2,235 * \Delta X_t^2 - 10167,370$$

$$\Delta Y_t^3 = (-217121,952) * \Delta Y_{t-1}^3 + 254411,054 * \Delta Y_{t-2}^3 + (-2666,050) * x_t^3 + 147107,249$$

$$y_t^4 = (-1930230,250) * y_{t-1}^4 + 2010393,954 * y_{t-2}^4 + 0,065 * x_t^1 + 2632957,695$$

The resulting model reflects the model of economic interaction between the member countries of the BRICS integration association. With its help, it is possible to construct forecast values of indicators characterizing the state of the economy of the BRICS member countries over a time horizon of 5 years.

Initially, in order to predict endogenous indicators in EXCEL, a procedure is carried out for predicting exogenous variables and those endogenous ones that act as exogenous in the equations of the system. This procedure is performed using the function =PREDICTION(). Substituting the values of endogenous variables into the equations with the coefficients of "pure" regression, we get a forecast of endogenous variables.

Table 5 – Predictive values of endogenous variables.

Year	The volume of total GDP per capita in the BRICS countries, billion dollars.	The volume of total exports per capita in the BRICS countries, billion dollars.	The volume of total imports per capita in the BRICS countries, billion dollars.	The total population in the BRICS countries, thousand people.
	$\Delta Y_t^1$	$\Delta Y_t^2$	$\Delta Y_t^3$	$y_t^4$
2025	29445,14558	112141,4321	125253,9904	3415564,228
2024	28307,46482	107964,7264	120246,9275	3385205,276
2023	27169,78407	103788,0208	115239,8647	3354846,323
2022	26032,10331	99611,31516	110232,8019	3324487,371
2021	24894,42256	95434,60953	105225,739	3294128,419

Analyzing the obtained values, it should be noted that by 2025, we can expect an improvement in the state of the economy of the integration association of the BRICS countries. Thus, there is a noticeable increase in the volume of total GDP per capita, the volume of total exports per capita and the volume of total imports per capita. At the same time, the total population in the BRICS countries will increase.

Conclusion. In the course of this work, a model of economic interaction between the countries of the BRICS integration association was developed. During the analysis of the forecast values, it can be assumed that over time, with the current interaction of the countries of the BRICS integration association, the state of the economy of the BRICS member countries will improve. Thus, by 2025, there will be a noticeable increase in the volume of total GDP per capita, the volume of total exports per capita and the volume of total imports per capita. At the same time, the total population in the BRICS countries will increase. When developing this model, socially and economically significant exogenous indicators were used, and they, in turn, were involved in the equations  $\Delta Y_t^1, Y_t^2, \Delta Y_t^3, y_t^4$ . Therefore, it can be argued that the model of economic interaction between the member countries of the BRICS integration association is effective and predictably valuable.

### References:

1. *Pekinskaya deklaraciya XIV sammita BRIKS ot 23.06.2022* [Beijing Declaration of the XIV BRICS Summit dated 23.06.2022]. – URL: <http://www.kremlin.ru/supplement/5819> (date accessed: 25.10.2022).
2. *Koncepciya uchastiya Rossijskoj Federacii v ob"edinenii BRIKS (utv. Prezidentom RF)* [The concept of the participation of the Russian Federation in the BRICS association (approved by the President of the Russian Federation)]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_143690/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_143690/) (date accessed: 25.10.2022).
3. *Strategiya ekonomicheskogo partnerstva briks do 2025 goda* [BRICS Economic Partnership Strategy until 2025]. – URL: <https://brics-russia2020.ru/images/114/81/1148133.pdf> (date accessed: 28.10.2022).

4. *Istochnik statisticheskikh dannyh po pokazatelyam IKZH* [The source of statistical data on the QOL indicators]. – URL: <https://www.numbeo.com/cost-of-living/> (date accessed: 29.10.2022).

5. *Istochnik statisticheskikh dannyh pokazatelej ekzogennyh i endogennyh peremennyh* [Source of statistical data on exogenous and endogenous variables]. – URL: <https://knoema.ru/> (date accessed: 29.10.2022).

### **Список литературы:**

1. Пекинская декларация XIV саммита БРИКС от 23.06.2022: [сайт]. – URL: <http://www.kremlin.ru/supplement/5819> (дата обращения: 25.10.2022). – Текст : электронный.

2. Концепция участия Российской Федерации в объединении БРИКС (утв. Президентом РФ): [сайт]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_143690/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_143690/) (дата обращения: 25.10.2022). – Текст : электронный.

3. Стратегия экономического партнерства БРИКС до 2025 года: [сайт]. – URL: <https://brics-russia2020.ru/images/114/81/1148133.pdf> (дата обращения: 28.10.2022). – Текст : электронный.

4. Источник статистических данных по показателям ИКЖ: [сайт]. – URL: <https://www.numbeo.com/cost-of-living/> (дата обращения: 29.10.2022). – Текст : электронный.

5. Источник статистических данных показателей экзогенных и эндогенных переменных: [сайт]. – URL: <https://knoema.ru/> (дата обращения: 29.10.2022). – Текст : электронный.

© Тимофеева Е. А., Голубева В. А., 2022

## ADVANTAGES OF CONDITION MONITORING SYSTEMS AND THEIR ROLE IN PREDICTIVE MAINTENANCE

Student **Savin Aleksei Sergeevich**,  
Academic Advisor: PhD in Technology, Head of the Department of  
Information and Measurement Technologies and Control Systems  
**Sidelnikov Vladimir Ivanovich**,  
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** This paper compares and analyzes two different approaches to the organization of equipment vibration diagnostics, with and without an automatic condition monitoring system, and considers the advantages of automated condition monitoring systems.

**Keywords:** equipment condition monitoring, vibration diagnostics, vibration monitoring, automatic vibration diagnostic systems, predictive equipment maintenance.

## ПРЕИМУЩЕСТВА СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ИХ РОЛЬ В СИСТЕМЕ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

студент **Савин Алексей Сергеевич**,  
науч. руководитель: канд. техн. наук, зав. кафедрой информационно-  
измерительных технологий и систем управления  
**Сидельников Владимир Иванович**,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе сравниваются и анализируются два различных подхода к организации вибрационной диагностики оборудования: с автоматической системой контроля состояния и без нее, а также рассматриваются преимущества автоматизированных систем мониторинга состояния оборудования.

**Ключевые слова:** мониторинг состояния оборудования, вибрационная диагностика, вибромониторинг, автоматические системы вибрационной диагностики, предиктивное обслуживание оборудования.

The necessity for modern vibration diagnostic systems that can analyze equipment condition of is growing from year to year. Various industries require the development of more and more advanced systems capable of simultaneously solving the tasks of vibration monitoring and diagnostics of equipment. Inspection and



monitoring of the machines and mechanisms technical conditions, as well as using special tools for these inspections has been carried out for a long time. However, limited information from the results of such monitoring did not always allow to identify the causes of equipment failures, and the probability of detecting hidden defects affecting the frequency of breakdowns was critically low, which accordingly reduced the reliability of the equipment and its operating time for failure.

Considering different strategies of maintenance, we can highlight three of them most used over the world.

First method of maintenance is performed in time-based manner with the fixed intervals, and its so-called preventive maintenance. This approach is well developed, and maintenance personnel all over the world has a huge experience of preventive maintenance application. This method allows you to maintain the necessary level of equipment operability, but, for all its advantages, it also has obvious disadvantages. Main problem is a frequency of malfunctions, the greatest probability of a malfunction occurs right after servicing the equipment [1, p. 10]. In some cases, scheduled repairs with disassembly of the mechanism and replacement of parts temporarily (before the parts are run-in) or permanently reduces the reliability of the unit. This maintenance approach also increases its cost because works are carried out without an assessment of the repair necessity for each specific piece of equipment.

Second is named as Reactive maintenance of machinery, and its often referred as the “run till failure” approach, involves fixing problems only after they occurs [2, p. 3]. Considerable time may be spent on the maintenance itself, plus additional time for equipment diagnostics after its failure, and determining the lists of necessary materials for repair.

And the third approach is the Predictive maintenance. It can be implemented on the equipment only after the installation of special automatic condition monitoring systems. During predictive maintenance, the automated system, based on sensor readings, determines the possibility of failure of various elements and components of the equipment, and issues a preliminary warning about an impending problem. Thus, based on the system warnings, repairs can be carried out only if necessary and can be planned in such a way as to avoid serious failures or equipment downtime.

A significant economic effect is achieved when switching from preventive maintenance to predictive maintenance. Thus, predictive maintenance of rotary machines on one of the chemical plants allowed to reduce the total number of maintenance and repairs from 274 to 14 [1, p. 8]. At the paper mill, the savings during the first year amounted to at least \$250,000, which tenfold covered the costs of the purchase of equipment for monitoring of mechanical vibrations, for the company. At the nuclear power plant, savings of US\$ 3 million were achieved within one year due to reduced maintenance costs and an additional increase in revenue of US\$ 19 million due to reduced downtime [1, p. 8].

Nowadays, the objective of building DCS (Distributed Control Systems) for condition monitoring and process control is more relevant than ever in the most diverse areas of human activities. Sensors are used as a smaller element of systems, registering various readings, generates signals in a form convenient for transmission, further

transducing, transmitting, and processing of data, especially those that cannot be perceived by a person, such data includes vibration.

Let's consider advantages and disadvantages of the most used maintenance approaches (Table).

Table – Different methods of maintenance comparison

Reactive maintenance	Preventive maintenance	Predictive maintenance
<b>Disadvantages</b>		
High risk of catastrophic failure or secondary damage. High repair & replacement costs	High replacement cost – parts replaced early	High upcoming costs for equipment purchasing installation and training of personnel
Lost of production due to high downtime.	Spare parts should have a huge shelf-life period	High trained and qualified personnel are required
High cost of spare parts if it's ordered after inspection	Risk of errors during replacement and especially after replacement during starting of equipment	
High cost of personnel overtimes		
Risk of injuries, high environmental risk		
<b>Advantages</b>		
No upfront costs for equipment purchasing, installation and training of personnel	Decreased risk of sudden equipment shutdown	Decreased risk of sudden equipment shutdown
Most probably easiest way of maintenance	Greater control over inventory	Extended equipment life
		Helps to reduce inventory
		Reduced risk of injuries and environmental damage
		Clearer picture of equipment reasons damage
		Reduced cost of inventory

Based on all above we can define that Predictive maintenance, nowadays, is the most perspective approach for equipment maintenance and monitoring of the machinery.

At the heart of many Predictive Maintenance strategies is Condition Monitoring which detects potential defects in critical components e. g., bearings, gears etc. at the early stage thereby enabling the maintenance activity to be planned, saving both time

and money, and preventing secondary damage to equipment which can often be catastrophic [2, p. 4].

Solving the problem of monitoring and analyzing the conditions for powerful turbine compressors is complicated by different factors, for example, complexity of the equipment with the long shaft, where the observed high vibration in a separate unit of the machine is due to the presence of a malfunction in another unit.

Let's review and compare two cases with different type of equipment, where both equipped by vibration monitoring, but one is additionally equipped by Condition monitoring system.

Case 1.

Distribution of the vibration value on the compressor 43HZ-221/1.5-43 bearing supports are shown in figure 1.

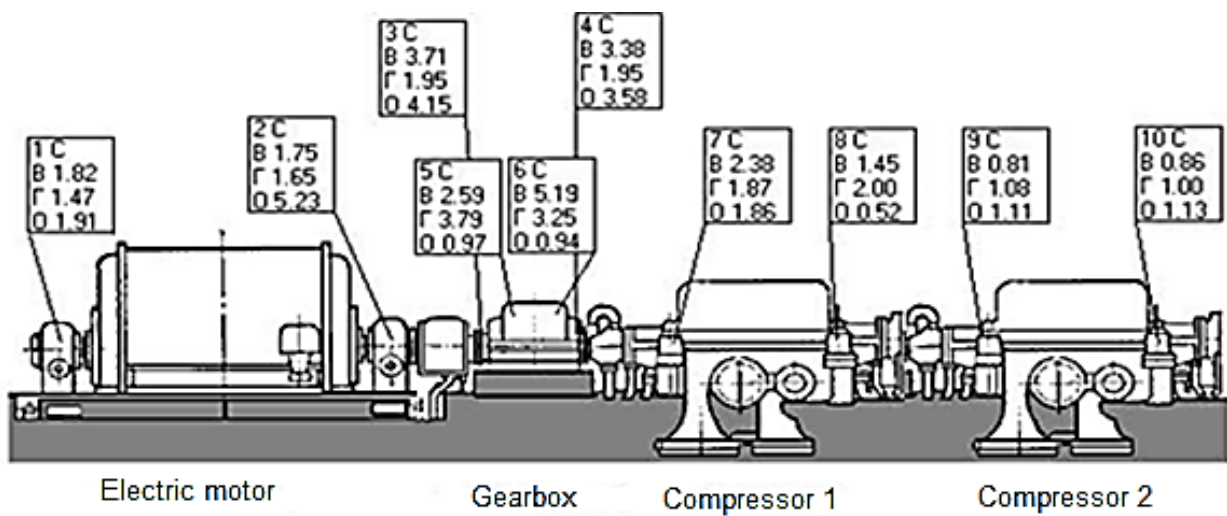


Figure 1. Distribution of the vibration value on the compressor 43HZ-221/1.5-43

Control system was not equipped with pre-installed condition monitoring system.

This compressor unit had a high vibration on the compressor bearing supports.

Peak value was observed on the 6<sup>th</sup> support, on the Gearbox. Readings was 5.19 mm/s in the vertical direction with the alarm threshold 7.1 mm/s.

Maximum value of the compressor vibration is 2.38 mm/s on the 7<sup>th</sup> support of HPC (High Pressure Compressor) in the vertical direction. Overall relative vibration value of the compressor was about 60 microns, with the emergency setpoint value of 70 microns set by the manufacturer. Also, after starting the unit, a gradual increase in the body vibration was observed on the compressor over time [3, p. 255].

After investigation was observed:

Trajectories of the rotor movement in the High-Pressure Compressor bearings (supports 7 and 8) are close in shape and shifted in phase ~ 70 degrees (Figure 2).

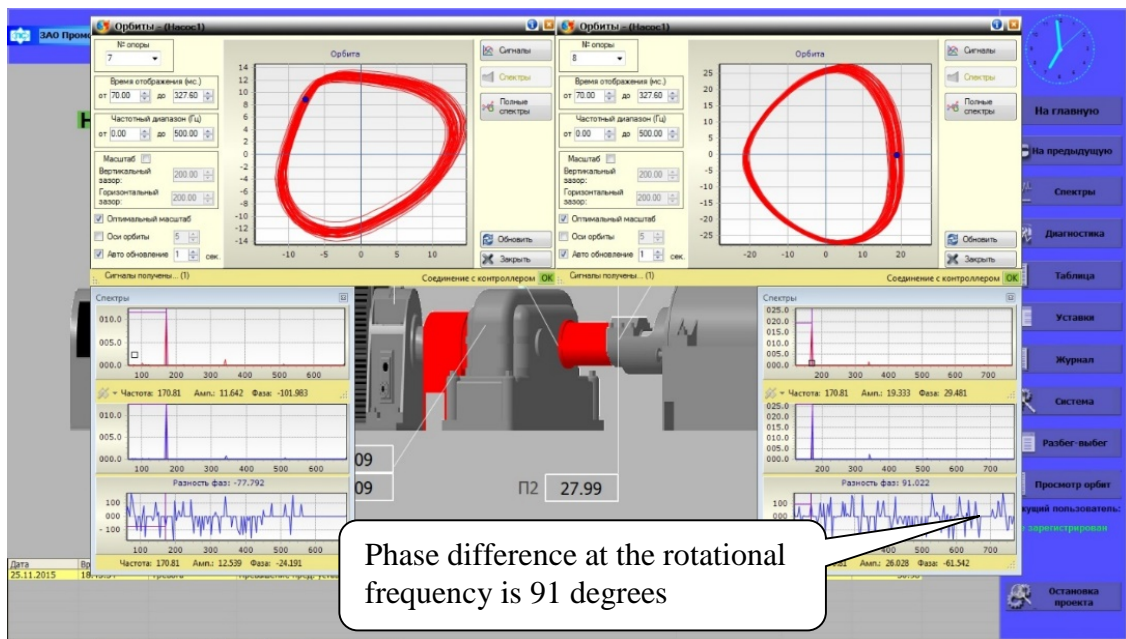


Figure 2. Trajectories of the rotor in the bearings of the HPC (front – left, rear – right)

Phase difference between the vertical and horizontal directions of vibration at the rotation frequency in the bearings is close to 90 degrees – one of the attributes of imbalance). But the analysis of the full spectra indicates that the rotor imbalanced due to external reasons, while the trajectory on the rear bearing lags and, as it were, “catches up” with the trajectory of the front bearing (with an imbalance, the vibration should coincide in the direction of precession on both bearings).

A clearer picture, to determine the causes of vibration, giving the trajectories of the rotor in the bearings of the low-pressure compressor (LPC) (Figure 3).

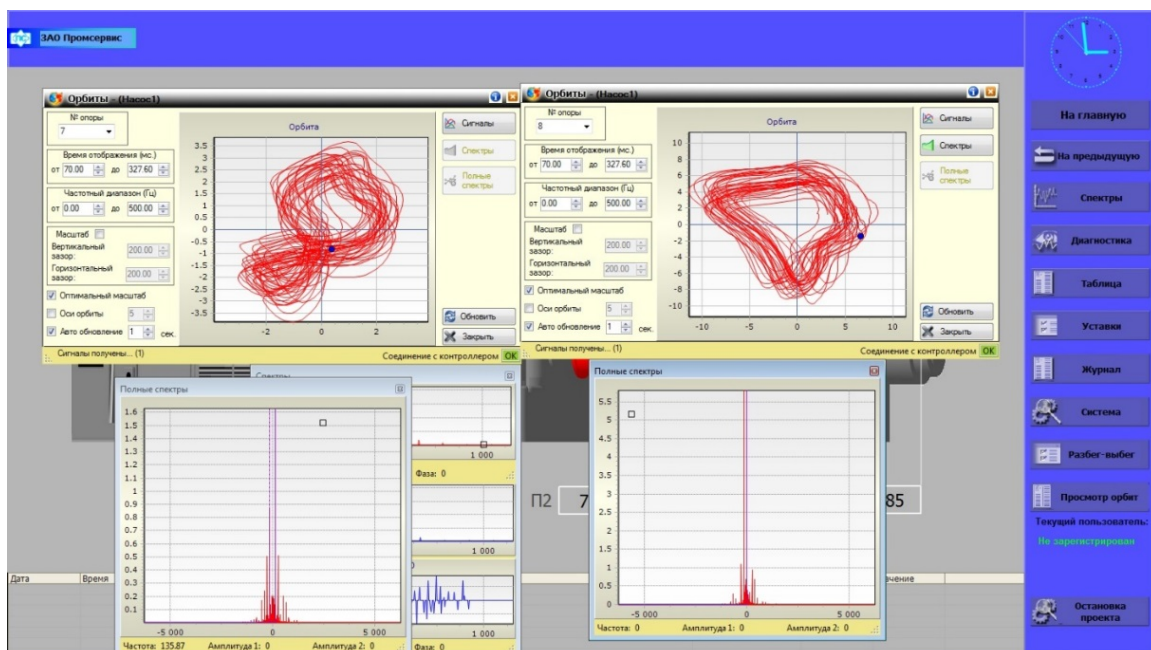


Figure 3. Trajectories of the rotor in the bearings of the LPC (bearing 7 on the left, bearing 8 on the right)

The orbits in figure 3 are not repeatable, as in figure 2. Each new revolution of the shaft, with the condition of preserving the shape of the trajectory, is laid along a new route. This is due to the presence of a significant component of random vibration due to insufficient rigidity or looseness [3, p. 257].

According to the results of compressor vibration diagnostics performed by the portable system “DIES” were found that high vibration is on the supports 3, 4 and 6, that can be caused by insufficient rigidity of the gearbox installation.

After visual check was found that shim plates installed under the third and sixth supports has the improper size.

In this case, compressing unit was equipped with standard vibration monitoring system with sensors for measuring relative vibration, but this information is insufficient to identify the causes of the deviations of the running equipment. For more effective condition monitoring, monitoring tools should provide the ability to analyze signals, spectra, mutual spectra, orbit graphs, etc.

#### Case 2.

The electric motor was put out of service according to the indications of the automated vibration diagnostics system. There were two reasons for this, first reason is growing vibration on the motor front bearing in vertical direction – 6 mm/s, in horizontal direction – 9 mm/s, second reason was the defect of the electric motor support No. 2 bearing.

In figure 4 the trend of vibration (vibration velocity mm/s) measured on the bearing supports of the electric motor is shown. On this trend we can see that vibration growth on the front bearing for three days, and then the vibration growth stopped.

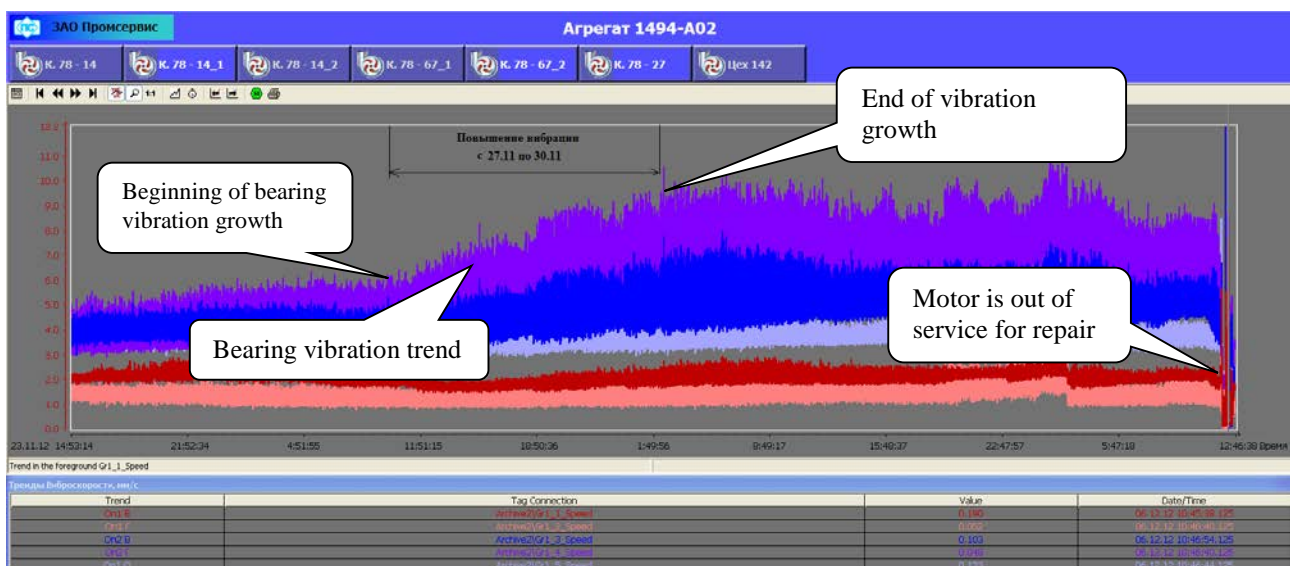


Figure 4. Trend of the motor bearing vibration

According to the results of the automatic diagnostics, during this period the appearance and the growth of a defect in the bearing of the motor support 2 (wear of the inner ring) to an average degree were established.

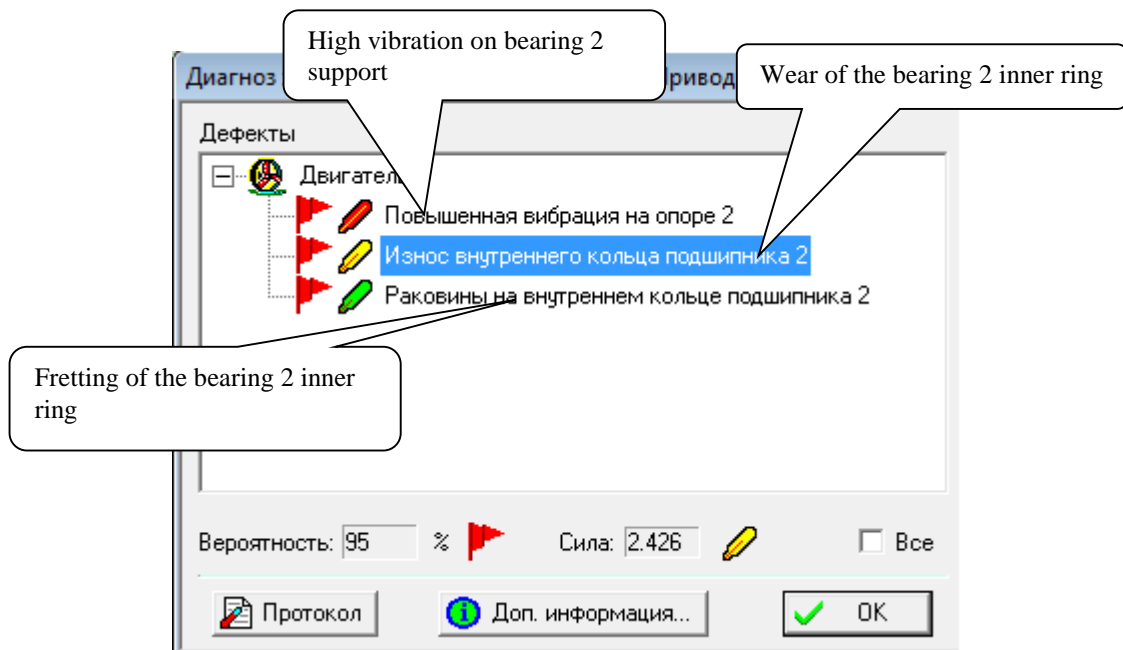


Figure 5. Automatic diagnosis issued by condition monitoring system

Even though the strength of the bearing defect has not yet reached an emergency level, the trend of the strength of the defect indicates its rapid growth, together with a high level of vibration, puts the motor in the category of a pre-emergency condition. This trend is shown in the figure 6.

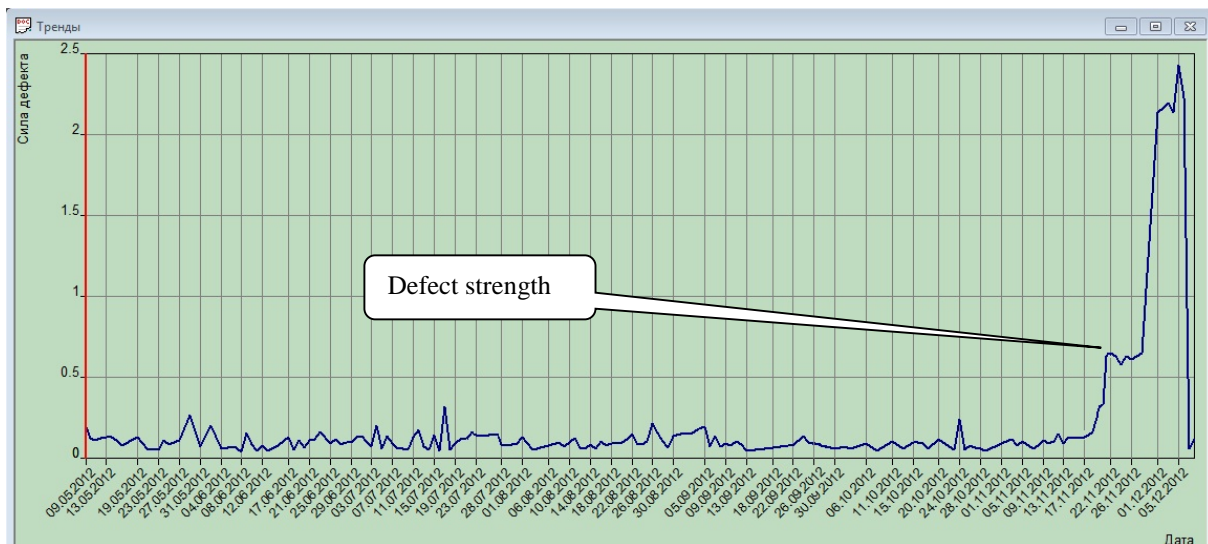


Figure 6. Trend of the wear of the bearing 2 inner ring

During the service of the motor all these defects were confirmed.

The system identified equipment failure long before the emergency shutdown occurred, and long before planned maintenance of the equipment.

Continue reasoning, we can bring overall approach of for such kind of the systems. Figure 7 shows us a generic prediction approach [4].

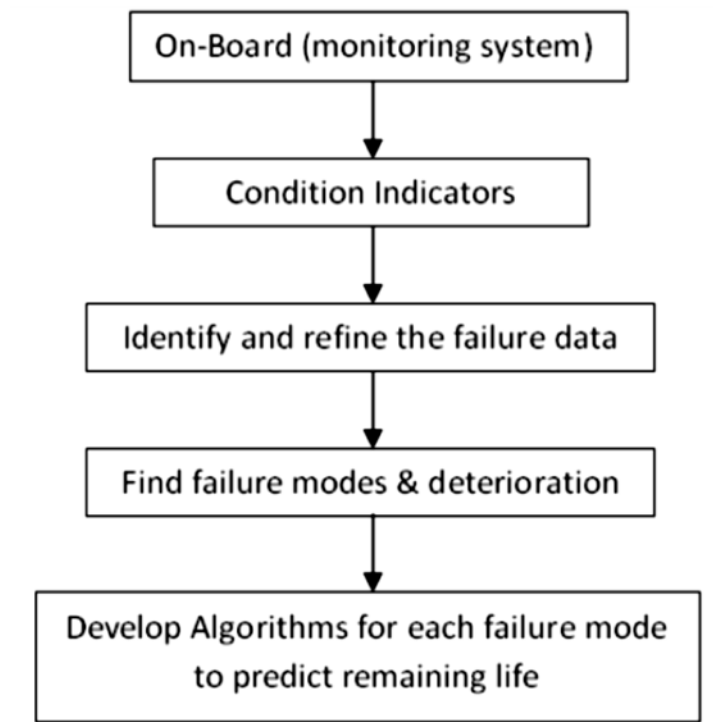


Figure 7. Failure algorithm steps

As the result of all above we can see that continuous condition monitoring system had a positive effect, and its also increasing reliability of equipment. Main benefit of continuous condition monitoring system implementation for the company is Return on Investment and greater economy. For example, BP has deployed early warning systems that monitor heavy machinery, markedly increasing the reliability, operational integrity, and performance of equipment in BP's operations. The company's initial trial generated value of \$2 million during the trial alone, at a cost of only \$50,000. Additional trials provided further savings of almost \$3 million through detections such as pump seal problems, failing instrumentation, control problems, and turbine fouling. These striking benefits led BP to plan a significant deployment across the company [5].

A system with a similar level of interaction between field equipment, DCS, emergency shutdown (ESD) system and a group of company specialists from condition monitoring department, well-trained and experienced is what will allow the company to maintain productivity at the proper level for a long time, efficiently and safely.

### References:

1. Azovcev YU. A., Barkova N. A., Gauze A. A. *Vibracionnaya diagnostika rotornyh mashin i oborudovaniya cellyulozno-bumazhnyh kombinatov: uchebnoe posobie* [Vibration diagnostics of rotary machines and equipment of pulp and paper mills: tutorial]. SPb.: *SPbGURP*, 2014. 127 p. (in Russian).
2. Lacey, S. J. The Role of Vibration Monitoring in Predictive Maintenance. *Schaeffler (UK) Technical Publication*. URL: [https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/\\_shared\\_media/08\\_media\\_library/01\\_publications/schaeffler\\_2/technicalpaper\\_1/download\\_1/the\\_role\\_of\\_vibration\\_monitoring.pdf](https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/technicalpaper_1/download_1/the_role_of_vibration_monitoring.pdf) (date accessed: 09.11.2022).

3. Sokolov D. V. *Primery vyyavleniya prichin odklonenij v rabote kompressornogo oborudovaniya s primeneniem stacionarnogo kompleksa "SADKO" i mobil'noj sistemy avtomaticheskogo diagnostirovaniya "DIES" proizvodstva ZAO "Promservis"* [Examples of identifying the causes of deviations in work of compressor equipment with usage of stationary "SADKO" complex and mobile automatic control system of diagnostics "DIES" produced by CJCS "Promservice"]. – URL: [https://psvibro.ru/images/konferencii/SokolovDV\\_Primaryi.pdf](https://psvibro.ru/images/konferencii/SokolovDV_Primaryi.pdf) (date accessed: 21.11.2022) (in Russian).
4. Ali, A., Abdelhadi, A. (2022) Condition-Based Monitoring and Maintenance: State of the Art Review. *Applied Sciences*. URL: <https://doi.org/10.3390/app12020688> (date accessed: 21.11.2022).
5. Rawi, Z. (2010) Machinery Predictive Analytics. *SPE Intelligent Energy (March 23–25, Utrecht, Netherlands)*. URL: <https://doi.org/10.2118/128559-MS> (date accessed: 21.11.2022).

### Список литературы:

1. Азовцев, Ю. А., Баркова, Н. А., Гаузе, А. А. Вибрационная диагностика роторных машин и оборудования целлюлозно-бумажных комбинатов: учебное пособие / Ю. А. Азовцев, Н. А. Баркова, А. А. Гаузе. – СПб. : СПбГУРП, 2014. – 127 с. – Текст : непосредственный.
2. Lacey S. J. The Role of Vibration Monitoring in Predictive Maintenance // Schaeffler (UK) Technical Publication. URL: [https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/\\_shared\\_media/08\\_media\\_library/01\\_publications/schaeffler\\_2/technicalpaper\\_1/download\\_1/the\\_role\\_of\\_vibration\\_monitoring.pdf](https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/technicalpaper_1/download_1/the_role_of_vibration_monitoring.pdf) (дата обращения: 09.11.2022).
3. Соколов, Д. В. Примеры выявления причин отклонений в работе компрессорного оборудования с применением стационарного комплекса «САДКО» и мобильной системы автоматического диагностирования «ДИЭС» производства ЗАО «Промсервис» / Д. В. Соколов. – URL: [https://psvibro.ru/images/konferencii/SokolovDV\\_Primaryi.pdf](https://psvibro.ru/images/konferencii/SokolovDV_Primaryi.pdf) (дата обращения: 21.11.2022). – Текст : электронный.
4. Ali A., Abdelhadi A. Condition-Based Monitoring and Maintenance: State of the Art Review // *Applied Sciences*. 2022. URL: <https://doi.org/10.3390/app12020688> (дата обращения: 21.11.2022).
5. Rawi Z. Machinery Predictive Analytics // *SPE Intelligent Energy (March 23–25, Utrecht, Netherlands)*. 2010. URL: <https://doi.org/10.2118/128559-MS> (дата обращения: 21.11.2022).

© Савин А. С., 2022



**МАТЕРИАЛЫ**  
**II Всероссийской научно-практической конференции**  
**обучающихся и преподавателей**  
**«ЭНЕРГЕТИКА, УПРАВЛЕНИЕ**  
**И АВТОМАТИЗАЦИЯ:**  
**ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ»**

2023

Редактор и корректор А. А. Чернышева  
Технический редактор Д. А. Романова

Научное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:  
электронное устройство с программным обеспечением  
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016), по паролю.  
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 07.03.2023. Изд. № 5030/23

Высшая школа технологии и энергетики СПб ГУПТД  
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4