

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ**

**Материалы  
научно-практической конференции  
с международным участием  
(г. Иркутск, 26 декабря 2022 г.)**

**Выпуск 25**

**Иркутск, 2022**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Иркутский национальный исследовательский технический  
университет**

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ**

**Материалы  
научно-практической конференции  
с международным участием  
(г. Иркутск, 26 декабря 2022 г.)**

**Выпуск 25**

Сборник материалов

**ИЗДАТЕЛЬСТВО  
Иркутского национального исследовательского  
технического университета  
2022**

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ИРНИТУ

**Технико-экономические проблемы развития регионов. Материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Иркутск, 26 декабря 2022 г.): сб. материалов. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2022. – Вып. 25. – 222 с.**

Содержит материалы, посвященные экономическим, научно-техническим и другим проблемам регионального развития в современных условиях.

Актуальность и достаточно широкая тематика конференции позволили привлечь к участию в ней преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ряда институтов и факультетов ИРНИТУ.

Основная цель проведения данной конференции заключалась в том, чтобы предоставить возможность любому желающему выступить с докладом или сообщением по результатам научных исследований; продемонстрировать способность не только выдвигать новую идею, теоретически ее обосновать, но также сформулировать практические рекомендации по превращению ее в жизнь.

Предназначен для широкого круга специалистов и студентов технико-экономических специальностей вузов.

**Редакционная коллегия:**

**Аршинов С.А.** – отв. редактор, канд. техн. наук (ИРНИТУ);

**Потапов В.В.** – зам. отв. редактора, профессор (ИРНИТУ);

**Кононов А.М.** – канд. геол.-минер. наук, проректор по научной работе (ИРНИТУ);

**Дунаев М.П.** – д-р техн. наук (ИРНИТУ);

**Суслов К.В.** – д-р техн. наук (ИРНИТУ).

*Материалы публикуются в авторской редакции  
и отображают персональную позицию участника конференции.  
Авторы опубликованных статей и тезисов несут ответственность  
за подбор и точность приведенных фактов, цитат,  
экономико-статистических данных и прочих сведений.*

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕГИОНАХ

Коновалов Ю.В.<sup>1</sup>, Гурулев Н.А.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Главной задачей централизованных электроэнергетических предприятий является обеспечение жителей России такими важными ресурсами, как тепловая и электрическая энергия. Однако, на территории нашей страны есть регионы, которые не охватываются централизованным энергообеспечением. По экспертным оценкам их процент составляет от 60 до 70 от общей площади. Количество людей, проживающих в отдалении от центров производства энергии составляет около 20 миллионов. Это те люди, которые не могут получать все ресурсы, которые необходимы для обеспечения его нормальной жизнедеятельности.

Решением этой проблемы может стать развитие малой энергетики, которая включает в себя объекты малой мощности, преобразующие традиционные и нетрадиционные виды ресурсов. Такие установки могут быть как стационарными, так и передвижными, поэтому их применение в некоторых случаях является единственной разумной альтернативой централизованному энергообеспечению.

Главная задача при этом – создание автономных источников электроэнергии для небольших населенных пунктов, что оправдано для малонаселенных районов, куда проводить централизованное электроснабжение экономически невыгодно.

Рассмотрим наиболее востребованные и экономически оправданные установки малой энергетики для отдаленных регионов [1-3].

**Газопоршневые станции малой энергетики.** Данный вид станций использует в качестве топлива природный газ, что выгодно отличает их от аналогов. Установка таких агрегатов будет экономически выгодна на месторождениях углеводородов и в тех регионах, где возможно прямое подключение к газопроводу, в таких случаях отключение от централизованной энергосети является экономически выгодным и оправданным, а окупаемость агрегата занимает очень мало времени.

**Дизельные электростанции малой энергетики.** Малая энергетика России оснащена этими электростанциями более чем на 90%, они наиболее популярны в нашей стране. Высокий спрос на подобные агрегаты можно объяснить простотой их применения (все технологические процессы автоматизированы), высокой скоростью запуска, возможностью работать длительное время без технического обслуживания, малым расходом охлаждающих веществ. Однако у этого вида машин есть и существенный минус – топливо для их обслуживания стоит очень дорого, именно по этой причине

их чаще всего используют как резервные или аварийные источники электроэнергии.

**Газотурбинные установки малой энергетики.** Этот тип установок малая энергетика России использует реже всего по сравнению с ранее описанными. Однако стоит отметить, что газотурбинные агрегаты обладают наивысшими массогабаритными показателями среди всех перечисленных. Минусами применения являются высокие затраты на топливо, повышенный уровень шума во время работы, увеличение количества воздуха для охлаждения системы и сравнительно невысокий КПД. Чаще всего их используют на передвижных электростанциях, которые выполняют функцию аварийных или резервных.

**Системы, использующие нетрадиционные виды топлива.** Развитие малой энергетики постоянно пополняется новыми технологиями, поэтому не только традиционные виды топлива, такие как газ, бензин и дизельное топливо, используются для выработки электроэнергии. Для регионов востребованным является потенциал установок малой энергетики, которые используют в качестве ресурса для работы ветер, воду, солнечную и геотермальную энергию, энергию биомассы и низкопотенциальное тепло. Такие виды автономного снабжения пока развиты не очень хорошо, поскольку их установка требует значительных капиталовложений.

Перспективным является использование комбинированных двух и более видов установок для обеспечения электроэнергией одного потребителя. В этом случае можно полностью отказаться от услуг централизованных систем. Окупаемость таких проектов очень высокая, поэтому они экономически выгодные.

Цифровизация экономики и отдельных отраслей промышленности влияет и на эволюцию систем управления электроагрегатами малой энергетики.

Защита, автоматика и управление электроагрегатами – это самый сложный комплекс вопросов, элементная база которого переходит на «цифру». Вначале задачу управления технологическим процессом на производстве почти полностью вручную решал человек-оператор. Он подавал определенное количество материала и энергии, одновременно на глаз оценивал ход процесса, при необходимости корректировал его и устанавливал момент завершения процесса. Операции измерения, контроля и выработки управляющих воздействий на объект основывались преимущественно на восприятии, интуиции и опыте человека-оператора. По мере усложнения производства требовалось более развитое и точное управление, чему препятствовала ограниченность способностей человека, невозможность на глаз и на ощупь отслеживать процесс производства. Переход от ручного контроля и управления к автоматическому с использованием цифровых регуляторов происходил в несколько этапов. Первой функцией управления, подвергшейся автоматизации, было измерение. В процессе усложнения

промышленных процессов, увеличения единичной мощности оборудования, использования форсированных режимов работы с повышенными скоростями, большими давлениями и температурами, с увеличением числа контролируемых переменных и усилением взаимных связей между отдельными звеньями производственных объектов возникла острая необходимость в создании и применении автоматических регуляторов. Стало очевидным, что функциональные возможности традиционных регуляторов с жесткой, не поддающейся оперативному изменению структурой, недостаточны. Эти факторы привели к созданию автоматизированных систем управления на базе цифровых регуляторов. В настоящее время производятся газовые и дизельные двигатели с цифровым управлением, что позволило более широко использовать их возможности для управления работой электростанций малой мощности. При использовании электроагрегатов на базе таких двигателей появилась возможность автоматического ввода в работу мощностей и подключения их к используемой сети, а также эксплуатации электростанций с несколькими источниками энергии, например, солнечной и получаемой от двигателей внутреннего сгорания. Регулирование вырабатываемой мощности осуществляется отдельно каждой установкой или комплексом.

Сейчас цифровые контроллеры для электростанций малой мощности создают такие производители как ComAp (Чехия), Simens (Германия), DataCom (Турция) и др. [4]. Эти контроллеры позволяют дистанционно (в том числе и через интернет) управлять следующими режимами:

- запланированный, по команде оператора или по параметрам пуск и останов электроагрегата
  - контроль его параметров,
  - контроль параметров сети,
  - отключение и подключение потребителей,
  - управление нагрузкой, мощностью, отдаваемой в сеть,
  - стабилизация работы при повышении или понижении нагрузки,
- объединение и управление группой электроагрегатов, а также параллельное подключение к сети,
  - контроль и подпитка топлива в расходных емкостях,
  - управление вентиляцией и отоплением машинного зала и подсобных помещений,
- принятие мер по ликвидации пожара, пролива топлива или утечки из водоснабжения и отопления,
- запись режимов работы, ведение отчетов и статистики, отправка данных по расписанию по заданному адресу.

Благодаря этому у сетевых компаний и предприятий появилась возможность сократить обслуживающий персонал электростанций в отдален-

ных населенных пунктах и объектах. Как правило, в труднодоступных населенных пунктах отсутствует квалифицированный персонал, а для содержания смены машинистов и их ротации на отдаленных объектах требуются большие финансовые затраты.

Рассмотренные электроагрегаты малой энергетики для энергоснабжения потребителей в регионах имеют свои достоинства и недостатки. Установлено, что гибридные решения повышают их окупаемость. Определена своя специфика распределенной энергетики России – это прежде всего газовая генерация средних и крупных потребителей в качестве резерва или альтернативы центральному электроснабжению, при условии, что в мире, по большей части, речь идет о возобновляемых источниках энергии. Если говорить о сегментации потребителей: в изолированных районах распределенная генерация развивается только потому, что там больше нет других вариантов или дешевле вырабатывать электроэнергию из местных углеводородов.

### **Библиографический список**

1. Интегрум. [Электронный ресурс] URL: [www.integrum.ru](http://www.integrum.ru), <https://www.asutpp.ru/tenzodatchik.html>, (обращение 12.10.2022) – С. 6.
2. Итоги деятельности Минэкономразвития России в 2009 году и задачи на 2010 год. [Электронный ресурс] URL: [www.economy.gov.ru/report2009/ru/par1/03/default.htm](http://www.economy.gov.ru/report2009/ru/par1/03/default.htm) Минэкономразвития РФ, (обращение 12.10.2022).
3. Владимир Романченко IT-байки: Малая ветроэнергетика – для дома, для семьи. [Электронный ресурс] URL: <https://3dnews.ru/575687>, (обращение 07.10.2022).
4. Анищенко, В. А. Методы и средства управления энергоснабжением и потреблением электроэнергии: учебно-методическое пособие для студентов специальности «Электроснабжение» / В. А. Анищенко, В. Б. Козловская. – Минск: БНТУ, 2013 – 200 с.

---

<sup>1</sup> Коновалов Ю.В., доцент кафедры ЭиЭТ ИЭ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

<sup>2</sup> Гурулев Н.А., обучающийся, гр. ЭАПЭБ-22-1ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

Экспертиза статьи выполнена 07.12.2022 г., протокол № 21

УДК 620.9

### **«УМНЫЕ» ЭНЕРГОСИСТЕМЫ, ОСОБЕННОСТИ И РАЗВИТИЕ**

Сажин Р.В.<sup>1</sup>, Сафонова О.М.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

"Умная" энергосистема передаёт принцип будущей ЭЭС. В общем Smart Grid (Умные Сети) – это современные сети электроснабжения, что применяют информационные и коммуникационные сети и технологии с

целью сбора данных относительно энергопотребления и энергопроизводства, дающей возможность автоматически увеличивать производительность, безопасность, финансовую выгоду, устойчивость производства и распределения электроэнергии. Инфраструктура "умной" энергосистемы основывается на открытых стандартах, принципах совместимости и реализуется вместе с применением протоколов Интернет.

У концепции "умной" энергосистемы есть такие цели как:

- предоставление покупателям возможностей автоматизированного управления применением электроэнергии и уменьшения их расходов на оплату электричества;
- самостоятельное восстановление системы если будет аварии;
- использование энергетических ресурсов высокого качества, включая ВИЭ;
- повышение качества электроэнергии, а также безопасности электроснабжения.

Ещё нужно подчеркнуть то, что технология "умной" энергосистемы будет давать покупателям способности анализировать, как их электроприемники используют электроэнергию, регулировать потребление электроэнергии более продуктивно и благодаря использованию ВИЭ сокращать выбросы парниковых газов. То есть, новые технологии дают возможности повысить использование ВИЭ и способствовать:

- предотвращению глобальных массовых аварийных погашений путем отделения "островов" электроснабжения от местных генерирующих источников;
- давать в реальном времени данные потребителям об использовании ими электричества;
- управлять электропотреблением;
- иметь динамичные тарифы на электроэнергию;
- снижать применение сети благодаря локальным источникам электроэнергии;
- обеспечивать свободный рынок системных услуг;
- поддерживать более интенсивное распространение электромобилей и электропривода.

Таким образом, применение принципов "умной" энергосистемы даст возможность:

- передавать электроэнергию наилучшим образом;
- распределять электроэнергию от многочисленных распределенных установок ее генерации;
- развивать электроснабжение, а также электропотребление от системы;
- улучшать методы интеграции ВИЭ (например ветроустановки, в систему).

"Умная" энергосистема представляет собой самовосстанавливающуюся систему, что повышает безопасность ЭЭС путем автоматизации управления процессами в аварийных ситуациях в таких направлениях:

- сведения от интеллектуальных измерительных приборов даёт возможность выявлять возможные аварийные случаи, особенно в периоды пиковых нагрузок;
- система регулирует электроснабжение на базе информации от автоматически опрашиваемых интеллектуальных датчиков, интеллектуальных термостатов в домах и т.п. с применением радиосигналов;
- многополярные детекторы дают возможность создавать проекты электроснабжения с учётом аварийно отключенных линий (во время шторма или другой ЧС), отделяя возмущение и минимизируя отключения потребителей.

Децентрализованное управление режимами "умной" энергосистемы нуждается в применении средств коммуникаций, которые большей частью не используются в практике эксплуатации распределительной электросети.

"Умная" энергосистема будет включать такие новые средства, как:

- интеллектуальные счетчики, являющиеся новыми цифровыми счетчиками;
- коллекторы данных; их функции заключаются в сборе информации от значительного количества интеллектуальных счетчиков (приблизительно 500) и прогнозе потокораспределения внутри системы;
- интеллектуальные устройства, являющиеся средствами мониторинга потребления электричества;

Значимой проблемой является надежная работа ЭЭС с крупной долей распределённой генерации. В прошедшие годы введена новейшая система противоаварийной автоматики (технология самовосстановления (Fault Ride Through – FRT)). Из-за доминирования ветроустановок в составе источников на ВИЭ данная технология была изучена сначала со стороны ветроустановок и введена в работу на базе системного кодекса (Grid Code).

Главная задача технологии FRT – управление ветровыми турбинами в случае возмущения, связанного с уменьшением напряжения в ЭЭС. Как правило (до 2003 г. в Германии) ветровая турбина отключалась от ЭЭС защитой от снижения напряжения в случае его понижения вплоть до 0,8 от номинального значения в точке ее подключения к системе. Но подобное действие в случае значительной доли ветрогенерации является причиной отключения многих ветротурбин, а это несёт потери крупной величины генерирующей мощности, что может стать проблемой устойчивости частоты.

В случае короткого замыкания использование технологии FRT поддерживает работу ветротурбин в период возмущения. В соответствии с этой концепцией ветротурбина должна во время аварии дальше функциони-

ровать и оставаться подключенной к системе, даже если напряжение снижается до нуля, в течение 150 мс. В случае, если за период 150 мс ЧС устраняется, ветротурбина восстанавливается по мощности для поддержки уровня частоты в системе.

РФ является 4 страной по производству электричества в мире после США, Китая и Японии с единой установленной мощностью электростанций около 229 ГВт и выработкой в объеме 1.036 ТВтч в 2008 г. ЕЭС России является уникальной ЭЭС, содержащей более 70 региональных систем. Генерирующие мощности в России содержат 68% тепловых электростанций, 21% гидроэлектрических, 10% атомных и примерно 1% электростанций на ВИЭ.

Огромная территория РФ с её ландшафтом и климатом богата ВИЭ. Есть существенный потенциал ветроэнергии, особенно на побережье морей и океанов и в горах, оцениваемый в 40 ТВтч/год, но лишь 0,008% суммарного энергобаланса страны приходится на ветроэнергетику в настоящее время. Общий технический потенциал биомассы составляет около 15000 МВт электрических. Потенциал геотермики тоже не мал – 3000 МВт электрических, но он расположен в основном в изолированных системах на Камчатке и Курильских островах. Потенциал солнечной энергии более высокий на юге России.

У России есть также большой потенциал гидроэнергии, около 9% мировых гидроресурсов. Для России использование когенерации является значительным и важным. Сегодня достаточно популярны малые когенерационные установки на газе. Россия обладает большими запасами природного газа и решение вопросов электро- и теплоснабжения в основе малых (до 30 МВт) когенерационных электростанций на газе, прежде всего газотурбинных, является привлекательной перспективой. Такие когенерационные установки имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными: эффективное производство электричества и тепла, близость к потребителям, отсутствие дорогих линий электропередачи и подстанций, малое экологическое воздействие, мобильность, простота конструкции.

Так сектор ВИЭ в РФ будет совершенствоваться в дальнейшие годы. В настоящее время у ВИЭ в России есть следующие особенности:

- это развивающаяся область экономики;
- возобновляемая энергетика в РФ не является монопольной по сравнению с большими государственными концернами, это повышает конкурентность рынка;
- этот сектор открыт для инвестиций;
- это область промышленности, требующая существенную поддержку на федеральном и региональном уровнях на рыночной основе при частичном участии иностранных инвесторов.

Для России технология Smart Grid наиболее значима с целью развития уровня распределения электроэнергетики для снижения потерь, повыше-

ния наблюдаемости и автоматизации распределительной электросети. Другой задачей является эффективная интеграция распределенной генерации в ЭЭС.

Технология "умной" энергосистемы требует развития и введения в единый комплекс инновационного оборудования и технологий разного назначения: управляемых устройств компенсации для повышения пропускной способности линий, высоковольтных устройств для быстрого регулирования напряжения, энергоемких накопителей энергии и т.п. Сегодня ФСК хочет, в порядке реализации инвестиционной программы, ввести около 20% новых элементов Smart Grid и других инновационных устройств.

При формировании "умной" энергосистемы будут применены современные средства и технологии управления, новые диагностические системы, высокоскоростные коммуникационные системы, и, кроме того, созданы возможности интеграции в ЭЭС ветроустановок, солнечных батарей, малых гидроэлектростанций, мини- и микро-когенерации и других локальных источников электроэнергии.

С самого момента появления человека и до конца XXв. всегда был большой рост населения Земли, а когда появились паровые машины в начале XIXв. стремительно стало увеличиваться мировое энергопотребление. В XXв. люди стали использовать больше энергоресурсов, чем за всю предыдущую историю.

И у человечества потребность в энергии будет только возрастать. Если, по данным Международного энергетического агентства, в 2015г. мировое энергопотребление составило 20,76 трлн кВт/ч, то прогнозируется, что через 15 лет он будет составлять 33,4 трлн кВт/ч (прирост на 60%), а к 2050 г. потребление энергии может удвоиться – до 41,3 трлн кВт/ч.

Важнейшим факторов при оценке процессов производства энергии является энергетическая рентабельность (EROI). Она показывает соотношение произведённой и потребленной энергии, чем демонстрирует эффективность процессов производства энергоносителей. Если для какого-либо ресурса этот показатель меньше или равен единице, то такой ресурс превращается в «поглотитель» энергии и больше не может использоваться как первичный источник энергии.

Понижение коэффициента EROI основных источников энергии экономики затрудняет добывать энергию, а её ценность относительно других ресурсов и товаров увеличивается. Поэтому, показатель EROI важен при сравнении энергетических задач. Поскольку затраты энергии на получение энергии требуют производительных усилий и затрат, при снижении EROI всё большую долю экономики занимает получение одного и того же числа чистой энергии.

Характерной особенностью ВИЭ является их неизнощаемость, либо способность восстанавливать свой потенциал за короткое время. Следова-

тельно, важным фактором для развития и успешного функционирования ВИЭ, является энергетическая рентабельность. Развитие мощности ВИЭ с каждым годом набирает высокие обороты во всех развивающихся странах. Так, мощность генерирующих установок на основе ВИЭ в 2015 году увеличилась на планете на 152 ГВт и составила 1985 ГВт на конец года. Это следует из доклада, подготовленного Международным агентством по возобновляемым источникам энергии, IRENA. Мощность ГЭС возросла на 36 ГВт, ВЭС на 63 ГВт, СЭС на 47 ГВт, ТЭС на биомассе на 5 ГВт, на геотермальной энергии на 0,6 ГВт. По регионам прирост составил: Азия 88 ГВт, Европа 24 ГВт, Северная Америка 20 ГВт, Южная Америка 9 ГВт.

При EROI ветряков 30:1, затраты на их изготовление составят  $(8760 \cdot 0,33/30) \cdot 4 = 385$  ГВт\*час на год эксплуатации. При EROI газотурбинной электростанции - в 2,7:1, затраты энергии составят  $876:2,7 = 324$  ГВт\*час, если отнести все энергозатраты на добычу и транспортировку газа. Общие затраты энергии для расчета EROI системы равны 12,3:1. Это показывает, что данное число выше EROI систем на угольных и газовых ТЭС, что снижает потребление природного газа в 10 раз.

Данный расчет - усредненный расчет, и в каждой конкретной энергосистеме EROI будут разные. Этот пример показывает, что EROI систем, использующих ветряные электростанции является весьма рентабельным и целесообразным. В больших энергосистемах с комбинацией различных видов генерации и маневрированием спросом, использование ВЭС позволит существенно повысить EROI этих систем.

В марте 2016 года вышла работа «A comprehensive assessment of the energy performance of the full range of electricity generation technologies deployed in the United Kingdom» авторов Marco Raugei и Enrica Leccisi на основе данных по Великобритании. И основана она на том, что EROI угольной ТЭС равно 3,5. Это связано с тем, что страна весь уголь импортирует из США, Колумбии и России. По ПГУ EROI равно 14, но это ввиду того, что авторы определили EROI добычи газа, импортируемого из Нидерландов в 294, а норвежского газа в 115, что является весьма нереалистичной цифрой. Отсюда следует утверждение, что высокое EROI угольных и газовых ТЭС – неоднозначная картина, которая не имеет никакого отношения к реальной ситуации.

Исследование Ferroni & Hopkirk (2016г.) в Германии, показало примерное EROI для стран с инсоляцией на уровне Германии и Швейцарии для солнечной энергетики. При расчете затрат всех видов энергии, в том числе, опосредованных (на воспроизводство рабочих и прочего, чего обычно не приводят зеленые пропагандисты) получено 2664 кВт\*ч/м<sup>2</sup> панелей (поли-силикон). А за свой срок службы панель сгенерирует 2203 кВт\*ч/м<sup>2</sup>. Таким образом, в условиях Германии реальный EROI солнечных панелей составляет 0,82 (+-15%).

Немалый интерес вызывает расчет электробаланса США и РФ, КПД электростанций США, а также примерный EROI США и РФ, опубликованный в 2014 году Energy Information Administration:

**Таблица 1**

**EROI электроэнергии средний для Российской Федерации составляет 25,868**

<b>Россия</b>	Прочее	Газ	АЭС	ГЭС	Уголь
EROI добычи ресурса	10	25	50	100	80
КПД преобразования в электроэнергию(э/э)	0,3	0,4	0,3	0,9	0,3
Доля в выработке э/э	0,82%	48,78%	16,39%	15,67%	18,34%
EROI э/э по видам ресурса	3	10	15	90	24

**Таблица 2**

**EROI электроэнергии средний для США составляет 21,325**

<b>США</b>	Прочее	Газ	АЭС	ГЭС	Уголь
EROI добычи ресурса	10	20	10	100	80
КПД преобразования в электроэнергию(э/э)	0,15	0,43	0,32	0,9	0,33
Доля в выработке э/э	4,9%	25%	19,27%	7,64%	43,19%
EROI э/э по видам ресурса	1,5	8,6	3,2	90	26,83

Таким образом, учитывая, что в США газ, твёрдое топливо, возобновляемые ресурсы и атомные (практически), прочее свои, то можно сделать вывод, что электроснабжение США устойчиво и практически автономно. Производство электроэнергии по видам ресурса в России на 3,9 ТВт час/год меньше, чем в США.

### **Библиографический список**

1. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики. - М.:Инфра-М, 2007.
2. Гидроэнергетика / Под ред. Обрезкова В.И. - М.: Энергоиздат, 1981.
3. Огороков В. Р., Волкова И. О., Огороков Р. В. Интеллектуальные энергетические системы: технические возможности и эффективность. Ч.1. Тех-

нологические и социально-экономические основания их создания//Академия энергетики. 2010. № 2. С. 72–80.

4. Основы современной энергетики: В двух частях. / Под общей редакцией Е.В. Аметистова. Часть 2. Современная электроэнергетика / Под ред. профессоров А.П. Бурмана и В.А. Строева. — М.: Издательство МЭИ, 2003.

5. Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года»

6. Ушаков В.Я. Современная и перспективная энергетика: технологические, социально-экономические и экологические аспекты: монография / В.Я.Ушаков. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.

7. Электроэнергетика России 2030: целевое видение/под общ. ред. Б. Ф. Вайнзихера. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. — 360 с.

<sup>1</sup> Сажин Р.В., обучающийся, гр. ИР6-21-1

<sup>2</sup> Сафонова О.М., ассистент каф. автоматизации и управления

Экспертиза статьи выполнена 18.11.2022 г., протокол № 44

УДК 621.311

**РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВАРИЙНЫХ УЧАСТКОВ НА ВЛ 35 кВ  
ФИЛИАЛА «МАМСКО-ЧУЙСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ»  
ОГУЭП «ОБЛКОММУНЭНЕРГО»**

Анфиногенов А.Ю.<sup>1</sup>, Горожанкин П.А.<sup>3</sup>,

Вац В.М.<sup>2</sup>, Вац О.В.<sup>2</sup>, Сизов А.П.<sup>2</sup>,

Федосов Д.С.<sup>2</sup>, Федчишин В.В.<sup>2</sup>, Фискин Е.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*ОГУЭП «Облкоммунэнерго»,*

<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский  
технический университет»,*

<sup>3</sup>*ООО МНПП «Антракс»*

ОГУЭП «Облкоммунэнерго» – крупнейшее сетевое предприятие в Иркутской области с государственной формой собственности. В состав предприятия входят 10 филиалов с центрами в г.г. Иркутск, Ангарск, Нижнеудинск, Саянск, Тайшет, Усть-Кут, Черемхово, Киренск, п.п. Усть-Ордынский, Мама. Предприятие обслуживает электрические сети напряжением от 0,4 до 110 кВ протяженностью около 10 000 км и более 3000 трансформаторных подстанций на территории 26 районов Иркутской области. К сетям «Облкоммунэнерго» подключено более 390 тыс. потребителей: около 1 млн. человек, бюджетные организации и социальные объекты, юридические лица. Полезный отпуск электроэнергии составляет более 3,5 млрд. кВт×ч в год.

Одним из подразделений «Облкоммунэнерго» является филиал «Мамско-Чуйские электрические сети», который был образован 1 января 2003 г. приказом ГУЭП «Облкоммунэнерго» № 589 от 26 декабря 2002 г. на основании Распоряжения КУГИ Администрации Иркутской области №303/и от 17 декабря 2002 г. на базе имущества Мамского энергетического управления, акционированного в 1993 г. в АООТ «Импульс» (ОАО «Импульс»), признанного в 2001 г. банкротом. В 2002 г. основная часть имущества (электротехнический комплекс, транспорт и т.д.) была передана в собственность Администрации Иркутской области. С созданием филиала стоимость электрической энергии для потребителей промышленной группы и бюджетной сферы в Мамско-Чуйском районе была снижена практически в 3 раза.

В настоящее время филиал «Мамско-Чуйские электрические сети» обладает разветвленной сетью с подстанциями класса напряжений 110/35/10 (6) кВ, 35/10 (6) кВ, 6/0,4 кВ и линий электропередачи 0,4-110 кВ, обеспечивающими надежное электроснабжение промышленных и коммунально-бытовых потребителей с отлаженным механизмом оперативно-ремонтного обслуживания.

В зону обслуживания филиала входит Мамско-Чуйский район, площадь которого составляет 43 тыс. км<sup>2</sup>, являющийся одним из северных районов Иркутской области, отнесенных к районам Крайнего Севера. Его климат – резкоконтинентальный, с морозной (до -55-60 °С) зимой. Филиал осуществляет электроснабжение 5 поселков, общая протяженность электрических сетей составляет 197 км, в том числе, по классам напряжений, кВ: 110 – 81,4 км; 35 – 62,6 км; 6 – 10,9 км; 0,4 – 40,6 км.

Количество трансформаторных подстанций, обслуживаемых филиалом, составляет 20 единиц общей мощностью 38 400 кВА, в том числе по уровням напряжений:

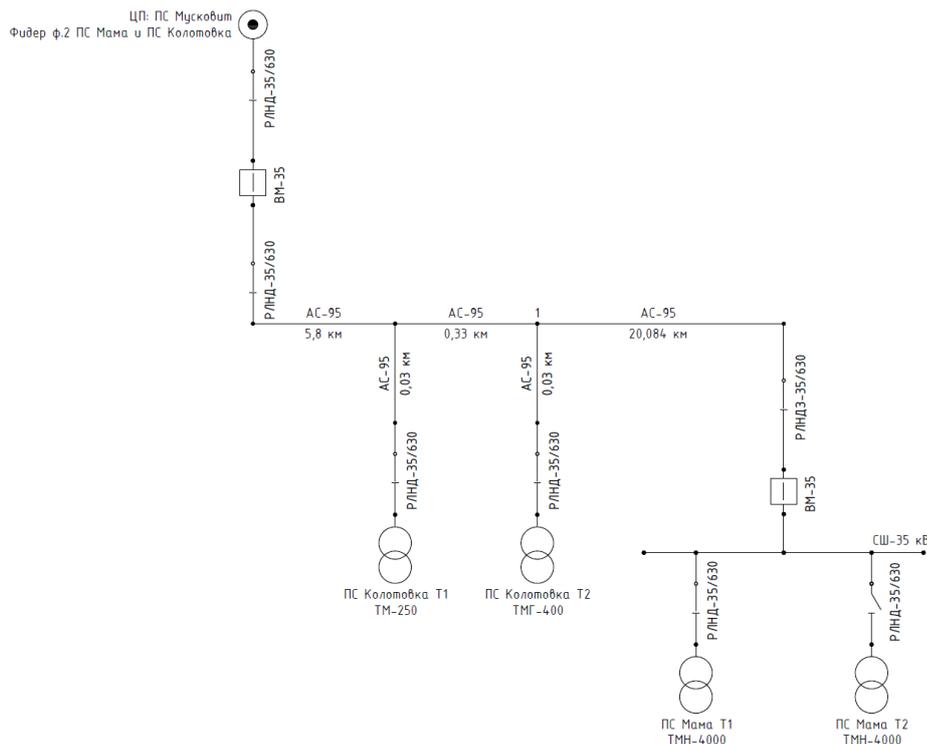
- 1 подстанция напряжением 110/35/6 кВ мощностью 16 300 кВА (с учетом ТСН);
- 3 подстанции напряжением 35/10-6 кВ мощностью 13 600 кВА (с учетом ТСН);
- 15 подстанций напряжением 6/0,4 кВ мощностью 8 500 кВА.

В составе филиала три электросетевых участка, расположенные в поселках Мама, Мусковит, Луговский, служба механизации и автотранспорта. На каждом из участков имеется автотракторная техника.

Все воздушные линии класса напряжений 35-110 кВ и транспортная схема их обслуживания расположены в сложных горно-геологических условиях [1].

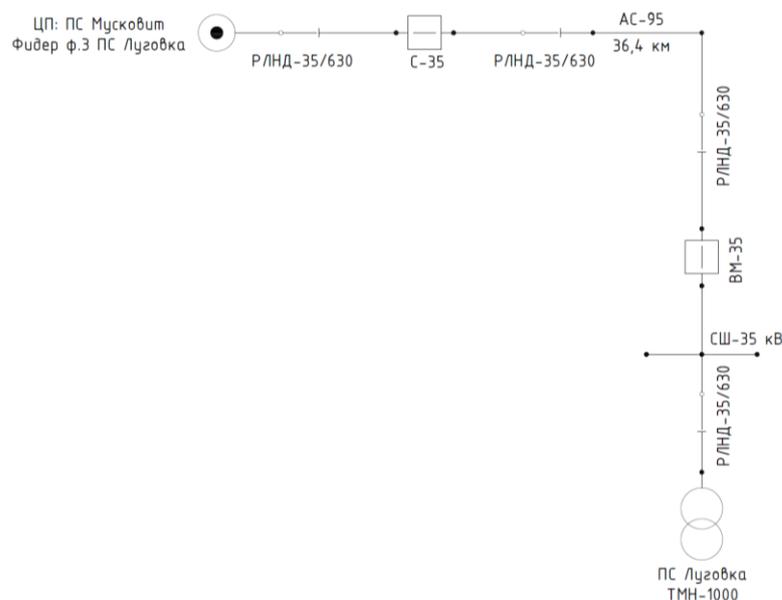
Объектом исследования в настоящей статье являются воздушные линии электропередачи класса напряжения 35 кВ: ПС Мусковит, секция 1, фидер 2, ПС Мама и ПС Колотовка и ПС Мусковит, секция 1, фидер 3. ПС Луговка. Общая длина линий составляет 62,6 км (рис.1, 2).

Первая ВЛ проходит по левому берегу реки Витим, более пологому, чем правый. На всем своем протяжении линия пересекает восемь рек и три озера, а также большое количество ручьев, берега заболоченные, при разливе и замерзании образуются наледи. Склоны реки Витим покрыты смешанным лесом и кустарником мягких пород. Вторая ВЛ 35 кВ проходит вдоль реки Колотовка, в пределах Северо-Байкальского нагорья. Нагорье расчленено разветвленными и глубокими речными долинами, образуя хребты-водоразделы. Склоны водоразделов крутые, в среднем 15-30°, а отдельные скальные участки почти отвесные. Вершины гольцов лишены почвенного слоя и покрыты дресвой разрушенных пород или глыбовыми россыпями. Воздушные линии считаются труднодоступными. Эти особенности территории района создают дополнительные сложности для работы сотрудников филиала по обслуживанию линии, в частности в зимнее время при поиске мест повреждений на линиях электропередачи. Сотрудникам районного филиала приходится работать в экстремальных условиях. В условиях бездорожья проехать можно только на бульдозере, а зимой до места аварии добираться только на лыжах.



**Рисунок 1 – ВЛ 35 кВ «ПС Мусковит – ПС Мама – ПС Колотовка»**

К примеру, ликвидация аварии на ВЛ 35 кВ 25 декабря 2020 г. (обрыв фазного провода в трех километрах от с. Колотовка) в 50-градусный мороз продолжалась 19 часов [1].



**Рисунок 2 - ВЛ 35 кВ «ПС Мусковит – ПС Луговка»**

Для дистанционного определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи наибольшее распространение получили методы, использующие параметры аварийного режима – токи и напряжения, измеряемые на подстанциях [2]. В зависимости от наличия систем регистрации аварийных событий на концах ВЛ выделяют методы одно- и двухстороннего определения места повреждения. Двухсторонние методы определения места повреждения требуют синхронизации измерений, выполненных по концам ВЛ, через систему GPS/ГЛОНАСС либо по параметрам аварийного режима в месте повреждения [3].

На кафедре Электрических станций, сетей и систем Института энергетики ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» планируется участие в разработке интеллектуальной системы по определению аварийных участков (мест короткого замыкания) на указанных ВЛ напряжением 35 кВ с использованием для этой цели оборудования и программного обеспечения ООО МНПП «Антракс». Все поставляемое оборудование и программное обеспечение являются запатентованными разработками российского производства, поставляемыми на экспорт в страны Европы, Ближнего Востока и Южной Америки и прошло многолетние испытания в различных климатических зонах и эксплуатационных режимах. Продукция ООО МНПП «АНТРАКС» применяется в воздушных и кабельных сетях ДЗО ПАО «Россети», ОАО «Башкирская электросетевая компания» и др.

Системное применение приборов ООО МНПП «АНТРАКС» позволяет при оптимальных затратах реализовать:

- комплекс быстрого определения поврежденного участка линий электропередачи при всех видах повреждений, включая самые сложные в

определении – однофазные замыкания на землю и обрывы в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью;

- систему быстрого реконфигурирования сети (CABC, FLISR), обеспечивающую быстрое автоматическое восстановление электроснабжения потребителей после отделения поврежденного участка;
- систему мониторинга и управления РЭС, обеспечивающую наблюдаемость каждой трансформаторной и распределительной подстанции сети, а также узловых точек воздушной линии электропередачи;
- систему мониторинга и управления силовым оборудованием подстанций, визуализирующих режимы работы первичного оборудования и предупреждающих о выходе за рамки нормального функционирования;
- существенное улучшение индексов надёжности энергосистемы SAIDI и SAIFI, благодаря сокращению времени восстановления электроснабжения и количеству отключённых потребителей;
- SmartGrid и активно-адаптивные сети за счёт контроля потоков мощности в каждой точке энергосистемы;
- систему сбора и анализа данных для цифровизации подстанции и распределительной энергосистемы.

Комплектация системы обнаружения мест повреждения на воздушных линиях 35 кВ предполагается с помощью оборудования ООО МНПП «Антракс»: комплектов индикаторов ИКЗ-В34Л, ИКЗ-В32Л с блоками связи и передачи информации БСПИ-3Л-МР-ВА.

Для рассматриваемых ВЛ-35 кВ предлагаются следующие варианты расстановки приборов:

Общее количество приборов для ВЛ «Мусковит – Мама»:

- 1. ИКЗ-В34Л – 4 комплекта;
- 2. ИКЗ-В32Л – 2 комплекта;
- 3. БСПИ-3Л-МР-ВА – 6 шт.

Общее количество приборов для ВЛ «Мусковит – Луговка»:

- 1. ИКЗ-В34Л – 6 комплектов;
- 2. БСПИ-3Л-МР-ВА – 6 шт.

ИКЗ-В34Л рекомендуется устанавливать (секционировать) примерно каждые 5 км. ИКЗ-В32Л устанавливаются на отпайки к линии. БСПИ-3Л-МР-ВА рекомендуются в основном на ВЛ-35 кВ, т.к. данные линии проходят в местах с плохим GSM сигналом [4].

Комплект ИКЗ-В34Л, используя алгоритмы совместной обработки данных, определяет межфазное замыкание и однофазное замыкание на землю для всех трех фаз, осуществляя синхронные векторные измерения протекающих на всех трёх фазах токов и напряжений. При обнаружении повреждения на сработавшем комплекте включается световая индикация, позволяющая работникам дежурных оперативно-выездных бригад опреде-

лить, в каком направлении от сработавшего комплекта им следует двигаться и какой тип аварии был зафиксирован.

Один рабочий комплект ИКЗ-В34Л состоит из трёх индикаторов ИКЗ-В34Л и имеет только радиоканал ближней связи для подключения с помощью пульта дистанционного управления ППИ-3. При подключении блока сбора и передачи информации БСПИ-3Л-МР ИКЗ-В34Л передаёт информацию как по радиоканалу, так и посредством GSM-канала в SCADA-систему. Индикаторы тока короткого замыкания линейки ИКЗ-Вх монтируются непосредственно на провода контролируемых воздушных линий 35 кВ:

- не зависят от конфигурации подвеса и количества цепей;
- снабжены надёжным зажимом для фиксации на провод воздушной линии. Зажимы одинаково эффективно работают на неизолированных и изолированных проводах;
- устанавливаются на воздушной линии с диаметром провода 5-40 мм;
- индикаторы КЗ снабжены сверхъяркими светодиодами для определения повреждённых линий с большого расстояния.

Индикаторы короткого замыкания типа ИКЗ-В32Л определяют аварийные процессы с протеканием тока короткого замыкания более 20 А, фиксируют однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) от 4 А [5]. При обнаружении повреждения линии в нижней части корпуса прибора начинают вспыхивать сверхъяркие светодиоды. В зависимости от режима мигания можно различить устойчивое и неустойчивое КЗ.

Возможности ИКЗ-В32Л:

- регистрация КЗ от 20 А;
- регистрация ОЗЗ от 4 А (опционально – 2 А);
- независимая работа индикаторов;
- радиоканал ближней связи Bluetooth Low Energy 2,4 ГГц;
- связь с помощью переносного пульта;
- возможность подключения БСПИ для дистанционного оповещения диспетчера.

ИКЗ-В32Л отдельно разделяют виды аварии последовательностью световой индикации, показывают, устойчивым или неустойчивым было повреждение, междуфазным или однофазным.

Определение ОЗЗ не требует модернизации силового оборудования РП/РТП/ТП, установки измерительных трансформаторов и других дополнительных датчиков, что существенно снижает стоимость эксплуатации и не создаёт лишних набросов напряжения.

Существуют модели, в которых вместе со сверхъяркими светодиодами используется механический «флаг» (блинкер) красного цвета. Светодиоды вспыхивают при фиксации факта повреждения воздушной линии,

благодаря чему легко обнаружить повреждение линии ВЛ на большом расстоянии.

Монтаж индикаторов ИКЗ-В с помощью переносного монтажного инструмента ПМИ-1 позволяет:

- использовать любой тип диэлектрической штанги для обеспечения безопасности персонала;
- монтировать и демонтировать ИКЗ-ВЗ на линиях 6-10-35 кВ без отключения потребителей.

Массогабаритные характеристики индикаторов короткого замыкания ИКЗ-Вх: высота 140 мм; ширина 114 мм; длина 158 мм; масса 0,55 кг.

На основе модификаций индикаторов тока короткого замыкания ИКЗ-Вх могут быть сформированы комплекты приборов, включающие в себя разное количество индикаторов, и различные модули связи. Состав комплектов зависит от требований к типам регистрируемых аварий, способов передачи данных и подбирается индивидуально для каждой энергосистемы.

Модели приборов, в обозначении которых присутствует буква «Л», оснащены радиоканалом ближней связи стандарта Bluetooth Low Energy (BLE) 2,4 ГГц. Все индикаторы короткого замыкания линейки ИКЗ-ВЗхЛ оснащаются блоками сбора и передачи информации (БСПИ) для передачи информации на сервер сбора данных в систему КОМОРСАН или SCADA-систему заказчика. К одному БСПИ может быть привязано до 6 комплектов приборов ИКЗ-ВЗхЛ различных типов.

Регистрация аварии происходит визуально при обходе воздушной линии. Получение информации и настройка приборов осуществляется с помощью смартфона с предустановленной ОС Android или iOS, поддерживающего протокол Bluetooth Low Energy (BLE), с установленным специальным ПО ППИ-3 разработки компании «АНТРАКС».

Блок БСПИ-3Л-МР-ВА [6] предназначен для использования в местах со слабой и нестабильной связью. Он укомплектован вынесенной GSM-антенной повышенной эффективности, подключаемой коаксиальным кабелем с малыми потерями. БСПИ-3Л-МР-ВА принимает и отправляет сотовый сигнал на базовые станции любых операторов связи с максимальным коэффициентом усиления в 10-15 дБи. Благодаря использованию собственного протокола передачи данных и схемы обмена информацией, оптимизированных для крайне низкого энергопотребления, БСПИ-3Л-МР-ВА может питаться только от встроенных батарей и не требует никакого внешнего питания.

Основными очевидными преимуществами этой разработки компании «АНТРАКС» являются:

- повышенная устойчивость к помеховой обстановке в радиоэфире;
- внешняя направленная антенна повышенной эффективности;
- работа на воздушных линиях с любым типом заземления нейтрали;

- повышенная пропускная способность канала данных;
- возможность использования мобильного телефона в качестве пульта управления.

БСПИ-3Л-МР-ВА оборудован GSM каналом передачи данных и радиоканалом ближней связи, что позволяет получать от индикаторов информацию, и затем передавать на диспетчерский пункт. Диспетчер может получить данные, подключаясь к серверу сбора и обработки данных используя программное обеспечение, поставляемое компанией АНТРАКС — «КОМОРСАН Web-клиент», или через собственную SCADA-систему получая данные с сервера КОМОРСАН по протоколу передачи данных по ГОСТ Р МЭК 60870-5-104. БСПИ-3Л-МР-ВА также оснащён дополнительными средствами индикации аварийной ситуации — контрастными светоотражающими блинкерами. Обладая малым весом и размером, он легко крепится к опоре линии электропередачи [6].

В настоящее время проводится детальная проработка схемы установки индикаторов короткого замыкания применительно к особенностям ВЛ 35 кВ «Мусковит – Мама» и «Мусковит – Луговка» с целью определения конфигурации интеллектуальной системы по определению аварийных участков.

### Библиографический список

1. Районная газета «Мамский горняк» – Сразу несколько аварий на линиях электропередачи пришлось устранять энергетикам в Мамско-Чуйском районе в выходные [Электронный ресурс]. – URL: <http://mamzerom.ru/articles/media/2021/4/27/srazu-neskolko-avarij-na-liniyah-elektroperedachi-prishlos-ustranyat-energetikam-v-mamsko-chujskom/>.
2. Висящев А.Н., Акишин Л.А., Тигунцев С.Г., Висящев А.А., Муссонов Г.П., Пленков Э.Р. Диагностика состояния воздушных линий электропередачи 10-110 кВ в нормальных и аварийных режимах: учебное пособие. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – 248 с.
3. Патент РФ № 2610852. Способ определения места короткого замыкания на воздушной линии электропередачи с выполнением расчетной синхронизации измерений с двух её концов: заявл. 18.12.2015: опубл. 16.02.2017 / А.Н. Висящев, С.Г. Тигунцев, Л.А. Акишин; заявитель ФГБОУ ВО «ИРНИТУ».
4. ИКЗ-В34Л (Lodestar CL0.5) – индикатор тока короткого замыкания [Электронный ресурс]. – URL: <https://antraks.ru/produktsiya/indikatory-avarijnogo-protssessa-ikz/indikatory-montiruyushchiesya-na-provod/ikz-v34.html>.
5. ИКЗ-В32Л – индикатор тока короткого замыкания [Электронный ресурс]. – URL: <https://antraks.ru/produktsiya/indikatory-avarijnogo-protssessa-ikz/indikatory-montiruyushchiesya-na-provod/ikz-v32-l.html>.

6. Блок передачи данных БСПИ-3Л-МР-ВА [Электронный ресурс]. – URL: <https://antraks.ru/produktsiya/indikatory-avarijnogo-protsessa-ikz/dopolnitelnoe-oborudovanie/bspi-3l-mr-va.html>.

<sup>1</sup> Анфиногенов А.Ю., генеральный директор ОГУЭП «Облкоммунэнерго»,

<sup>3</sup> Горожанкин П.А., главный специалист по перспективным разработкам ООО МНПП «Антракс»,

<sup>2</sup> Вац В.М., обучающийся гр. СЭМ-21-1, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»,

<sup>2</sup> Вац О.В., обучающаяся гр. СЭМ-21-1, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»,

<sup>2</sup> Сизов А.П., обучающийся гр. РДб-19-1, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»,

<sup>2</sup> Федосов Д.С., заведующий кафедрой Электрических станций, сетей и систем, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», к.т.н., доцент,

<sup>2</sup> Федчишин В.В., доцент кафедры Электрических станций, сетей и систем, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», к.т.н.,

<sup>2</sup> Фискин Е.М., доцент кафедры Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», к.т.н.

Экспертиза статьи выполнена 01.12.2022 г., протокол №19

УДК 621.331

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОФИСНЫХ ЗДАНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Костылева Н.Л.<sup>1</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Проблема обеспечения непрерывного режима электроснабжения предприятий лесной промышленности РФ обусловлена удаленностью основных перспективных мест расположения лесных массивов от централизованных энергосистем, территориальным рассредоточением производственных объектов и непрерывностью ключевых технологических процессов.

В настоящее время цифровые информационные технологии успешно интегрировались практически во все области жизнедеятельности [1-3], и электроэнергетика в лесной промышленности в данном случае не является исключением. Электроснабжение данной отрасли подразумевает использование современных информационных технологий. Электронные счетчики, программные комплексы по поддержанию безопасности энергетических объектов лесной промышленности, ведение массовых хранилищ данных – вот далеко не полный перечень успешного использования информационных технологий в электроэнергетике [4-7]. С учетом существующей глобализации и цифровизации информационных систем, интегрированных практически во все направления деятельности, необходимо отметить, что функционирование современных источников бесперебойного и автономного электроснабжения базируется на применении специализированного программного обеспечения [8].

В настоящее время практически все объекты лесной промышленности нуждаются в обеспечении бесперебойного снабжения электрической энергией. Это требуется для поддержания функционирования объектов, ведь без электрической энергии любое предприятие не может долго существовать. В связи с этим крайне актуальным является вопрос выбора источников бесперебойного и автономного электроснабжения. Данные источники способны реализовать бесперебойное электроснабжение потребителей электроэнергии при исчезновении внешней сети. Зачастую подобные источники стабилизируют напряжение. В состав подобных источников входят аккумуляторные батареи, в зависимости от емкости которых находится время питания потребителей [9]. Источники бесперебойного питания и автономного электроснабжения ценны еще и тем, что они помогают устранить скачки напряжения, сбои в работе целой электрической системы на предприятии, что крайне важно в контексте обеспечения стабильной работы предприятия лесной промышленности. Малейший выход из строя электрической системы на предприятии способен обернуться значительными затратами финансовых ресурсов на восстановление прежнего состояния, что чревато как материальными, так и временными потерями. В связи с этим роль источников бесперебойного и автономного электроснабжения трудно переоценить.

Ключевые функции источников бесперебойного электроснабжения следующие:

- оптимизация качества напряжения источника питания;
- защита от токов перегрузки и короткого замыкания;
- функция аварийного или резервного источника электрической энергии [9].

Целесообразно подробно рассмотреть классификацию схемно-структурных решений источников бесперебойного электроснабжения предприятий лесной промышленности.

Источники двойного преобразования применяются преимущественно для питания автономных вычислительных систем. В данном случае имеет место двойное преобразование электрической энергии. Сначала входное напряжение переменного тока переходит в напряжение постоянного тока, а далее инвертируется в напряжение переменного тока. КПД подобных источников составляет 80-90%. Ключевым преимуществом источников является то, что они стабилизируют не только напряжение, но и частоту тока [10].

Резервные источники нашли применение преимущественно в питании компьютеров, ноутбуков и пр. Именно эти средства часто используются в офисных зданиях промышленных предприятий. Если параметры электрической энергии выходят за границы нормы, или напряжение пропадает, источник автоматически подключает потребителя к питанию от аккумуляторной батареи через инвертор. Явным их недостатком является невысокое

качество выходного напряжения, невозможность стабилизации частоты и напряжения [8]. Преимуществом является их высокий КПД (от 96%), а также бесшумная работа.

Интерактивные источники бесперебойного питания отличаются от вышерассмотренных тем, что к их входу подключен ступенчатый стабилизатор напряжения, который может дать необходимое качество выходного напряжения для потребителя. Переключаются на питание от батареи такие источники быстрее, чем резервные. Это объясняется тем, что работа инвертора в данном случае синхронизирована с входным напряжением. Однако, у интерактивных источников КПД чуть ниже, чем у резервных [11].

Источники бесперебойного электроснабжения делятся на следующие категории по принципу действия:

- пассивно-резервные;
- линейные интерактивные;
- онлайн-источники [10].

Пассивно-резервные источники (рис. 1) не способны функционировать в нормальном режиме работы. Нагрузка питается от внешней сети при отклонениях входного напряжения и частоты тока. Если же характеристики входного напряжения имеют определенные отличия от номинальных показателей, то в таком случае начинает работать инвертор, способный дать бесперебойное электроснабжение. Источником для инвертора в таком случае является аккумуляторная батарея. Такие источники элементарны в своей конструкции и довольно дешевые [9].

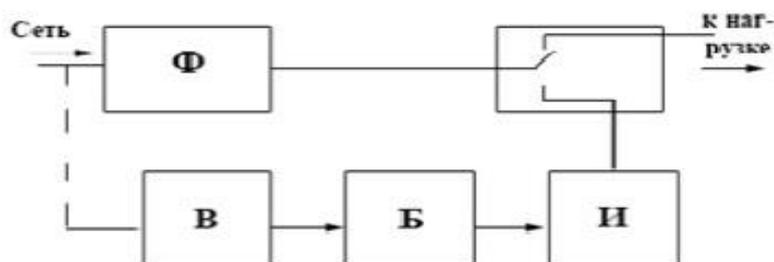
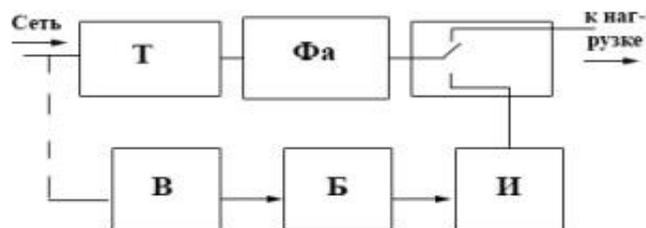


Рисунок 1 – Структурная схема источника пассивного типа

Недостатки пассивных источников:

- нестабильное функционирование от внешних сетей;
- недостаточная степень защиты при отклонениях характеристик;
- мало времени восстановления для заряда батареи;
- несинусоидальная форма выходного напряжения [11].

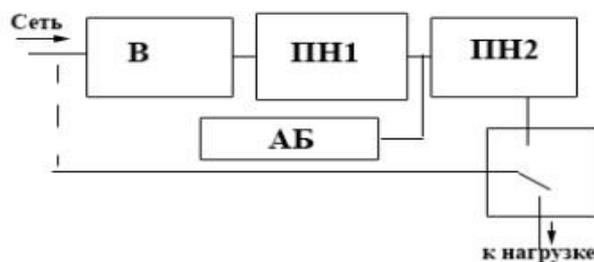
В линейно-интерактивных источниках (рис. 2) в цепь включен ступенчатый авторегулятор напряжения. Необходимо отметить, что данные источники активно используются в системах защиты компьютерных систем [8].



**Рисунок 2 – Структурная схема источника линейно-интерактивного типа:  
 Ф – трансформатор, Фа – фильтр автоматический, В – выпрямитель,  
 Б – батарея, И – инвертор**

Преимуществом источников является обширный диапазон допустимых входных напряжений.

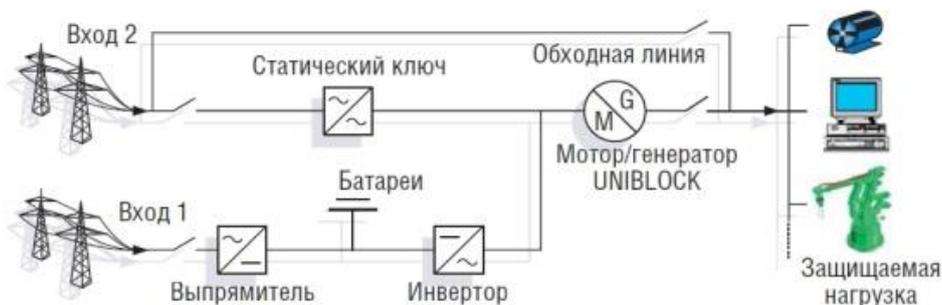
Технология онлайн-источников дает возможность реализовать наиболее надежный тип источника (рис. 3).



**Рисунок 3 – Схема источников онлайн типа**

Во многих источниках бесперебойного питания мощностью до 5 кВА вместе аккумуляторных батарей подключен резервный преобразователь напряжения постоянного тока. Недостатком источников является довольно низкий КПД (85-90%) ввиду двойного преобразования электрической энергии, а также существенная стоимость.

Весомыми преимуществами обладают динамические ИБП, чья структурная схема приведена на рис. 4.



**Рисунок 4 – Структурная схема ИБП Piller UB R**

Динамический ИБП PILLER UB R имеет следующие преимущества:

- обеспечивает нормальную работу при 100% перекосе фаз

нагрузки;

- осуществляется гальваническая развязка входа и выхода ИБП;
- выдерживает отклонение входного напряжения до уровня –20 % без перехода в автономный режим работы;
- возможно наращивание мощности ИБП посредством их параллельного включения;
- применяется резервируемое микропроцессорное управление всеми блоками системы;
- за счет применения динамического блока вместо статических силовых полупроводников срок службы ИБП составляет более 20 лет.

Итак, новые подходы реализации источников бесперебойного и автономного электроснабжения на предприятиях лесной промышленности базируются на активном применении систем с резервируемыми вводами источников, сбой в работе одного из которых не приводит к остановке функционирования всей системы. Зачастую это модульные системы, которые придерживаются принципов увеличения мощности нагрузки, надежности системы снабжения электрической энергией.

#### **Библиографический список**

1. Лундалин А.А., Пузина Е.Ю., Худоногов И.А. Направления развития релейной защиты и автоматики в Российских электрических сетях. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 2 (62). - С.77-85.
2. Пузина Е.Ю., Туйгунова А.Г., Худоногов И.А. Системы мониторинга силовых трансформаторов тяговых подстанций. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2020. 184 с.
3. Пузина Е.Ю., Перелыгин В.М. Усиление системы тягового электроснабжения участка Якурим-Звездная ВСЖД. Транспорт-2013: труды международной научно-практической конференции. 2013. - с. 176-178.
4. Абрамович Б.Н. Проблемы обеспечения энергетической безопасности предприятий лесной промышленности / Б.Н. Абрамович, Ю.А. Сычев // Записки Горного института. 2016. Т. 217. С. 306.
5. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Анализ времени наработки до отказа измерительных трансформаторов // Транспорт-2010. Ч. 2. 2010. С. 307-309.
6. Алексеенко В.А., Пузина Е.Ю. Анализ повреждений измерительных трансформаторов на тяговых подстанциях ВСЖД // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск. Т. 2. 2009. С. 4-9.
7. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Регрессионный анализ повреждаемости измерительных трансформаторов // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Иркутск, 2010. С. 421-423.

8. Федоров А.В. Применение источников бесперебойного питания в энергетических установках объектов в лесной промышленности / А.В. Федоров, С.В. Бабурин, А.Н. Махалин // Наука и техника в газовой промышленности. 2014. № 2. С. 174.
9. Быстрицкий Г.Ф. Установки автономного и резервного электроснабжения // Промышленная энергетика. 2018. № 2. С. 188.
10. Богатырев Н.И., Григораш О.В. Курзин Н.Н. и др. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчёта и проектирования. – Краснодар, 2019, с. 358.
11. Овсейчук В.А. Надежность и качество электроснабжения потребителей // Новости электротехники. 2013. № 3. С.44-47.

<sup>1</sup> Костылева Н.Л., обучающийся, гр. ЭУмз-20-1 ИРНТУ  
Экспертиза статьи выполнена 01.12.2022 г., протокол № 19

УДК 621.3

## **ВОПРОСЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ МОЩНОСТИ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МАЙНИНГА КРИПТОВАЛЮТ В КАТЕГОРИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ «НАСЕЛЕНИЕ И ПРИРАВНЕННЫЕ К НЕМУ ГРУППЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ»**

Корнилов В.Н.<sup>1</sup>, Федчишин В.В.<sup>2</sup>, Занкович А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*ФГБУН «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева» РАН,*

<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский  
технический университет»*

### **Введение**

В последние годы Иркутская область является привлекательной территорией для майнеров, занимающихся преобразованием электроэнергии в криптовалюту при помощи специального оборудования. Высокий интерес у майнеров вызывает – низкий тариф на электроэнергию, он в несколько раз ниже не только среднероссийского уровня, но и расценок в соседних регионах, а также холодный климат, что позволяет сократить затраты на охлаждение оборудования. В Иркутской области по группе «население и приравненные к нему группы потребителей» за 9 месяцев 2022 года увеличение потребления электроэнергии (без учета температурного фактора) составило: 13% относительно 2021 года, 31% относительно 2020 года и 35% относительно 2019 года. Тариф для населения на 2022 год (первое/второе полугодие) составлял: городское – 1,23/1,30 руб. кВт×ч, сельское – 0,861/0,91 руб. кВт×ч. Анализ динамики объемов потребленной электроэнергии населением свидетельствует о значительном увеличении объема потребления. Предположительно, это связано с увеличением количества

присоединённого оборудования для майнинга криптовалют и значительным увеличением объемов ввода индивидуального жилищного строительства с преимущественно электрическим отоплением.

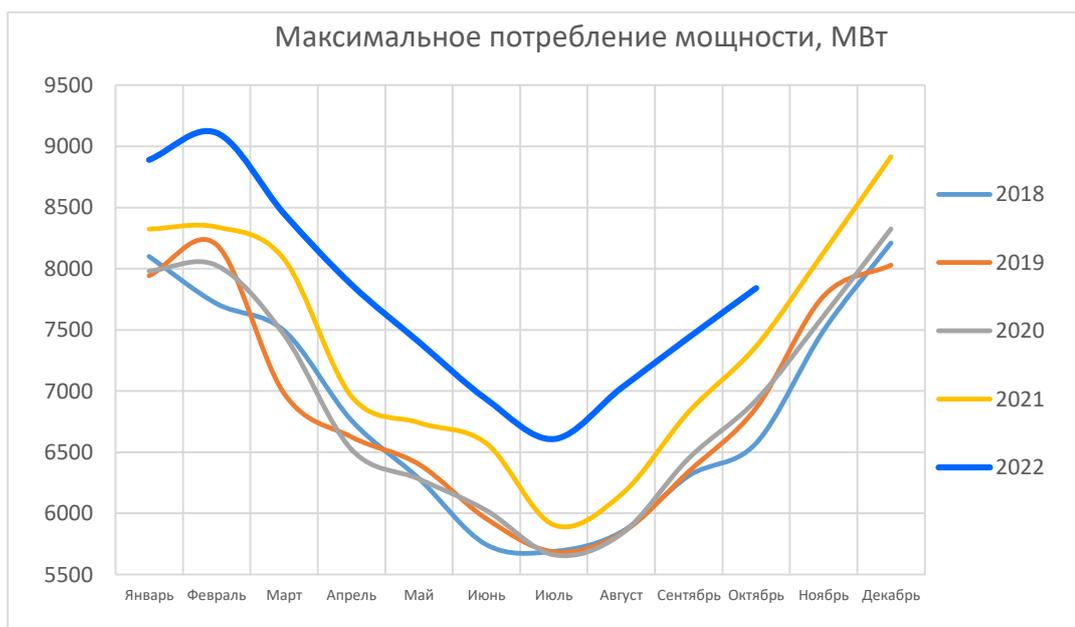
### Прогнозирование и анализ прироста потребления мощности

Долгосрочное прогнозирование – это первая стадия системных исследований и обоснования перспектив развития энергетики. Оно призвано очертить область допустимого и эффективного развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) страны, выявить возможные проблемные ситуации и узкие места в этом развитии, дать целевые ориентиры, базу и необходимую информацию для углубления и конкретизации исследований при разработке энергетической компании.

Долгосрочные прогнозы играют важную роль и в своевременной подготовке фундаментального научного задела в широкой области знаний, касающихся развития энергетики [1].

Всем известная, произошедшая в 2020 году вспышка эпидемии новой коронавирусной инфекции COVID-19, наложила свой отпечаток и на функционирование энергетики России. Для части населения пандемия послужила толчком мигрировать в сельские местности. Массовый прирост населения в сельской местности, в том числе, послужили причиной прироста потребления электроэнергии по Иркутской области, поэтому точкой отсчёта принимается 2020 год, в котором увеличение потребления электроэнергии населением имело среднестатистический характер.

Максимальное потребление мощности и статистические данные о потреблении, приросте мощности в энергосистеме Иркутской области отображены ниже (рис. 1, табл. 1).



**Рисунок 1 – Максимальное потребление мощности в энергосистеме Иркутской области**

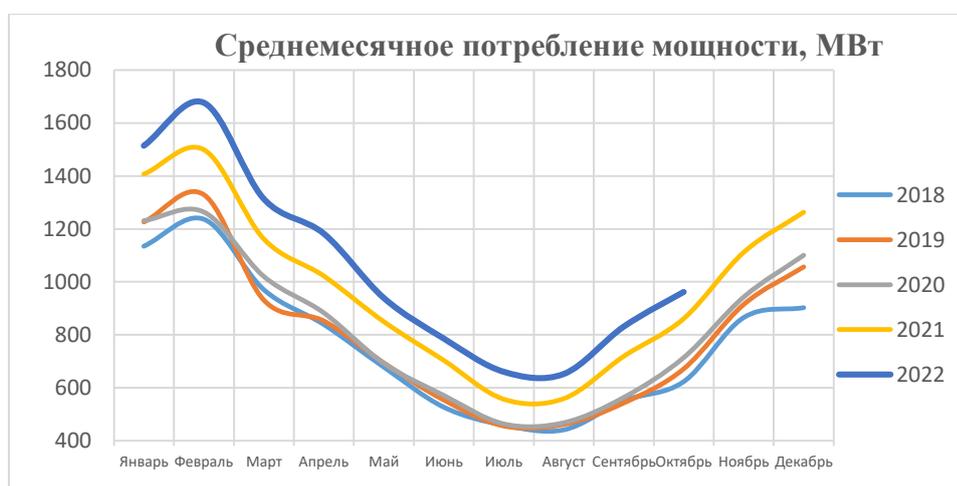
**Таблица 1**

**Статистические данные о потреблении и приросте мощности в энергосистеме Иркутской области**

Год	Зима		Лето	
	Потребление, МВт	Прирост, МВт	Потребление, МВт	Прирост, МВт
2018	8 210,5		5 845,4	
2019	8 196,2	-14,3	5 955,9	+110,5
2020	8 325,8	+129,6	6 023	+67,1
2021	8 915,9	+590,1	6 572	+549
2022	9 111	+195,1	7 023	+451

**Факторный анализ увеличения потребления электрической мощности в Иркутской области**

Зимний период характеризуется существенным ростом потребления электрической энергии. Ведь именно в это время население использует электрообогреватели (конвекторы, радиаторы и тепловые пушки), чаще и дольше использует освещение, поскольку световой день зимой короче, чем летом. Для отстройки от увеличения электропотребления населением, связанного с развитием индивидуального жилого строительства, и как следствие, увеличением потребления электрической энергии на отопление частных домохозяйств, динамика изменения в зимние месяцы не рассматривается, в расчёте учитываются только летние месяцы. Годовые изменения потребления приведены на рис. 2 и табл. 2.



**Рисунок 2 – Среднемесячное потребление мощности в категории «Население и приравненные к нему группы потребителей»**

**Таблица 2**

**Статистические данные о потреблении и приросте мощности  
в категории «Население и приравненные к нему группы  
потребителей»**

Год	Зима		Лето	
	Потребление, МВт	Прирост, МВт	Потребление, МВт	Прирост, МВт
2018	1 237		527	
2019	1 329	+92	554	+27
2020	1 264	-65	572	+18
2021	1 499	+235	704	+133
2022	1 676	+177	786	+82

Для мониторинга фактического потребления электрической мощности Филиале АО «СО ЕЭС» Иркутское РДУ используется специализированное программное обеспечение (далее – ПО) ИСП.

ИСП – иерархическая система прогнозирования, с помощью которой можно прогнозировать и анализировать электропотребление всей энергетической системы, в том числе, можно отследить прирост потребления мощности по отдельным категориям потребителей [2].

Внедрение ИСП позволило формализовать прогнозирование суточных графиков электропотребления путем системной обработки архивов значений электропотребления и коррекции прогнозов, сформированных на различных уровнях (РДУ, ОДУ, ЦДУ). В системе фактические значения потребления и метеофакторов, различные варианты прогнозов потребления, прогнозы метеофакторов, а также дополнительная информация (пометки и информационные сообщения, пределы допустимой коррекции и др.) Архив представляет собой единую распределенную базу данных, обеспечивающую хранение всей используемой информации [3].

Выполним сравнение максимумов потребления в июле, наиболее теплом месяце года, в котором расходы населением электроэнергии на отопление частных домовладений минимальны. В результате анализа полученных с помощью ПО «ИСП» данных видно, что 13 МВт прироста мощности приходится на собственные нужды электростанций, 316 МВт – различные производственные потребители, и 670 МВт – в условиях существующей рецессии экономики и влияния международных санкций, мощности предположительно используемые на территории Иркутской области для майнинга криптовалют (рис. 3).



**Рисунок 3 – Фактический прирост потребления электрической мощности за июль 2020 – 2022 г без разделения майнинга**

**Предлагаемый метод расчёта мощности, потребляемой устройствами для майнинга криптовалют в категории «Население и приравненные к ним»**

Число часов использования заявленной мощности (далее – ЧЧИ) – это условный показатель, показывающий время, которое должен проработать потребитель с нагрузкой, соответствующей заявленной мощности, чтобы использовать то количество электрической энергии, которое фактически заявил на расчётный период.

ЧЧИ определяется как производная от деления заявленного объёма потребления в расчетном периоде на величину максимальной мощности.

Потребление электрической энергии, а главное – мощности, в разные часы суток происходит неравномерно, имеются часы максимума и минимума потребления мощности.

Чем больше неравномерность в нагрузке в часовом разрезе суток, тем дороже производство электроэнергии – больше тратится топлива, снижается эффективность использования генерирующего оборудования, что повышает стоимость электрической энергии [4].

Достоверно известно, что нагрузка оборудования для майнинга криптовалют является неизменной в течение суток и также практически неизменна в течении месяца (не учитывая возможные остановки для профилактических осмотров и ремонтов, которыми в случае установки данного оборудования в частных домовладениях можно пренебречь). На основании вышесказанного и с учётом высокого числа часов использования установленной мощности оборудования для «майнинга», принимается расчёт-

ное допущение полного объема часов использования в соответствующем месяце.

Для того, чтобы вычислить «расчётную» мощность, предлагается месячный объем потребления электроэнергии в категории «Население и приравненные к ним» (млн. кВт×ч) разделить на максимальное ЧЧИ в соответствующем i-м месяце (720 часов в июне (30 дней по 24 часа) и 744 часов в июле и августе (31 день по 24 часа)), затем полученные значения разделить на 1000, получив значение «расчётной мощности» в мегаваттах (1). Данные вычисления необходимо произвести для n годов 2020-2022. Для определения же прироста «расчётной мощности» от года к году, необходимо найти разницу «расчётных мощностей» между соответствующими годами.

$$P_{\text{макс.потр}}^{\text{мес},i;\text{год},n} = \frac{W_{\text{Население}}^{\text{мес},i;\text{год},n}}{N_{\text{час}}^{\text{мес},i}} \times 1000, \text{ МВт} \quad (1)$$

$$\Delta P_{\text{мес},i}^{\text{макс.потр}(n;n-2)} = P_{\text{макс.потр}}^{\text{мес},i;\text{год},n} - P_{\text{макс.потр}}^{\text{мес},i;\text{год},n-2}, \text{ МВт} \quad (2)$$

Учитывая всё вышесказанное, сведём данные прироста «расчётной мощности» в каждом месяце, рассчитанные по формулам (1) и (2) в таблицу 3:

**Таблица 3**

**Статистические данные о приросте «расчётной» мощности**

$$\Delta P_{\text{мес},i}^{\text{макс.потр}(n)}$$

Год	июнь	июль	август	июнь	июль	август	июнь	июль	август	Средний прирост к 2020 г.
	Потребление населением			720	744	744	Прирост к 2020 г.			
	млн. кВт×ч			МВт			МВт			
2020	411,6	345,3	348,5	571,7	464,2	468,4	0	0	0	0
2021	507,2	414,8	416,5	704,4	557,6	559,8	133	93	91	106
2022	566,2	491,6	485,4	786,4	660,8	652,4	215	<b>197</b>	184	198

Таким образом, результаты расчёта, представленные в таблице 3, показывают, что расчётная величина потребляемой мощности устройствами для майнинга криптовалют в категории «Население и приравненные к ним» на территории Иркутской области в период 2020-2022 г.г. составляет величину 197 МВт, круговая диаграмма приведена на рис. 4.



**Рисунок 4 – Фактический прирост потребления электрической мощности за июль 2020 – 2022 г.г. с разделением майнинга**

### **Выводы**

1. Количество и состав имеющейся в настоящий момент информации недостаточно для «прямого» определения величины потребления электрической мощности используемой на территории Иркутской области для майнинга криптовалют в категории «Население и приравненные к ним категории потребителей».

2. С учётом определённых аналитических допущений возможно определить с высокой долей вероятности величину мощности, потребляемой устройствами для майнинга криптовалют в категории «Население и приравненные к ним категории потребителей», с использованием подхода, описанного в настоящей статье.

3. Результаты выполненного статистического анализа и вычислений согласно описанного подхода показывают, что прирост величины потребляемой мощности устройствами для майнинга криптовалют в категории «Население и приравненные к ним» на территории Иркутской области в период 2020-2022 г.г. составляет величину 197 МВт. При этом общая величина потребляемой мощности для майнинга криптовалют на территории Иркутской области составляет 670 МВт, из них, предположительно, юридическими лицами 473 МВт и населением 197 МВт.

### **Библиографический список**

1. Кононов Ю.Д. Пути повышения обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК. – Новосибирск. 2015. – 147 с.
2. Макоклюев Б.И. Анализ и планирование электропотребления. – Москва: Энергоатомиздат, 2008. – 296 с.

3. Полижаров А.С., Антонов А.В., Макоклюев Б.И., Алла Э.А., Басов А.А., Зеленохат О.Н. Автоматизированная система прогнозирования электропотребления СО ЕЭС России // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы. № 64. – 2014 г. – с. 484-492.

4. Число часов использования установленной мощности. [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.hydrmuseum.ru/ru/encyclopedia/glossary/chislo-chasov-ispolzovaniya-ustanovlennoi-moshchnosti.html/\(22.11.2022\)](http://www.hydrmuseum.ru/ru/encyclopedia/glossary/chislo-chasov-ispolzovaniya-ustanovlennoi-moshchnosti.html/(22.11.2022)).

<sup>1</sup> Корнилов В.Н., аспирант ФГБУН «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева РАН»;

<sup>2</sup> Федчишин В.В., доцент каф. Электрических станций, сетей и систем, к.т.н., ИрННТУ;

<sup>2</sup> Занкович А.А., обучающаяся, гр. ЭПб-19-1, ИрННТУ

Экспертиза статьи выполнена 19.12.2022 г., протокол № 25

УДК 628.51

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ЧЕЛОВЕКА В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

Павлычева Ю. М.<sup>1</sup>, Свеженцева О. В.<sup>2</sup>, Умнова М. О.<sup>3</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Мощным техногенным источником электромагнитных излучений является железная дорога. Вдоль железнодорожных путей формируются сложные нестационарные электромагнитные поля, электрическая и магнитная составляющие которых во многих местах превышают допустимые уровни. На величину напряженности электромагнитных полей оказывают влияние различные дистанционные механические и управляющие системы, сотовая связь, радиопередатчики, компьютерная техника.

Актуальной является задача изучения вредных и опасных воздействий электромагнитного поля на человека.

К группе особо опасных источников полей по степени их влияния на человеческий организм относятся:

- тяговая сеть переменного тока;
- электроустановки тяговых подстанций и локомотивных депо;
- тяговые двигатели и преобразовательные установки локомотивов, электроустановки поездов, системы электроотопления вагонов;
- воздушные линии высокого и сверхвысокого напряжения при пересечении их с железнодорожным полотном [1].

Системы тягового электроснабжения высокого напряжения являются наиболее опасными, с точки зрения электромагнитного влияния на персонал.

Согласно исследованиям [2] теоретический анализ параметров электромагнитного поля показывает:

- напряженности электрического поля на высоте 5,75 м превышают нормируемые значения как на однопутном (13,46 кВ/м) участке, так и на двухпутном (11,65 кВ/м);
- напряженности магнитного поля (176 А/м – однопутный участок, 160 А/м – двухпутный участок) превышают нормируемые значения;
- в пространстве на расстоянии до 2 м от оси пути напряженность выше нормируемых значений [3].

Согласно данным исследования [4] установлено, что в локомотивах наибольшее проявление имеют магнитные поля, достигающие от 3,4 мкТл (переменный ток) до 5–7 мкТл (постоянный ток). Эти данные получены при измерениях в пределах высоковольтной камеры, трансформатора и преобразователей.

Для рельсовой сети приведены следующие нормативные значения магнитной индукции [5].

1. Рельсы, эксплуатирующиеся в пути. Значение магнитной индукции во время эксплуатации должно составлять не более 1,0 мТл. После размагничивания данный показатель должен быть не более 0,7 мТл.

2. Рельсовые элементы. Значение магнитной индукции во время эксплуатации должно составлять не более 7,0 мТл. После размагничивания данный показатель должен быть не более 4,9 мТл.

3. Изолирующие стыки. Значение магнитной индукции во время эксплуатации должно составлять не более 10,0 мТл. После размагничивания данный показатель должен быть не более 7,0 мТл.

Нормативное значение магнитной индукции для человека составляет 0,2 мкТл. Сопоставляя нормативное значение магнитной индукции для человека и нормативные значения магнитной индукции для технических объектов железной дороги видно, что превышение нормы идет даже не в несколько раз, а в несколько сотен раз.

Электромагнитные излучения серьезно нарушает работу организма и первой страдает нервная система. Человек становится раздражительным, бывают случаи неадекватного реагирования на ситуации. Люди, работающие в условиях чрезмерного электромагнитного излучения, жалуются на головные боли, общую слабость, боли в сердце и вскоре чувствуют усталость. У них усиливается потоотделение, повышается раздражительность, они становятся тревожными во время сна. У лиц, попадающих под длительное воздействие полей, наблюдается потеря памяти, регистрируются тропические явления (выпадение волос, ломкость ногтей).

Любые электромагнитные волны и излучения будут негативно влиять на людей, которые по состоянию здоровья имеют электрокардиостимулятор (прибор, имплантированный в сердце для его постоянного стиму-

лирования). Внешние воздействия могут вывести из строя электрокардиостимулятор, что может привести к гибели человека. Выявлена статистическая привлекательность случаев лейкемии, рака головного мозга и рака молочной железы.

Хроническое воздействие электромагнитных полей высокой частоты в сердечно-сосудистой системе вызывает изменения: снижение артериального давления, брадикардию, снижение внутрижелудочковой проводимости, дисбаланс содержания ионов калия, кальция и натрия в крови. Ишемическая болезнь сердца у машинистов электропоездов начинается в 20-29 лет и встречается в 2 раза чаще, чем у машинистов пригородных электропоездов. Среди работников железнодорожного транспорта частота профессиональной нейросенсорной тугоухости составляет 30 %, второе место занимает вибрационная болезнь. Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний выше, причем в более молодом возрасте. Согласно опросу работников тяговых подстанций, водители и их помощники чаще страдают гипотрофией и сердечными заболеваниями» [1].

Во время регулярных медицинских осмотров должна быть расширенная диагностика здоровья локомотивной бригады. Помимо общепринятых методов клинического обследования, необходимо учитывать степень психологической подготовленности, определяемую с помощью тестов многостороннего исследования личности, а также уровень физической работоспособности.

Основная мера защиты от электромагнитных излучений – предупредительная: необходимо исключить продолжительное пребывание в местах повышенного уровня магнитного поля промышленной частоты. Если облучение людей превышает указанный максимально допустимый уровень, необходимо использовать способы и средства защиты, а именно:

- уменьшение прямого излучения от самого источника,
- защита от источников излучения,
- защита рабочего места,
- поглощение электромагнитной энергии,
- использование средств индивидуальной защиты, организаци-

онные меры защиты.

Электромагнитное загрязнение в зоне действия железных дорог является одним из факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье человека. Это обстоятельство требует обеспечения безопасности людей, подвергнутых действию электромагнитных полей.

### **Библиографический список**

1. Баранский П.И., Гайдар А.В., Чижевский А.Л. и проблемы взаимодействия магнитных полей с объектами живой природы // Вестн. Калуж. ун-та. № 3. 2017. С.37-41.

2. Ширшов А.Б. Средства защиты от вредного и опасного воздействия электромагнитных полей тяговой сети. Диссертация на соиск. ученой степени к.т.н. Екатеринбург, 2006.
3. Васильева Л.К., Горский А.Н. Электротехнические аспекты влияния низкочастотных электромагнитных полей на человека // Вестн. МАНЭБ. № 4(28). 2015. С.31-35.
4. Закиев Е.Э. Опасные электромагнитные поля на подвижном составе и в локомотивных депо электрофицированных железных дорог. Диссертация на соиск. ученой степени к.т.н. Москва, 2007.
5. Распоряжение от 9 января 2013г. №50 «О введении в действие инструкции по определению мест со сверхнормативной намагниченностью рельсов в пути и на рельсосварочных мероприятиях и технологии обеспечения нормативного значения намагниченности рельсов, изолирующих стыков и рельсовых элементов стрелочных переводов.

<sup>1</sup> Павлычева Ю.М., обучающийся, гр. БЖТбз-19-1

<sup>2</sup> Свеженцева О.В., доцент каф. ЭиЭ

<sup>3</sup> Умнова М.О., доцент каф. ЭиЭ

Экспертиза статьи выполнена 21.12.2022 г., протокол № 26

УДК 621.331

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТИ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ МАРКОВСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

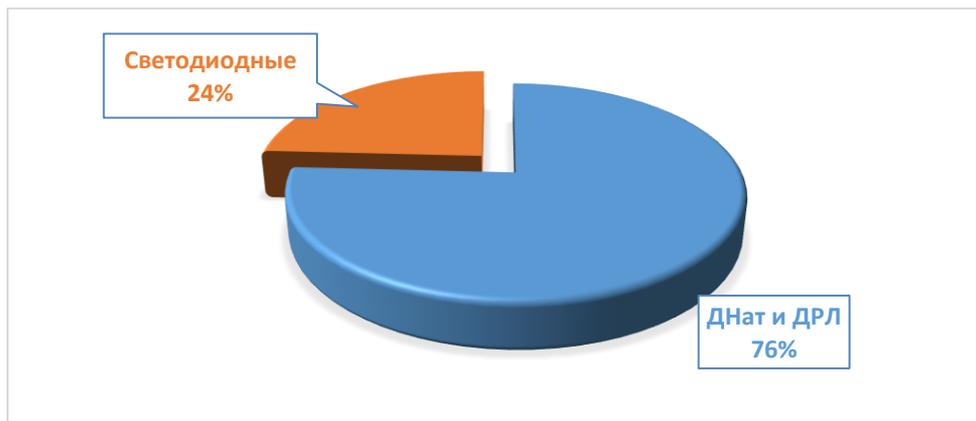
Кауров А.А.<sup>1</sup>, Пузина Е.Ю.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

<sup>2</sup>*Иркутский государственный университет путей сообщения*

В настоящее время состояние наружного освещения Марковского муниципального образования требует значительного усовершенствования, так как техническое и моральное старение оборудования значительно опережают темпы объемов его реконструкции и модернизации.

Общая протяженность сетей наружного освещения в Марковском муниципальном образовании составляет 20,234 км проводников и 337 фонарей, из них 6,45 км сетей проводников и 108 фонарей - новые, построенные с использованием новых светодиодных светильников в рамках реализации муниципальных программ за последние 5 лет (рис. 1).



**Рисунок 1 – Соотношение устаревших световых приборов ДНат и ДРЛ и современных светодиодных**

Уровень освещенности по улицам, дорогам, проездам и переулкам исследуемого образования в значительной степени не соответствует нормативным показателям, предусмотренными государственными стандартами и правилами.

Существующая система наружного освещения муниципального образования выполнена, в большей своей части, на существующих линиях электроснабжения региональных электросетевых компаний ВЛ 0,4-10 кВ. Подключение освещения осуществляется либо непосредственно от распределительных сетей электроснабжения, либо выполнено самостоятельной сетью с применением неизолированных проводов марки АС и в отдельных случаях самонесущим изолированным проводом СИП соответствующего сечения, которая питается от существующих трансформаторных подстанций (рис. 2).



**Рисунок 2 – Типовое размещение щита управления наружным освещением**

Оценка состояния сети наружного освещения на территории Марковского муниципального образования выполнена по следующим критериям:

1. Техническое состояние провода (разрывы, распушения, нарушение изоляции, коррозия, механические повреждения и т.д.).
2. Техническое состояние крепежной арматуры (коррозия, износ конструкции при регулярном обслуживании).
3. Техническое состояние осветительного прибора (коррозия корпусов светильника, износ и загрязнение защитного остекления).
4. Наличие вышедших из строя осветительных приборов на линии.

В результате обследования оставшихся 13,784 км сети освещения и 229 фонарей состояние сети наружного освещения оценено, как неудовлетворительное, по следующим причинам:

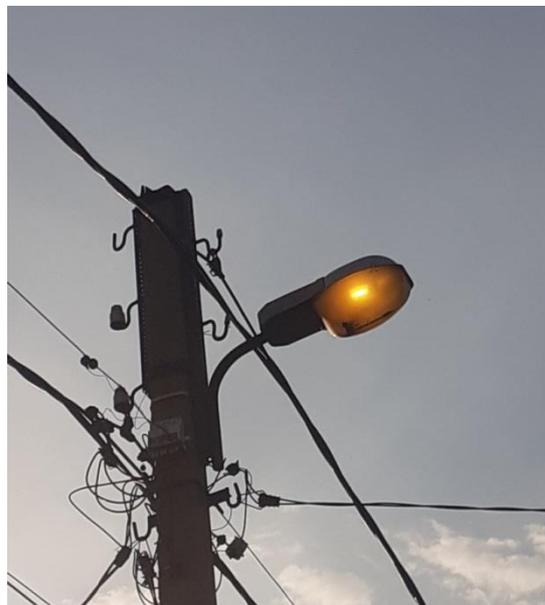
1. Установлено, что 15 % (34 шт.) осветительных приборов выведено из строя и ряд из них имеют загрязнение защитного остекления (рис. 3).
2. Выявлены участки нарушения изоляции.
3. Обнаружена коррозия, как крепежных конструкций, так и непосредственно корпусов осветительных приборов.

Исходя из фактического состояния светильников, необходимо провести замену вышедших из строя фонарей, в плановом порядке осуществить реконструкцию сетей освещения, срок эксплуатации которых превышен, и оптические системы не отвечают современным требованиям.

а)



б)



**Рисунок 3 – Осветительные приборы, вышедшие из строя (а) и с загрязнением осветительной поверхности (б)**

Для повышения показателей энергетической эффективности [1-2], экономии энергетических ресурсов на территории муниципального образования Марково предложены следующие мероприятия:

1. Замена устаревших осветительных приборов типа ДНаТ и ДРЛ на светодиодные фонари.

Отметим преимущества светодиодных ламп:

- срок службы светодиодных фонарей значительно превышает существующие аналоги. Средний срок непрерывной работы светодиодного светильника не менее 87600 часов, что эквивалентно 20 годам эксплуатации, при 12-ти часовой работе в день, в то время, как средний срок службы лампы ДНаТ 15000 часов;
- потребление электроэнергии снижается примерно на 60% по сравнению с газоразрядными лампами;
- экологическая безопасность, не требуется специальная утилизация вредных веществ;
- экономия средств на обслуживании оборудования, за счет которой ускоряются сроки реконструкции сетей;
- показатель использования светового потока равен 100% в отличие от 70% газоразрядных ламп;
- отсутствует опасность перегрузки электросетей в момент включения фонарей за счет меньшего потребления тока и минимальных пусковых токов;
- мгновенное зажигание при подаче питающего напряжения и стабильная работоспособность при любой температуре.

Наглядное сравнение характеристик светодиодного прибора и газоразрядного фонаря приведено в табл. 1.

*Таблица 1*

**Технические характеристики осветительных установок**

Характеристики	Светильник ДНаТ ЖКУ 16-250-001	Светодиодный светильник уличного освещения РС-251-003
Напряжение питания	220 В +10%	176-264 В
Частота	50 Гц	50/60 Гц
Цвет освещения	Желтый	Белый
Потребляемая мощность	250 Вт	Не более 120 Вт
Степень защиты	IP54	IP67
Средний срок службы	Лампа 15000 ч, Светильник 3 года	87600 ч
Потребляемый ток	2,0-2,2 А	0,6-1,0 А
Пусковой ток	4,5 А	-

2. Организация своевременного выполнения работ по обслуживанию сетей уличного наружного освещения в соответствии с графиком по соответствующим видам работ:

- проверка состояния провода и осветительного оборудования на натяжение, нарушение изоляции;
- проверка напряжения на основных участках сети;
- измерение электрического сопротивления изоляции силовых кабелей;
- своевременная очистка осветительных приборов от загрязнений.

3. Применение современных систем автоматического управления наружного освещения (АСУНО) (рис. 4).



**Рисунок 4 – Щит управления, подключенный к АСУНО**

При внедрении АСУНО:

- осуществляется сбор со счетчика параметров трехфазных электрических сетей с целью определения возможных проблем и их незамедлительного устранения;
- выполняется управление внешними независимыми пускателями, либо контакторами, как в интерактивном, так и в автономном режиме;
- имеется возможность диагностировать различные типы аварий на объекте [3] и сообщать о них диспетчеру с помощью отправки сообщений на программное обеспечение и мобильные телефоны с помощью датчиков освещенности, открывания двери, пожарной безопасности.

Таким образом, реализация предложенных мероприятий приведет к существенному повышению энергетической эффективности [4-5] сети наружного освещения Марковского муниципального образования.

### **Библиографический список**

1. Суслов К.В., Потапов В.В., Опарина Т.А. Энергоаудит: задачи, методология, преимущества. Байкальская наука: идеи, инновации, инвестиции. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 14-19.

2. Воинова Д.В., Пузина Е.Ю. Повышение эффективности функционирования энергетических объектов муниципальной инфраструктуры. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С.170-175.
3. Khudonogov I. A., Puzina E. Y., A. G. Tuigunova. Modeling Turn Insulation Thermal Aging Process for Traction Substation Transformer. Proceeding - 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020. 2020, С. 9112021.
4. Киршина И.А. Ситуационно-стратегическое планирование потребления природного газа на промышленном предприятии. Актуальные вопросы экономических наук и современного менеджмента. Сборник статей по материалам LVIII-LIX международной научно-практической конференции. Новосибирск, 2022. С.135-141.
5. Захарова М.Ю., Пузина Е.Ю. Особенности проведения энергетического обследования нефтебазовых комплексов. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2014. С.235-240.

<sup>1</sup> Кауров А.А., обучающийся, гр. ЭУмз-20-1 ИРНТУ

<sup>1,2</sup> Пузина Е.Ю., доцент каф. Электроснабжения и электротехники ИРНТУ, доцент каф. Электроэнергетика транспорта ИРГУПС

Экспертиза статьи выполнена 29.11.2022 г., протокол № 18

УДК 621.311

## **ДИАГНОСТИКА КАБЕЛЕЙ СО СШИТОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ**

Иванов М.В.<sup>1</sup>, Чумаков В.Г.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

### **Диагностика кабелей со изоляцией из сшитого полиэтилена**

Полиэтилен – очень распространенный в промышленности и быту полимер, получаемый методом полимеризации этилена. С обычным полиэтиленом ассоциируется множество предметов обихода. Популярность полиэтилену придали его дешевизна и выдающиеся химические и физические свойства. Он недорог в производстве, нетоксичен, физиологически инертен, легко обрабатывается, водонепроницаем, имеет высокую химическую стойкость, практически не корродирует, обладает приемлемой механической и отличной диэлектрической прочностью и т. д. Сшивка полиэтилена – это процесс связки звеньев его молекул в широкоячеистую трехмерную сетку, путем образования поперечных связей.

Радиационная сшивка – облучение этилена потоком высокоэнерге-

тических заряженных частиц. Пероксидная сшивка происходит при помощи пероксидов в среде нейтрального газа при температуре 300 – 400 °С и давлении 20 атм. Она применяется при производстве кабелей среднего и высокого напряжений. Силовая сшивка происходит путем добавления в полиэтилен специальных смесей для обеспечения сшивки при более низкой температуре. Сектор применения этой технологии – кабели низкого и среднего напряжений.

Сшитый полиэтилен идеально подходит для изоляции высоковольтных кабелей. По современной технологии процесс вулканизации (сшивки) полиэтиленовой изоляции производится химическим способом в среде нейтрального газа при давлении 800–900 кПа и температуре 285–400 °С. В результате химической реакции изменяется молекулярная структура полиэтилена и образуются новые межмолекулярные связи, что приводит к изменению электрических и механических свойств вещества.

#### **Кабели с изоляцией из СПЭ на низкое напряжение (до 1 кВ)**

Данные кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках электросетей на номинальное напряжение до 1 кВ номинальной частотой 50 Гц в сетях с изолированной или заземленной нейтралью. Климатическое исполнение В, категория размещения 5 по ГОСТ 15150-69, включая прокладку в земле.

#### **Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на среднее напряжение 6, 10, 20, 35 кВ ТУ 16.К71-335-2004, ТУ 16.К71-359-2005**

Область применения: предназначены для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках на номинальное напряжение 10, 20, 35 кВ номинальной частотой 50 Гц для сетей с заземленной и изолированной нейтралью; по конструктивному исполнению, техническим характеристикам и эксплуатационным свойствам соответствуют международному стандарту МЭК 60502-2, гармонизированным документам HD 620 S1, HD 605 S2; климатическое исполнение УХЛ, категории размещения 1 и 2 по ГОСТ 15150-69, включая прокладку в воде и земле

#### **Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на высокое напряжение**

Область применения: предназначены для передачи и распределения электрической энергии в трехфазных сетях на номинальное переменное напряжение 64/110 кВ номинальной частотой 50 Гц; по конструктивному исполнению, техническим характеристикам и эксплуатационным свойствам соответствуют международному стандарту МЭК 60840; климатическое исполнение УХЛ, категории размещения 1 и 2 по ГОСТ 15150-69.

### **Преимущества кабелей с изоляцией из СПЭ перед ПВХ изоляцией**

Можно выделить следующие преимущества:

- высокая надежность в эксплуатации;
- меньшие расходы на реконструкцию и содержание кабельных линий;
- большая пропускная способность за счет увеличения допустимой температуры нагрева жил (длительной (90 вместо 70 °С) и при перегрузке (130 вместо 80 °С);
- более высокий ток термической устойчивости при коротком замыкании (250 вместо 160 °С);
- низкое влагопоглощение;
- большая стойкость к растрескиванию и химическому воздействию.

### **Испытание кабелей с изоляцией из СПЭ напряжением 110-500 кВ повышенным переменным напряжением**

Испытания осуществляются в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60840-2011, ГОСТ Р МЭК 62067-2011. Испытания повышенным напряжением частотой 20-300 Гц проводятся при наличии резонансной высоковольтной испытательной установки. Продолжительность приложения испытательного напряжения - 60 мин.

### **Диагностирование кабелей при постоянном напряжении**

Традиционные методы испытаний повышенным постоянным напряжением для СПЭ-кабелей, практически бесполезны. Более того, проведены обширные исследования, доказывающие, что испытания постоянным напряжением не только не позволяют сделать адекватное заключение о состоянии кабеля, но и значительно ослабляют изоляцию. Доказано, что испытания высоким постоянным напряжением уменьшают срок эксплуатации кабелей и значительно увеличивают рост водных триингов. Для испытаний изоляции СПЭ кабелей используются СНЧ-системы, формирующие на выходе напряжение сверхнизкой частоты (0,01–0,1 Гц). Изменение полярности испытательного напряжения позволяет избежать возникновения основной причины появления древовидных пробоев – остаточных разрядов оболочки.

### **Испытание кабельных линий со сшитой изоляцией переменным напряжением сверхнизкой частоты**

Для испытаний изоляции СПЭ кабелей используются СНЧ-установки, формирующие на выходе напряжение сверхнизкой частоты (0,1 Гц). Изменение полярности испытательного напряжения позволяет избежать возникновения остаточных зарядов оболочки – основной причины древовидных пробоев.

Метод испытания напряжением СНЧ был введен в практику в 1986 году. Основной причиной этого явилась необходимость разработки новых

методов испытаний для кабелей с полимерной изоляцией и огромное количество проблем, связанных с эффектами водных триингов (водный триинг или дендрит — образование разветвлённой микроструктуры в виде объёмной сетки или микрокустов в теле диэлектрика) в кабелях с изоляцией из сшитого полиэтилена. Целый ряд исследователей продемонстрировали, что традиционно использовавшийся метод испытания постоянным напряжением применительно к кабелям с полимерной изоляцией приводит к образованию в полимерном материале объёмных зарядов. Подобные объёмные заряды могут сохраняться внутри аморфных областей полимерного материала до 24 часов. Если на кабель будет возобновлена подача энергии до того, как все объёмные заряды исчезнут, то возникнет локальное перенапряжение, которое может привести к электрическому триингу, и в результате вскоре после ввода кабеля в эксплуатацию произойдёт его пробой.

Преимущества метода испытаний напряжением сверхнизкой частоты подтверждены многочисленными исследованиями и практическими испытаниями в полевых условиях. Главным из этих преимуществ является более высокая эффективность испытаний при более низком уровне испытательного напряжения, которое по величине не превышает более чем в 3 раза номинальное напряжение кабеля. Способ приложения испытательного напряжения и его уровень приводят к гарантированному пробою лишь при наличии больших дефектов в изоляции КЛ (вследствие высокой скорости увеличения канала пробоя) и не допускают развития повреждений в более мелких дефектах изоляции КЛ при их испытаниях.

За последние два десятилетия метод испытания напряжением СНЧ доказал свою эффективность при проведении приёмо-сдаточных испытаний вновь проложенных кабелей, а также при выполнении технического обслуживания состарившихся кабелей с целью устранения мест, имеющих критически опасное состояние.

Метод испытаний напряжением СНЧ получил признание со стороны зарубежных организаций технического нормирования, закреплён в европейских стандартах (HD 620 S1, VDE 0276-620, VDE 0276-621) и рекомендован для широкого применения.

В нормативных документах России испытания КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением сверхнизкой частоты не были заложены. И только в мае 2017 году вышла новая редакция «Объёмы и нормы испытания электрооборудования», в которых даются рекомендации по испытанию СПЭ - кабелей напряжением сверхнизкой частоты 0,1 Гц.

### **Неразрушающие методы диагностики СПЭ - кабелей**

Для повышения надёжности электроснабжения потребителей и снижения числа КЛ, необоснованно выводимых в ремонт при профилактических испытаниях повышенным выпрямленным напряжением, более

предпочтительным является применение неразрушающих методов испытаний и диагностики силовых КЛ в условиях эксплуатации. Неразрушающие методы диагностики, основанные на периодическом измерении наиболее информативных характеристик изоляции, позволяют не только получать информацию о текущем состоянии изоляции кабелей, не травмируя ее, но и могут быть использованы для прогнозирования остаточного срока службы длительно эксплуатирующихся кабелей. На основе этой информации может быть скорректирован план профилактических испытаний КЛ и выработана стратегия по замене кабелей с опасными дефектами или с выработанным ресурсом изоляции.

В последние годы ведутся интенсивные исследования с целью разработки и внедрения неразрушающих методов испытаний и диагностики силовых кабелей в условиях эксплуатации. Наибольшие успехи в этом направлении достигнуты в Германии, США, Японии.

К настоящему времени на основе применения современных технологий были созданы достаточно компактные диагностические системы и приборы для неразрушающей диагностики силовых КЛ в условиях эксплуатации, которые могут использоваться либо как отдельные переносные системы, либо могут быть встроены в передвижные кабельно-измерительные лаборатории.

Из разработанных методов можно выделить следующие неразрушающие методы диагностики силовых КЛ, которые широко используются в России:

- метод измерения характеристик частичных разрядов;
- метод измерения диэлектрических характеристик изоляции.

При проведении диагностики КЛ методом измерения характеристик ЧР существует два основных подхода: диагностика КЛ под рабочим напряжением и диагностика КЛ, отключенной от питающей сети.

Диагностика под рабочим напряжением может осуществляться как дистанционно (например, с использованием ультразвуковых локаторов), так и с помощью датчиков, непосредственно подключенных к диагностируемой линии (между оболочкой кабеля и землей). Однако этот метод имеет ряд недостатков, такие как сложность фильтрации ЧР от другого работающего оборудования и невозможность фиксации ЧР, возникающих между фазами трехжильных кабелей в общей оболочке. При измерении характеристик ЧР в кабельной линии, отключенной с двух сторон, измерительная схема электрически не связана с внешней сетью, что значительно уменьшает уровень помех.

Диагностика с использованием измерения тангенса угла диэлектрических потерь предоставляет информацию относительно характеристик старения кабелей с СПЭ изоляцией, позволяет выявить как распределенные, так и сосредоточенные дефекты.

Измерения  $\text{tg}\delta$  дают комплексную оценку состояния изоляции КЛ,

без локализации дефекта. При появлении в изоляции КЛ местного дефекта, величина  $\text{tg}\delta$  может измениться незначительно (на  $0,1\div 0,2\%$ ) даже при увеличении  $\text{tg}\delta$  местного дефекта до 100% и более, однако появится зависимость данной величины от напряжения. В связи с этим необходимо выполнять измерения  $\text{tg}\delta$  изоляции КЛ под рабочим напряжением. Полученные значения сравниваются с заводскими данными и первыми измерениями под рабочим напряжением после включения кабельной линии в эксплуатацию.

При увеличении значения  $\text{tg}\delta$  на 0,2% и более необходимо измерить  $\text{tg}\delta$  на низком напряжении промышленной частоты (испытательным напряжением 4 кВ).

Отсутствие разницы в измеренных значениях  $\text{tg}\delta$  укажет на распределённый дефект, например, увлажнение или изменение характеристик изоляции кабеля. Наличие разницы в измеренных значениях  $\text{tg}\delta$  укажет на местный дефект, что потребует определения места дефекта и ремонта кабельной линии в сроки не более 1-го месяца.

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена эксплуатируются в России уже более 20 лет, но до сих пор отсутствует национальная нормативная база, в которой должны были бы найти отражение критерии оценки «опасности» возникновения ЧР (максимальная интенсивность, порог загорания и гашения ЧР, значение максимального напряжения при проведении диагностики и т.д.), а также даны рекомендации по срокам повторной диагностики, выводу в ремонт и дальнейшей эксплуатации и обслуживанию КЛ. Отсутствие нормативных документов в РФ затрудняет вынесение решения о возможности эксплуатации КЛ, а для эксплуатирующей организации это очень важно.

При проведении приемо-сдаточных испытаний в настоящее время рекомендуется применять комплексную диагностику. Комплексный подход помогает выявить даже незначительные нарушения в технологии и качестве выполненных работ, что, в свою очередь, повышает надежность сетей электроснабжения.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ Р 55191-2012 (МЭК 60270:2000) Методы испытаний высоким напряжением.
2. Чумаков Г.И. «Методы и средства неразрушающего контроля изоляции электроустановок»: атлас». – Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2018. – 140 с.
3. Андреев, А. М. «Методы испытаний диэлектриков. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки магистров „Техническая физика“». Изд-во Политехнического ун-та, 2013. ISBN 978-5-7422-4204-8.
4. Вдовико, В. П. «Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования». — М.: «Наука», 2007. — С. 156. — ISBN 978-5-02-

023210-5.

5. Голенко О.В. Исследование сигналов частичных разрядов в силовом трансформаторном оборудовании и разработка метода локации их источников: дис. . канд. техн. наук: 05.14.12. Новосиб. гос. техн. ун-т, Новосибирск, 2003.- 109с.

<sup>1</sup> Иванов М.В., обучающийся, гр УЭСм-21-1

<sup>2</sup> Чумаков В.Г., ведущий инженер каф. ЭССиС

Экспертиза статьи выполнена 26.12.2022 г., протокол № 27

УДК 621.311

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

Харитонов С.Д.<sup>1</sup>, Чумаков В.Г.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

### Индукционный метод

При повреждении с переходным сопротивлением равным нулю «0» (глухой ноль) – применяется индукционный метод (рисунок 1). В случае неуспешного применения индукционного метода, следует произвести разрушение спая фаза - оболочка путем подачи импульсов от генератора высоковольтных импульсов ГВИ и двух других здоровых фаз. Если в результате подачи импульсов удалось разрушить глухой спай, то для ОМП следует применить акустический метод.

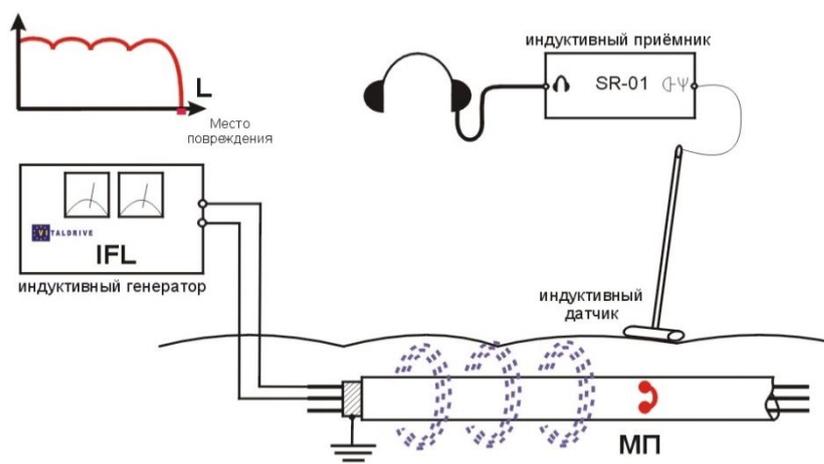


Рисунок 1 – Индукционный метод ОМП

Индукционный метод определения места повреждения основан на принципе улавливания магнитного поля над кабелем, по которому пропускается ток от генератора звуковой частоты. Частота тока от 1000 до 10000 Гц. Метод обеспечивает высокую точность определения места повреждения и имеет широкое распространение.

## Импульсный метод

Данный метод позволяет установить дефектную зону повреждения (как правило, межфазное КЗ). Принцип работы заключается в подаче специальным прибором эталонного высоковольтного импульса в КЛ и последующим определением удаленности аварийного участка по отраженному сигналу импульсных токов.

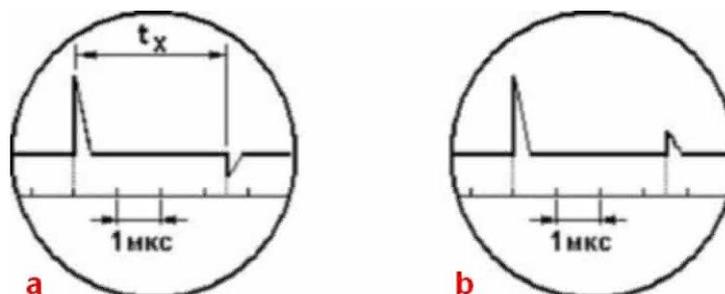


Рисунок 2 – Экран прибора ИКЛ с отображением отраженного импульса в случае замыкания (а) и обрыва (б) кабеля

В приведенном на рисунке 2 примере расстояние до дефектного участка определяется следующим образом:

$t_x$  – интервал времени между посланным и отраженным электрическим сигналом, измеряется в микросекундах. Как видно из рисунка, он равен 3,5 мкс. Учитывая, что скорость распространения импульса ( $v$ ) примерно равна 160,0 м/мкс, то для решения необходимо применить следующую формулу:  $l_x = (t_x * v) / 2$ , где  $l_x$  – расстояние от генератора импульсов до поврежденного участка кабеля. В результате мы получим  $(3.5 * 160) / 2$ , то есть, 280,0 метров.

## Акустический метод

Технология основана на формировании в дефектном участке искровых разрядов, сопровождающихся звуковыми импульсами. Зафиксировать их можно используя обычный стетоскоп, прикладывая акустическую головку к земле, либо применяя специальный акустический приемник. Над дефектным участком разряды звуковых частот будут максимально громкими.

С помощью испытательной установки постоянного тока (рисунок 3) в поврежденной жиле поднимается напряжение (не более  $5U_{ном}$ , где  $U_{ном}$  – рабочее напряжение кабеля). Как только в месте повреждения происходит пробой, определяют расстояние до места повреждения с помощью метода колебательного разряда. После первого пробоя сопротивление в поврежденной жиле кабеля восстанавливается и напряжение от испытательной установки постоянного тока возрастает опять до напряжения пробоя. Такая периодичность пробоев может продолжаться длительное время. В зоне измеренного расстояния до места повреждения оператор, передвигаясь вдоль

трассы кабельной линии, четко фиксирует акустические разряды в месте повреждения.

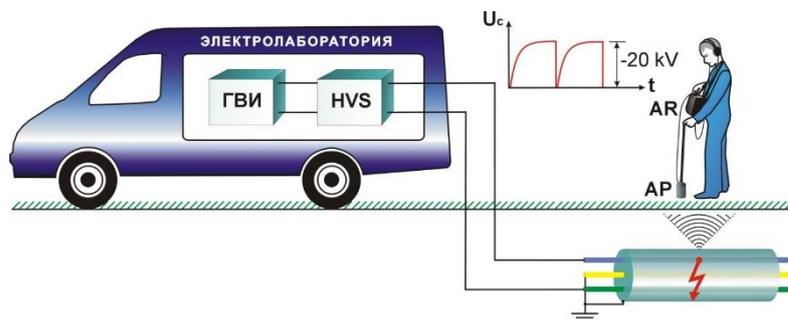


Рисунок 3 – Акустический метод ОМП.

### Ёмкостной метод

Технология данного метода позволяет проводить поиск повреждения, в частности обрыва токоведущих элементов кабеля, путем измерения емкости жил. Как известно данный параметр напрямую зависит от длины кабеля. С упрощенной схемой высоковольтных колебаний для такого устройства можно ознакомиться ниже.

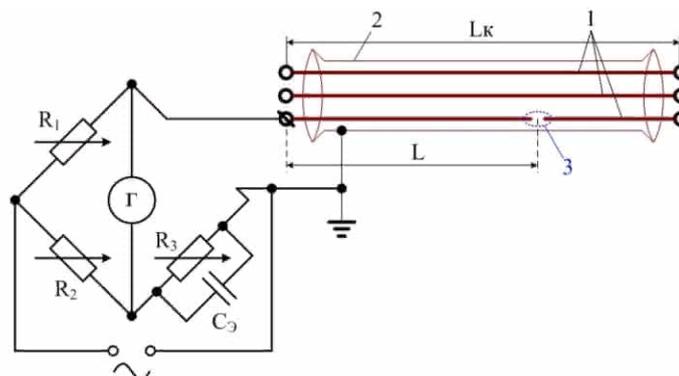


Рисунок 4 – Мост переменного тока, используемый в ёмкостном методе обнаружения повреждений кабеля

Где  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  – регулируемые резисторы;  $C_3$  – эталонный высоковольтный конденсатор;  $L$  - расстояние до места обрыва;  $L_k$  – общая длина КЛ; 1- токоведущий элемент кабеля; 2- защитная оболочка; 3- место обрыва.

Подбирая сопротивление переменных резисторов, добиваются минимального отклонения стрелки прибора  $\Gamma$ , что указывает на равновесие между плечами моста, что говорит о следующем соотношении  $R_1 / R_2 = C_x / C_3$ , это позволяет установить емкость поврежденной жилы  $C_x = C_3 * (R_1 / R_2)$ .

Подобным способом производим определение емкости на другом конце КЛ, то есть, подключаем к нему генератор и повторяем измерения. В результате, вычисляем расстояние до поврежденной зоны:  $L = L_k * C_1 / (C_1 + C_2)$ , где  $C_1$  и  $C_2$  – емкости поврежденных токоведущих элементов кабеля, измеренные в начале и конце КЛ.

### Метод колебательного разряда

Данный способ позволяет более эффективно определить расстояние до дефекта кабеля, известного, как заплывающий пробой. Для этой цели в поврежденную линию подаются импульсные колебательные разряды, после чего на экран спецприбора (например, ЭМКС58) выводятся данные о расстоянии до дефектного места.

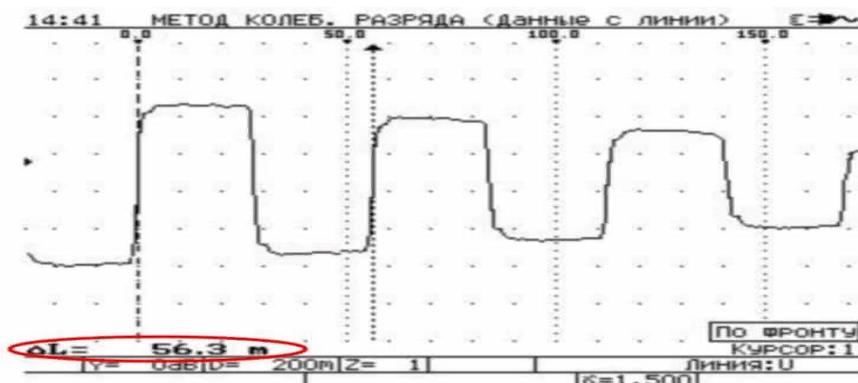


Рисунок 5 – Экран прибора РЕЙС-305 с указанием расстояния до повреждённого участка кабеля

### Метод петли

Данный способ хорошо работает в тех случаях, когда в месте нарушения изоляции нет обрыва токоведущих элементов кабеля, а переходное сопротивление в месте дефекта не более 5,0 кОм. При несоответствии последнего условия может быть выполнен прожиг кабеля (прожигание изоляции для уменьшения переходного сопротивления). Упрощенный пример электрической схемы для метода петли показан на рисунке 6.

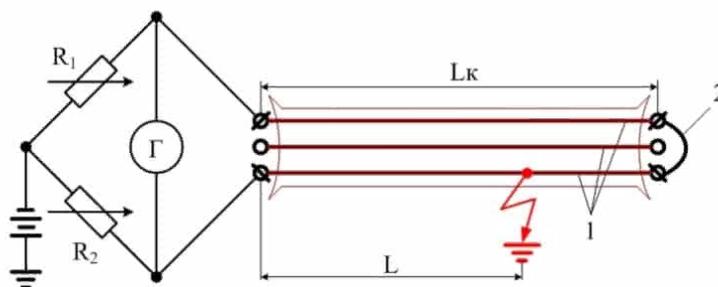


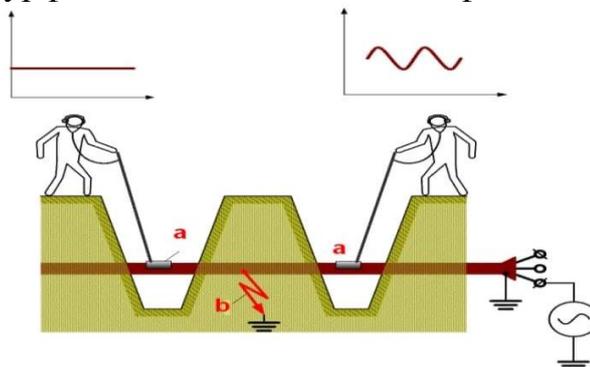
Рисунок 6 – Устройство для поиска повреждения кабеля методом петли где Г – гальванометр;  $R_1$  и  $R_2$  – переменные резисторы, измерение сопротивления которых осуществляется после уравнивания моста;  $L_k$  – длина КЛ;  $L$  – расстояние до дефектного участка; 1 – токоведущие элементы кабеля; 2 – переключка между целой и дефектной жилой.

После уравнивания моста, расстояние до обрыва вычисляется по формуле.

### Метод накладной рамки

Данный вариант поиска повреждения в КЛ можно рассматривать в

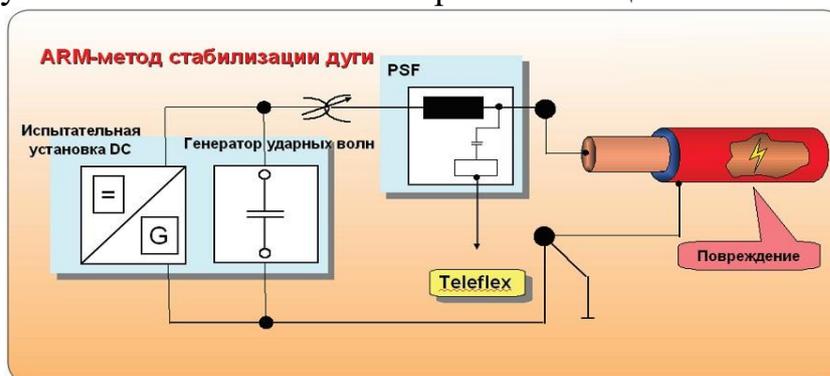
качестве одной из разновидностей индукционного способа, когда необходимо найти пробой между токоведущим элементом кабеля и его металлической оболочкой (броней). Данная технология рассчитана на поиск дефектных мест при открытой прокладке кабельных трасс, но ее можно успешно использовать и для КЛ уложенных в грунт. В последнем случае требуется выкопать шурфы в зоне локализации дефекта.



**Рисунок 7 – Локализация повреждения кабеля методом накладной рамки  
а-накладные рамки; б-место пробоя изоляции**

### **Метод стабилизации электрической дуги (ARM)**

Метод стабилизации электрической дуги (рисунок 8) может быть использован для определения расстояния до места сложного (высокоомного) или неустойчивого повреждения. Сущность метода кратковременной дуги заключается в одновременном воздействии на кабельную линию высоковольтным импульсом и выполнении измерений локационным методом.



**Рисунок 8 – Метод стабилизации дуги**

**Вывод:**

При поиске места повреждения на кабельной линии наиболее практичным является импульсный метод, при этом методе исключено длительное воздействие на токоведущую жилу повышенного выпрямленного напряжения, так как этот метод является беспрожиговым. Главным плюсом этого метода является минимизация воздействия на незатронутую повреждением изоляцию кабеля, что значительно продлевает срок службы кабеля.

### Библиографический список

1. Савченко С.В. Оценка эффективности методов диагностики и отыскание мест повреждений силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. выпускная квалификационная работа. Иркутск, ИРНТУ 2018 / Савченко Семен Николаевич. – Иркутск, 2018. – 78 с.
2. Поиск места повреждения кабеля. [Электронный ресурс]. URL:<https://www.asutpp.ru/opredelenie-mesta-povrezhdeniya-kabelya.html>
3. Сшитый полиэтилен. Поиск мест повреждений. [Электронный ресурс]. URL:[https://angstrem.tech/blog/sshityu\\_polietilen\\_poisk\\_mest\\_povrezhdeniy/](https://angstrem.tech/blog/sshityu_polietilen_poisk_mest_povrezhdeniy/)
4. Исследование аномалии нуля в кабельной линии. [Электронный ресурс]. URL:<https://angstrem.tech/obmen-opytom/issledovanie-anomalii-nulya-130721/>
5. Испытания кабельных линий. [Электронный ресурс]. URL:<https://angstrem.tech/blog/isyptaniya-kabelnykh-liniy/>

<sup>1</sup> Харитонов С.Д., обучающийся, гр УЭСм-21-1

<sup>2</sup> Чумаков В.Г., ведущий инженер каф. ЭССиС

Экспертиза статьи выполнена 26.12.2022 г., протокол № 27

УДК 621.331

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ УСТАНОВКИ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Пузина Е.Ю.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

<sup>2</sup>*Иркутский государственный университет путей сообщения*

Полупроводниковые статические преобразователи частоты (ПСПЧ) предназначены для управления электродвигателями (ЭД) переменного тока, применяемыми в приводе производственно – технологического, транспортного и вспомогательного оборудования.

Повышенное внимание к внедрению ПСПЧ в последние годы связано с появлением мощных транзисторов, способных коммутировать токи в сотни ампер при напряжении до 1200 В. Это дало возможность создать малогабаритные, обладающие большими функциональными возможностями ПСПЧ для управления ЭД переменного тока. Достигнутые стоимостные показатели, а также непрерывное удорожание энергоресурсов сделали их использование приемлемым во всех областях приводной техники [1-2].

Рассмотрим эффективность установки ПСПЧ на насосной станции обратного водоснабжения электровозоремонтного завода. На данном предприятии вода из водохранилища по трубопроводу насосами подается в аккумулирующие емкости  $V=200$  м<sup>3</sup>. Подача воды регулируется запорной

арматурой (задвижками), а избыток воды из емкостей через перелив поступает в приемные зумпфы хвостовых насосов для дальнейшей откачки обратно в водохранилище. Тем самым, подача оборотной воды из водохранилища остается неизменной и составляет 200 м<sup>3</sup> при необходимом потреблении воды 160 м<sup>3</sup>. На насосной станции установлено два насоса марки 4Д200-90, один насос находится в работе, второй в резерве.

Рассмотрим основные зависимости, характеризующие энергетику насосов, на примере установки ПСПЧ по одному насосу. Примем к установке частотный преобразователь марки POWTRAN PI7800 110G3 мощностью 110 кВт, I<sub>н</sub> = 210 А, U<sub>н</sub> = 380 В, цена по данным производителя [3] с учетом НДС составляет 301210 руб.

Мощность, потребляемая насосом, определяется по формуле:

$$P = \frac{(Q \times H \times 9,81)}{\eta}; \quad (1)$$

$$P = \frac{200 \times 90 \times 9,81}{0,76 \times 3600} = 64,5 \text{ кВт},$$

где Q - производительность, м<sup>3</sup>/ч; H - высота напора, равная сумме высот всасывания и нагнетания, м; η - КПД установки, принимается по паспорту.

Для определения мощности, потребляемой приводным ЭД (P<sub>дв</sub>, Вт), при известном токе, применяется следующая формула:

$$P_{дв} = 1,73 \times I_{дв} \times U \times \cos \varphi, \quad (5)$$

где I<sub>дв</sub> – ток фазы ЭД, А; U – напряжение ЭД, В; cos φ – коэффициент мощности ЭД.

Исходными данными для расчета являются паспортные данные насоса и его ЭД, занесенные в табл. 1. Основные данные измерены при различных режимах работы насосного агрегата и помещены в табл. 2 и 3. Замеры при закрытой напорной задвижке проводились максимально оперативно для исключения возможности перегрева насоса. Замеры при открытой напорной задвижке проводятся во время максимального забора воды.

**Таблица 1**

**Паспортные (номинальные) данные насоса и его приводного ЭД**

Параметр	Значение
Мощность насоса, кВт	64,5
КПД насоса, %	76
Напор насоса, м	90
Подача насоса, м <sup>3</sup> /ч	200
Мощность двигателя марки АИР250М42, кВт	90
Ток двигателя, А	163
Частота вращения, об/мин	2900
КПД двигателя, %	94
cos φ двигателя,	0,89

Таблица 2

**Результаты замеров при полностью закрытой напорной задвижке**

Средство измерения	Ток $I_{\min}$ , А
Амперметр Э-365	52,3

Таблица 3

**Результаты замеров при полностью открытой напорной задвижке**

Средство измерения	Ток $I_{\max}$ , А	Расход воды $Q_{\max}$ , М <sup>3</sup> /ч
Амперметр Э-365	142,5	196

Рассчитаем мощности, потребляемые ЭД насоса, по формуле 5:

$$P_{\text{де min}} = 1,73 \times I_{\text{де min}} \times U \times \cos \varphi = 1,73 \times 52,3 \times 0,38 \times 0,89 = 30,6 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{де max}} = 1,73 \cdot I_{\text{де max}} \times U \times \cos \varphi = 1,73 \times 142,5 \times 0,38 \times 0,89 = 83,4 \text{ кВт}.$$

По данным таблиц 2 и 3 произведем расчет зависимости потребляемой мощности  $P$  от относительного расхода воды  $Q/Q_{\max}$  при различных способах регулирования. Так, для потребляемой мощности при дросселировании можно записать выражение:

$$P_{\text{дрос}} = P_{\min} + (P_{\max} - P_{\min}) \times \frac{Q}{Q_{\max}}. \quad (6)$$

Для потребляемой мощности при частотном регулировании можно записать выражение:

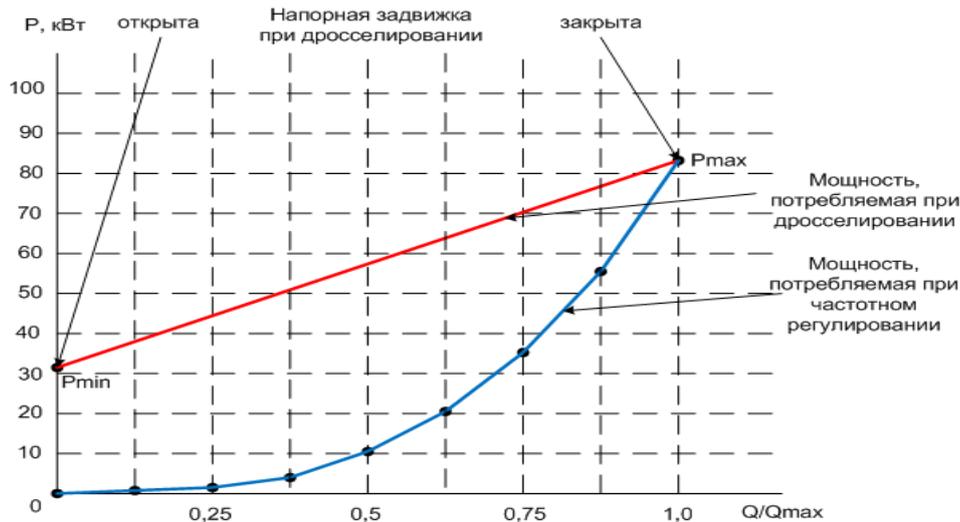
$$P_{\text{пч}} = P_{\max} \times (Q/Q_{\max})^3. \quad (7)$$

Зависимость потребляемой мощности при дросселировании  $P_{\text{дрос}}$  от относительного расхода  $Q/Q_{\max}$  ( $Q$  - текущий расход,  $Q_{\max}$  - максимальный расход, указанный в табл. 3) получена на графике соединением точек  $P_{\max}$  и  $P_{\min}$  прямой линией. Зависимость потребляемой мощности при использовании ПСПЧ  $P_{\text{пч}}$  от относительного расхода  $Q/Q_{\max}$  получена по выражению (7) с подстановкой в него измеренной ранее величины  $P_{\max}$  и нескольких значений  $Q/Q_{\max}$  (например, от 0 до 1 с шагом 0,125). Результаты занесены в табл. 4. По полученным данным построены кривые (рис. 1).

Таблица 4

**Зависимость потребляемой мощности при использовании ПСПЧ**

$Q/Q_{\max}$	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1
$P_{\text{пч}}$ , кВт	0	0,16	1,3	4,4	10,4	20,4	35,2	55,9	83,4



**Рисунок 1 - Потребление мощности при различных способах регулирования скорости вращения ЭД насоса**

Для получения информации о загрузке насоса выполнены измерения суточного расхода в течение 3 дней (табл. 5). Полученные данные усреднены и на их основании построен график суточного расхода воды (рис. 2).

**Таблица 5**

**Суточный и общий расходы воды**

Период времени $t_i$ , час.	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$
Суточный расход $Q_i$ , м <sup>3</sup> /ч, (1-й день)	162	165	159	156	159	160
Суточный расход $Q_i$ , м <sup>3</sup> /ч, (2-й день)	155	158	160	158	165	161
Суточный расход $Q_i$ , м <sup>3</sup> /ч, (3-й день)	153	160	160	156	158	162
Средний суточный расход $Q_i$ ср, м <sup>3</sup> /ч	157	161	160	157	161	161

Расчет экономической эффективности основан на определении величины снижения потребляемой электроэнергии (ЭЭ) при регулировании напора насоса путем дросселирования и с помощью ПСПЧ.

Величины  $P_{дрос}$  и  $P_{пч}$  выбираем по рис. 2 или рассчитываем по формулам:

$$P_{дрос} = P_{min} + (P_{max} - P_{min}) \times \frac{Q}{Q_{max}},$$

$$P_{пч} = P_{max} \times (Q / Q_{max})^3.$$

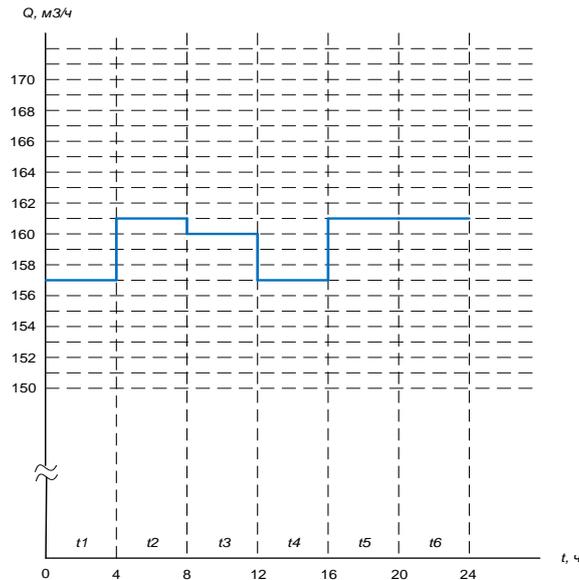


Рисунок 2 - Среднесуточный расход оборотной воды

Величину расхода  $Q_i$  выбираем из рис. 2 или табл. 5. Так, для периода  $t_1$ :

$$P_{\text{прое}} = 30,6 + (83,4 - 30,6) \times \frac{157}{196} = 72,9 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{исч}} = 83,4 \times (157 / 196)^3 = 42,9 \text{ кВт}.$$

Для остальных периодов времени, с учетом разбиения суток на 6 равных периодов по 4 часа каждый, результаты расчета потребляемой мощности, ее снижения при внедрении ПСПЧ, экономии ЭЭ и ее годовой стоимости сведены в табл. 6. Стоимость годовой экономии ЭЭ с учетом действующего тарифа 3 руб/кВтч и коэффициента, учитывающего стоимость снижения расхода холодной воды значением 1,15.

При принятии решения о целесообразности внедрения ПСПЧ следует учитывать, что кроме экономического эффекта от экономии ЭЭ применение ПСПЧ дополнительно обеспечивает следующее:

- снижается износ запорной арматуры, подшипников двигателя и насоса, а также крыльчатки;
- снижаются утечки в системе водоснабжения;
- уменьшается опасность аварий за счет исключения гидравлических ударов;
- обеспечивается одновременная защита двигателя от токов короткого замыкания, замыкания на землю, токов перегрузки, неполнофазного режима, недопустимых перенапряжений [4-5];
- снижается уровень шума.

Таблица 6

## Суточный и общий расходы воды

Период времени $t_i$ , час.	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$
Потребляемая мощность при дросселировании, кВт	72,9	74	73,7	72,9	74	74
Потребляемая мощность при частотном регулировании, кВт	42,9	46,2	45,4	42,9	46,2	46,2
Снижение потребляемой мощности, кВт	30	27,8	28,3	30	27,8	27,8
Экономия ЭЭ при применении ПСПЧ вместо дросселирования, кВтч	120	111,2	113,2	120	111,2	111,2
Суточная/годовая экономия ЭЭ, кВтч	686,8/250682					
Стоимость годовой экономии ЭЭ, руб.	864852,9					

Таким образом, внедрение ПСПЧ на насосных станциях оборотного водоснабжения приводит к существенной экономии ЭЭ на предприятиях, обеспечивает большую надежность работы электроприводов и значительное снижение эксплуатационных расходов.

## Библиографический список

1. Соловской А.С., Соловская К.А. Технические мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности электросетевых компаний. Россия молодая. Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Кемерово, 2022. С.21418.1-21418.4
2. Воинова Д.В., Пузина Е.Ю. Повышение эффективности функционирования энергетических объектов муниципальной инфраструктуры. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С.170-175.
3. <https://www.siliumtech.com/preobrazovatel-chastoty-powtran/>.
4. Пионкевич В.А. Релейная защита и автоматика в электрических сетях. Моделирование элементов электрических сетей и релейных защит. Иркутск, 2013. 121 с.
5. Khudonogov I. A., Puzina E. Y., A. G. Tuigunova. Modeling Turn Insulation Thermal Aging Process for Traction Substation Transformer. Proceeding - 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020. 2020, С. 9112021.

<sup>1,2</sup> Пузина Е.Ю., доцент каф. Электроснабжения и электротехники ИРНИТУ, доцент каф. Электроэнергетика транспорта ИРГУПС

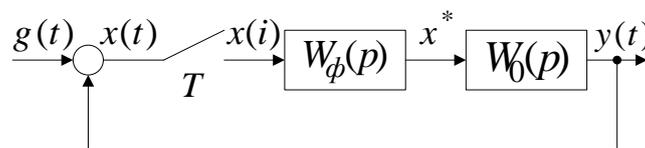
Экспертиза статьи выполнена 29.11.2022 г., протокол № 18

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ

Ободенко Е.Ю.<sup>1</sup>, Селиванов Д.В.<sup>2</sup>, Федорова З.А.<sup>3</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Для исследования цифровых и импульсных систем вместо оператора Лапласа  $p$  используется переменная  $z = e^{pT}$ , где  $T$  период дискретности ( $z$ -преобразование) [1-3]. Исследование методов построения переходных процессов цифровой системы будем проводить, используя структурную схему, приведенную на рисунке 1,



**Рисунок 1 – Структурная схема замкнутой импульсной системы**

Исследование методов построения переходных процессов статической системы проведем на примере системы с передаточной функцией импульсного устройства

$$W_{\Phi}(p) = \frac{1 - e^{-pT}}{p}$$

и передаточной функцией непрерывной части

$$W_0(p) = \frac{K}{(T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1) \cdot (T_3 \cdot p + 1)}.$$

Построим графики решетчатых функций для выходной величины  $y(iT)$  и ошибки  $x(iT)$  для статической цифровой системы с исходными данными, приведенными ниже.

Исходные данные				
К	T	T1	T2	T3
1,525	0,2	0,1	0,05	0,01

**1 способ - построение переходного процесса операторным методом.** Передаточные функции замкнутой системы по регулируемой величине и по ошибке приведены ниже

$$\Phi(z) = \frac{b_0 z^2 + b_1 z + b_2}{a_0 z^3 + a_1 z^2 + a_2 z + a_3},$$

$$\Phi_x(z) = \frac{c_0 z^3 + c_1 z^2 + c_2 z + c_3}{a_0 z^3 + a_1 z^2 + a_2 z + a_3}.$$

Изображения входного сигнала:

$$G(z) = \frac{z}{z-1}$$

Изображение выходной величины и ошибки:

$$Y(z) = G(z) \cdot \Phi(z) = \frac{z}{z-1} \cdot \frac{b_0 z^2 + b_1 z + b_2}{a_0 z^3 + a_1 z^2 + a_2 z + a_3},$$

$$X(z) = G(z) \cdot \Phi_x(z) = \frac{z}{z-1} \cdot \frac{c_0 z^3 + c_1 z^2 + c_2 z + c_3}{a_0 z^3 + a_1 z^2 + a_2 z + a_3}.$$

Находим корни характеристического уравнения  $a_0 z^3 + a_1 z^2 + a_2 z + a_3 = 0$ .

z(1)=	-0,30268	+j(0)
z(2)=	-0,64441	+j(0)
z(3)=	-5,38E-04	+j(0)

Изображение выходной величины и ошибки можно представить в виде:

$$Y(z) = \frac{(b_0 z^2 + b_1 z + b_2)/a_0}{(z-1)(z-z_1)(z-z_2)(z-z_3)} = \frac{A_y}{z-1} + \frac{B_y}{z-z_1} + \frac{C_y}{z-z_2} + \frac{D_y}{z-z_3},$$

$$X(z) = \frac{(c_0 z^3 + c_1 z^2 + c_2 z + c_3)/a_0}{(z-1)(z-z_1)(z-z_2)(z-z_3)} = \frac{A_x}{z-1} + \frac{B_x}{z-z_1} + \frac{C_x}{z-z_2} + \frac{D_x}{z-z_3}.$$

Из равенства двух последних записей для  $Y(z)$  можно сформировать условия для нахождения коэффициентов  $A_y$ ,  $B_y$ ,  $C_y$  и  $D_y$ .

$$(b_0 z^2 + b_1 z + b_2)/a_0 =$$

$$A_y(z-z_1)(z-z_2)(z-z_3) + B_y(z-1)(z-z_2)(z-z_3) + C_y(z-1)(z-z_1)(z-z_3) + D_y(z-1)(z-z_1)(z-z_2)$$

Получим систему линейных алгебраических уравнений для определения коэффициентов  $A_y$ ,  $B_y$ ,  $C_y$  и  $D_y$ , приравнивая коэффициенты при одинаковых степенях  $z$ .

При  $z^3 \Rightarrow A_y + B_y + C_y + D_y = 0$

При

$$z^2 \Rightarrow A_y(-z_1 - z_2 - z_3) + B_y(-1 - z_2 - z_3) + C_y(-1 - z_1 - z_3) + D_y(-1 - z_1 - z_2) = b_0/a_0$$

При

$$z^1 \Rightarrow A_y(z_1 z_2 + z_1 z_3 + z_2 z_3) + B_y(z_2 + z_3 + z_2 z_3) + C_y(z_1 + z_3 + z_1 z_3) + D_y(z_1 + z_2 + z_1 z_2) = b_1/a_0$$

При

$$z^0 \Rightarrow A_y(-z_1 z_2 z_3) + B_y(-z_2 z_3) + C_y(-z_1 z_3) + D_y(-z_1 z_2) = b_2/a_0$$

Решение этой системы:

Массив A					Решение	
1	1	1	1	0	Ay	0,60396
0,947627	-0,35505	-0,69679	-0,05291	1,101277949	By	0,316392
0,195558	-0,6446	-0,30305	-0,75204	0,193079487	Cy	-0,92035
0,000105	-0,00035	-0,00016	-0,19505	0,000105002	Dy	-7,1E-06

Аналогично из равенства 2-х полученных записей для  $X(z)$  можно сформировать условия для нахождения коэффициентов  $A_x, B_x, C_x$  и  $D_x$ .

$$(c_0 z^3 + c_1 z^2 + c_2 z + c_3) / a_0 = A_x(z - z_1)(z - z_2)(z - z_3) + B_x(z - 1)(z - z_2)(z - z_3) + C_x(z - 1)(z - z_1)(z - z_3) + D_x(z - 1)(z - z_1)(z - z_2)$$

и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях  $z$  получим систему линейных алгебраических уравнений для  $A_x, B_x, C_x$  и  $D_x$ .

При  $z^3 \Rightarrow A_x + B_x + C_x + D_x = c_0 / a_0$

При

$$z^2 \Rightarrow A_x(-z_1 - z_2 - z_3) + B_x(-1 - z_2 - z_3) + C_x(-1 - z_1 - z_3) + D_x(-1 - z_1 - z_2) = c_1 / a_0$$

При

$$z^1 \Rightarrow A_x(z_1 z_2 + z_1 z_3 + z_2 z_3) + B_x(z_2 + z_3 + z_2 z_3) + C_x(z_1 + z_3 + z_1 z_3) + D_x(z_1 + z_2 + z_1 z_2) = c_2 / a_0$$

При  $z^0 \Rightarrow A_x(-z_1 z_2 z_3) + B_x(-z_2 z_3) + C_x(-z_1 z_3) + D_x(-z_1 z_2) = c_3 / a_0$

Решение этой системы:

Массив A					Решение	
1	1	1	1	1	Ax	0,39604
0,947627	-0,35505	-0,69679	-0,05291	-0,153650924	Bx	-0,31639
0,195558	-0,6446	-0,30305	-0,75204	0,002478752	Cx	0,920346
0,000105	-0,00035	-0,00016	-0,19505	-5,10909E-12	Dx	7,09E-06

Значение решетчатых функций для выходной величины и ошибки

$$y(iT) = A_y + B_y z_1^i + C_y z_2^i + D_y z_3^i$$

$$x(iT) = A_x + B_x z_1^i + C_x z_2^i + D_x z_3^i$$

Графики решетчатых функций, полученные по этим уравнениям в среде Excel, приведены на рисунке 2.

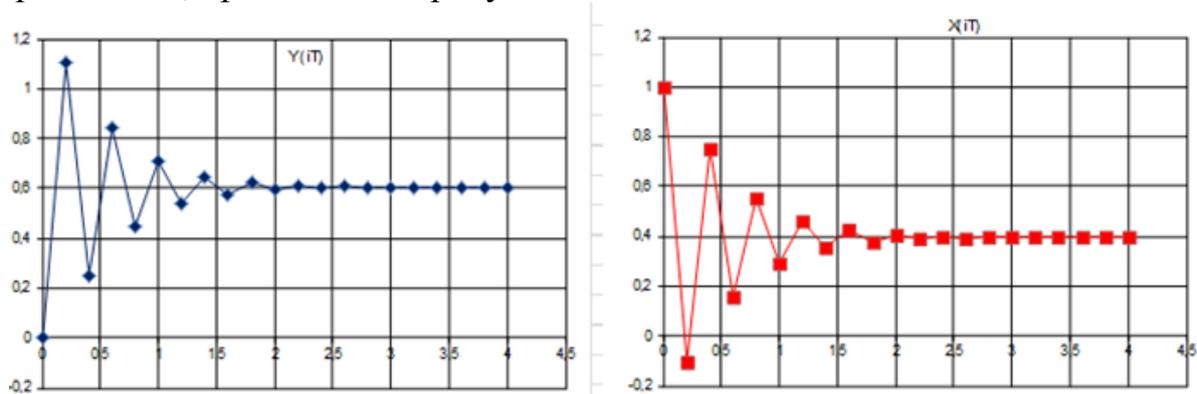


Рисунок 2- Графики решетчатых функций  $y(iT)$  и  $x(iT)$

**2 способ** - построение переходного процесса по разностным уравнениям. Изображение регулируемой величины и ошибки:

$$Y(z) = G(z) \cdot \Phi(z) = G(z) \cdot \frac{b_0 z^2 + b_1 z + b_2}{a_0 z^3 + a_1 z^2 + a_2 z + a_3} = G(z) \cdot \frac{b_0 z^{-1} + b_1 z^{-2} + b_2 z^{-3}}{a_0 z^0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3}},$$

$$X(z) = G(z) \cdot \Phi_x(z) = G(z) \cdot \frac{c_0 z^3 + c_1 z^2 + c_2 z + c_3}{a_0 z^3 + a_1 z^2 + a_2 z + a_3} = G(z) \cdot \frac{c_0 z^0 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + c_3 z^{-3}}{a_0 z^0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3}}.$$

Операторные уравнения для выходной величины и ошибки:

$$Y(z) \cdot [a_0 z^0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3}] = G(z) \cdot [b_0 z^{-1} + b_1 z^{-2} + b_2 z^{-3}],$$

$$X(z) \cdot [a_0 z^0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3}] = G(z) \cdot [c_0 z^0 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + c_3 z^{-3}].$$

Разностные уравнения для выходной величины и ошибки:

$$a_0 \cdot y(i) + a_1 \cdot y(i-1) + a_2 \cdot y(i-2) + a_3 y(i-3) = b_0 g(i-1) + b_1 g(i-2) + b_2 g(i-3)$$

$$a_0 x(i) + a_1 x(i-1) + a_2 x(i-2) + a_3 x(i-3) = c_0 g(i) + c_1 g(i-1) + c_2 g(i-2) + c_3 g(i-3)$$

Рекуррентные формулы для вычисления выходной величины и ошибки.

$$y(i) = \frac{-a_1 y(i-1) - a_2 y(i-2) - a_3 y(i-3) + b_0 g(i-1) + b_1 g(i-2) + b_2 g(i-3)}{a_0},$$

$$x(i) = \frac{-a_1 x(i-1) - a_2 x(i-2) - a_3 x(i-3) + c_0 g(i) + c_1 g(i-1) + c_2 g(i-2) + c_3 g(i-3)}{a_0}$$

Графики решетчатых функций, полученные по этим уравнениям в среде Excel, приведены на рисунке 3. Результаты, полученные операторным методом (см. рисунок 2) и по разностным уравнениям (см. рисунок 3), совпадают.

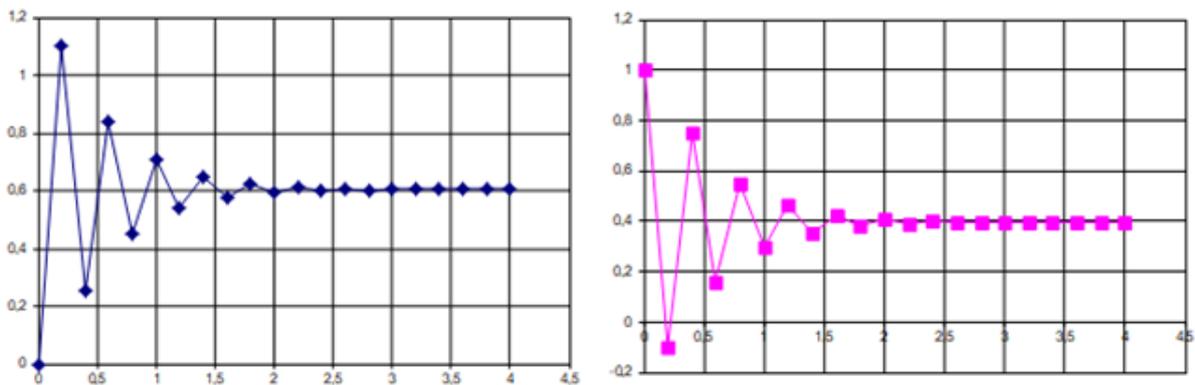


Рисунок 3- Графики решетчатых функций  $y(iT)$  и  $x(iT)$

**3 способ** - построение переходного процесса статической цифровой системы на ЭВМ в среде MATLAB. Для построения графиков переходных процессов используем имитационную модель, приведенную на рисунке 4, а графики выходной величины цифровой системы  $y(t)$  и ошибки  $x(t)$  приведены на рисунке 5. Графики, построенные в среде MATLAB, совпадают с результатами, полученными в среде Excel двумя способами (операторным методом и с использованием разностных уравнений).

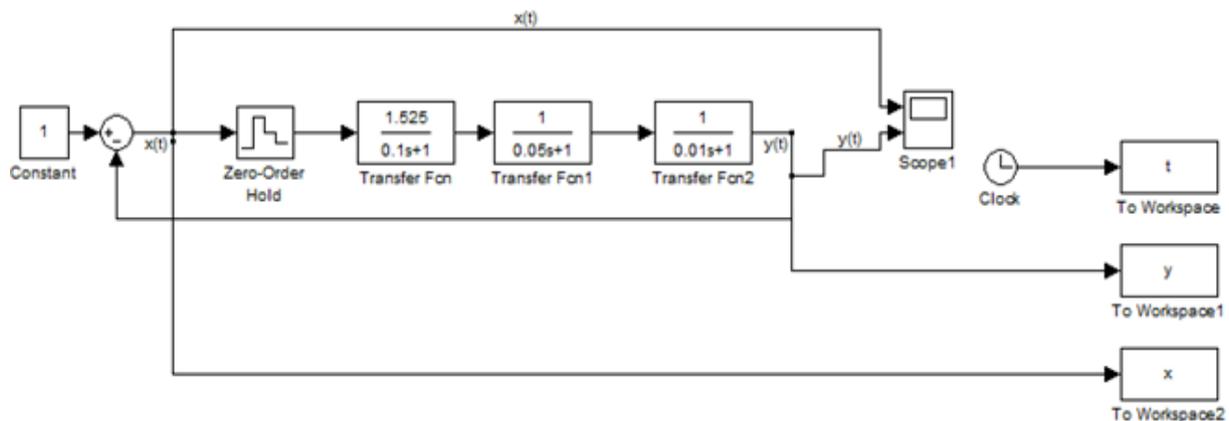


Рисунок 4 - Имитационная модель статической цифровой системы

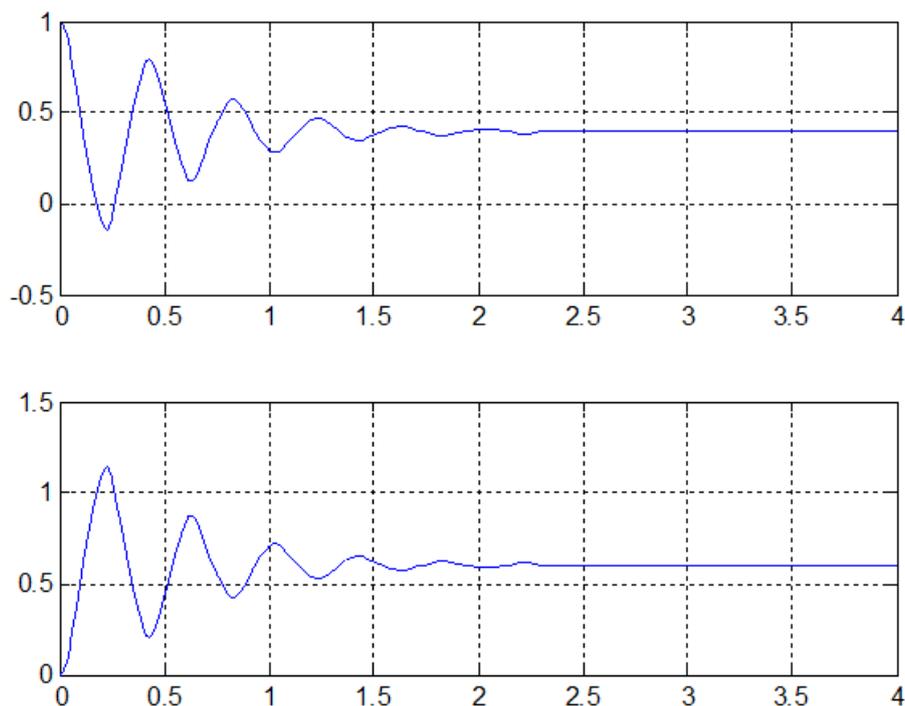


Рисунок 5 - Графики функций  $x(t)$  и  $y(t)$

### Библиографический список

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. СПб, Издательство «Профессия». 2004. 752 с.
2. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления, под редакцией В.А. Бесекерского. Москва. Издательство «Наука».1978. 512 с.
3. Федорова З.А., Тяпкина И.А. Исследование способов построения переходных процессов в цифровых и импульсных системах. // Материалы ежегодной Всероссийской научно-практической конференции с международным участием "Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири". – Иркутск: Издательство ИрГТУ, 2011. С. 153-157.

<sup>1</sup> Ободенко Е.Ю., обучающийся, гр. КТЭМ-21-1

<sup>2</sup> Селиванов Д.В., обучающийся, гр. КТЭМ-21-1

<sup>3</sup> Федорова З.А., доцент кафедры Э и ЭТ

Экспертиза статьи выполнена 21.12.2022 г., протокол № 26

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Сорокин Д.Е.<sup>1</sup>, Федорова З.А.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Для экономного расходования электроэнергии в электроосветительных установках должна быть предусмотрена рациональная система управления освещением. Правильно построенная схема управления освещением помогает сократить продолжительность горения ламп и с этой целью предусматривает возможность включения и выключения отдельных светильников, групп их, помещения, здания, всего предприятия.

Учитывая повышение требований к расходу и эффективному потреблению электроэнергии, тема энергосбережения в настоящее время приобрела большую актуальность. На основании этого существует потребность в разработке и внедрении автоматизированных схем управления наружного освещения (АСУ НО).

Централизация управления освещением всего предприятия преследует цель выбора наиболее рационального времени включения и выключения освещения, сочетания его с уровнем естественной освещенности, с началами, перерывами и окончанием работ в цехах предприятия на основании алгоритма управления.

Целью данной работы является разработка алгоритма системы контроля и управления освещением.

Централизованные системы управления освещением строятся на основе микропроцессоров, обеспечивающих возможность практически одновременного многовариантного управления значительным (до нескольких сотен) числом светильников.

В упрощенном виде алгоритм работы микроконтроллера (МК) представлен на рисунке 1.

При включении устройства происходит инициализация микроконтроллера и его первичных настроек, после чего задаются начальные параметры. Рассмотрим подробнее алгоритмы работы отдельных блоков, входящих в алгоритм.

### 1) Алгоритм инициализации МК

При включении МК запускается мониторинг питания для отслеживания питания микропроцессора. После этого программа настраивает работу микроконтроллера на внутренний генератор синхронизации с частотой 24,5 МГц. Особенностью внутренней синхронизации является отклонения по частоте, которые могут быть до 25%, однако на работе самого устройства это сказываться не будет, так как высокая точность временных

интервалов не играет существенной роли. После этого запускается сторожевой таймер (происходит его сброс), предназначенный для перезагрузки программы в случае ее зависания. Затем происходит включение детектора нарушения синхронизации, который срабатывает при отсутствии импульсов более чем 100 мкс. Далее происходит настройка портов ввода/вывода на прием и передачу цифрового или аналогового сигналов. Затем происходит инициализация АЦП и компаратора, устанавливаются параметры приема передачи интерфейса UART. После этого происходит настройка обработчиков прерываний. В заключении блока инициализации происходит установка всех флагов и счетчиков в начальное состояние.



Рисунок 1 - Упрощенный вид алгоритма работы МК

## 2) Опрос состояния освещенности

Перед началом опроса производится установка начальных данных.  $T:=0$  (время подачи напряжения на светодиоды),  $Z:=0$  (счетчик первоначальной настройки),  $T_{ож}:=0$  (задержка между опросами текущей освещенности и передачей состояния на ПК). Далее устанавливаются переменные изменения и сравнения основных величин  $ST:=0,001с$  (шаг времени освещения),  $L1:=0,2$  (шаг сравнения освещенности). После этого осуществляется опрос состояния освещенности.

## 3) Управление длительностью освещения

После завершения преобразования осуществляется сравнение переменной  $L$  с 2. В случае если  $L$  меньше от времени подачи на светодиоды  $T$  отнимается шаг времени освещения  $ST$ , в случае, если  $L$  – больше, реализуется второе условие:  $L > (L1 + 2)$ . Если оно верно, ко времени  $T$  прибавляется переменная  $ST$ . Далее, так же как и в случае, если бы это условие было не верно, происходит ожидание прерывания от компаратора. После получения этого прерывания МК подает уровень 1 на ножку P1.1. После чего запускается таймер с начальным временем  $T$ . При обнулении этого датчика

происходит прерывание по которому на ножку  $P1.1$  перестает подаваться напряжение. Далее программа переходит к штатному режиму работы. Осуществляется задержка равная  $T_{ож}$ , после чего идет проверка счетчика первоначальной настройки  $Z$  на то, что он меньше 9. В случае, если условие удовлетворяется,  $Z$  инкрементируется и МК возвращается к выполнению опроса состояния освещения. В противном случае, задержке между опросами текущей освещенности и передачей состояния на ПК,  $T_{ож}$  будет присвоено значение в 30с, шагу времени освещения  $ST$  присваивается значение 0,0001с, а шагу сравнения освещенности  $L1 - 0,02$ .

#### 4) Управление длительностью освещения

После этого осуществляется формирование данных к отправке. Далее МК отправляет данные на ПК и возвращается к опросу состояния освещенности.

Таким образом, управляющие сигналы на светильники в системе выдаются по сигналам локальных датчиков. Преобразование сигналов происходит в едином (центральном) узле, что предоставляет дополнительные возможности вручную управлять освещением.

Одновременно существенно упрощается ручное изменение алгоритма работы системы. При системах централизованного дистанционного или автоматического управления освещением питание цепей управления разрешается от линии, питающей освещение.

**Таблица 1**

### Стандартные параметры технического оснащения

№ п.п.	Параметр	Значение
1	Количество шкафов управления включением (ШУВ), шт.	50
2	Средняя управляемая мощность ШУВ, кВт	30
3	Время переключения на ночное горение (1/3 освещения), ч.	24.00
4	Утреннее переключение на полное горение (зима), ч.	6.00
5	Перевод на летнее время, день	25.03
6	Перевод на зимнее время, день	28.10
7	Общее 5 мин контрольное включение ( апрель-октябрь), ч.	16.45
8	Объекты неотключаемые на ночное горение (переезды, мосты), %	5
9	Режим включения «пасмурного» дня, « - мин»	15
10	Стоимость кВт-час, руб.	1..0
11	Время полного включения (отключения) города системой, час	1/60
12	Время полного включения (отключения) города оператором, час	1/3
13	Средний ресурс осветительных ламп , ч.	10000
14	Средняя стоимость осветительных ламп, руб.	250.00
15	Количество осветительных ламп в системе, шт.	7500
16	Средняя стоимость внедрения АСУ НО на одном ШУВ, руб.	85000.00
17	Средняя стоимость внедрения пультовой части АСУ НО	30000000
18	Срок эксплуатации оборудования без кап. ремонта, лет	10
19	Среднее время изготовления и монтажа системы, лет	0,5

Проведем расчет экономической эффективности внедрения АСУ со стандартными параметрами технического оснащения, используя данные из таблиц 1 и 2 [1-5].

Таблица 2

## Часы горения

№	Месяц	Число часов горения стандартно	Число часов горения в АСУ НО частичное (приведенное к полному)	Число часов горения в АСУ НО полное	Число часов горения в АСУ НО приведенное к стандартному
1	январь	474	186(62)	288	349
2	февраль	375	174(58)	201	259
3	март	341	173(58)	168	226
4	апрель	253	155(52)	98	150
5	май	186	120(40)	66	104
6	июнь	132	94(31)	38	69
7	июль	166	114(38)	52	90
8	август	241	151(50)	90	140
9	сентябрь	310	176(59)	134	193
10	октябрь	395	183(61)	212	273
11	ноябрь	448	180(60)	268	328
12	декабрь	495	186(62)	309	371
	Часы горения суммарно по календарному году	3816			2552

Применяя параметры из таблиц 1 и 2, посчитаем экономические параметры внедрения АСУ НО, расчет которых сведен в таблицу 3.

Таблица 3

## Расчет экономических параметров внедрения АСУ НО

№ пп	Экономические параметры внедрения АСУ НО	Расчет параметра
1	Экономия на оплате за потребленную электроэнергию за календарный год от введения режима частичного освещения, руб.	(экономию 1) = (Количество шкафов управления включением (ШУВ), шт.) x (Средняя управляемая мощность ШУВ, кВт) x (Уменьшение времени горения в АСУ НО) x (Стоимость кВт-час, руб) = = (50) x (30) x (1264) x (1,80) = 3412800.00 руб.
2	Экономия за календарный год на быстром управлении освещением	(экономию 2) = (экономию 1) x ((Время полного включения (отключения) города оператором, час) - (Время полного включения(отключения) города системой, час)) / (Часы горения суммарно по календарному году) / (число дней в году) = (3412800.00,руб.) x ((1/3, час) - (1/60, час)) / ((3816) / (365)) = 103371.00 руб
3	Экономия на сбережении ресурса электроламп	(экономию 3) = ((Количество осветительных ламп в системе, шт.) x (Уменьшение времени горения в АСУ НО) x (Средняя стоимость осветительных ламп, руб)) / (Средний ресурс осветительных ламп, ч) = ((7500) x (1264) x (250)) / (10000) = 237000.00 руб.
4	Экономия на технических операциях по замене ламп	(экономию 4) = 0,25 x 237000.00 = 59250.00 руб.
5	Суммарная экономия от внедрения АСУ НО	(Экономия) = (экономию 1) + (экономию 2) + (экономию 3) + (экономию 4) = 3412800 + 103371 + 237000 + 59250 = 3812421.00 руб.

Продолжение таблицы 3

6	Затраты на внедрение АСУ НО	(Затраты, руб.) = (Средняя стоимость внедрения АСУ НО на одном ШУВ, руб) x (Количество шкафов управления включением (ШУВ), шт.) + (Средняя стоимость внедрения пультовой части АСУ НО) = $85000 \times 50 + 300000 = 4550000.00$ руб.
7	Период окупаемости понесенных затрат	(Окупаемость, лет) = (затраты)/(экономия) + (Среднее время изготовления и монтажа системы, лет) = $4550000/3812421 + 0,5 = 1,69$ лет
8	Среднегодовой экономический эффект от внедрения системы	(Экономический эффект) = ((Срок эксплуатации оборудования без кап. ремонта, лет) - (Окупаемость, лет)) x (Экономия) / (Срок эксплуатации оборудования без кап. ремонта, лет) = $(10-1,69) \times 3812421 / 10 = 3168122.00$ руб.

Полученные результаты расчета экономических показателей внедрения АСУ НО для наглядности сведем в таблицу 4.

**Таблица 4**

**Полученные экономические параметры внедрения АСУ НО**

№ пп	Экономические параметры внедрения АСУ НО	Значение
1	Затраты на внедрение АСУ НО, руб.	4550000.00
2	Период окупаемости понесенных затрат, лет	1,69
3	Среднегодовой экономический эффект от внедрения системы, руб.	3168122.00
4	Срок эксплуатации системы, лет	10

**Библиографический список**

1. Вернер В. Интеллектуальная система управления внутренним освещением // Светотехника. №4. 1993. С. 15-19.
2. Картер Д. Моор Т. Управляемое освещение офисов: стратегия экономии энергопотребления // Светотехника. №1. 2003. С. 28-33.
3. Броне Д. А. Лесли Р. П. Интегрированные фонари верхнего света: комбинация естественного и искусственного освещения с целью энергосбережения // Светотехника. №6. 2002. С. 33-37.
4. М. Хайнрих. Возможности и тенденции экономии электроэнергии при применении электронных пускорегулирующих аппаратов и светорегулирующей системы LUXCONTROL в осветительных установках // Светотехника. №1. 1997. С. 20-24.
5. Краснопольский А. Е. Соколов В. Б. Автоматизация управления освещением - насущная проблема светотехники // Светотехника. № 5. 1997. С. 2-4.

<sup>1</sup> Сорокин Д.Е., обучающийся, гр. КТЭМ-21-1

<sup>2</sup> Федорова З.А., доцент каф. Э и ЭТ

Экспертиза статьи выполнена 21.12.2022 г., протокол № 26

## ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ИРНИТУ

Валиулин М.В.<sup>1</sup>, Рябинова К.О.<sup>2</sup>, Фискин Е.М.<sup>3</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Данная статья посвящена особенностям ремонта компьютерной техники в Иркутском Национальном Исследовательском Техническом Университете. Произведён анализ отказов оборудования комплектующих персонального компьютера. Рассмотрены варианты возможностей ремонта отдельных комплектующих ПК. Предложен вариант модернизации работы отдела технического обеспечения и ремонта. Было произведено сравнение экономических показателей в разных вариантах. Была обнаружена необходимость модернизации работы отдела технического обеспечения и ремонта.

### Введение

Электронная аппаратура, несомненно, является неотъемлемой частью нашей жизни. Она стала активно внедряться практически в любую человеческую деятельность, будь то процесс обучения, творческая активность, просто развлечение или трудовая деятельность.

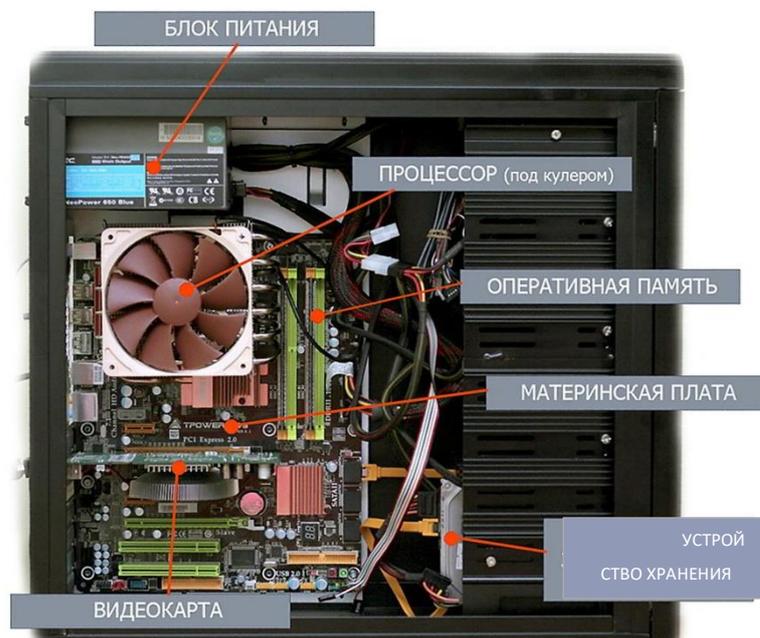
В данной работе мы затронем такую важную вещь, как ремонт и обслуживание компьютерной техники в Иркутском национальном исследовательском техническом университете (ИРНИТУ).

### Основная часть

На балансе ИРНИТУ числится различное оборудование, один только парк компьютерной техники в настоящий момент насчитывает 4297 системных блоков, которые периодически требуют обслуживания и ремонта. Для этой цели существует отдел технического обеспечения и ремонта (ОТОиР), сотрудником которой и является автор. ОТОиР входит в состав управления информатизации и занимается обслуживанием новой техники, ремонтом и диагностикой старой, а также монтажом оборудования на местах и технической частью проводимых в университете мероприятий. Ремонт вычислительной техники осуществляется силами трёх сотрудников. Принимая это во внимание, а также масштабные объёмы поступающих заявок – 3258 в год, 570 из которых приходится на ремонт системных блоков персонального компьютера, на примере которых мы и будем рассматривать работу ОТОиР. Наша основная задача – повысить эффективность работы ОТОиР ИРНИТУ.

Для лучшего восприятия ещё раз повторим, из чего состоит компьютер, приведём анализ типовых неисправностей и частоту отказов за прошлый год.

В состав типичного системного блока входит: корпус, блок питания (БП), материнская плата, процессор, оперативная память (ОЗУ), видеокарта, устройства хранения данных (HDD, SSD).



**Рисунок 1 – Составляющие компьютера**

1) Материнская плата, также называемая системной платой, связывает все компоненты компьютера. Именно от материнской платы зависит то, насколько можно расширить функционал компьютера и его возможные итоговые габаритные размеры. Она содержит посадочную площадку для процессора (сокет), слоты для модулей памяти (ОЗУ), видеокарты и карт расширения, внешние интерфейсные разъёмы. Также, на ней присутствуют различные контроллеры и цепи питания. К основной проблеме поломки компьютера – выход из строя материнской платы. Обилие разновидностей плат и их поломок широкое, поэтому важно такую поломку правильно диагностировать, то есть оперативно найти причину, а затем устранить поломку. За прошедший год была произведена замена 27 материнских плат.

2) Процессор – интегральная схема, непосредственно обрабатывающая все машинные инструкции (программный код), “мозг” компьютера. В его состав входят вычислительные ядра, контроллеры ОЗУ, шины данных, по которым осуществляется связь с периферийными устройствами, установленными в материнскую плату, а, также, графическое ядро в некоторых моделях. Поломку процессора можно назвать серьезной проблемой, требующей оперативного решения. В среднем, процессор выходит из строя так же часто, как материнская плата. За прошедший год число замененных процессоров составило 27.

3) Оперативная память (ОЗУ – оперативно-запоминающее устройство).

Энергозависимая память компьютера, область временного хранения данных, обрабатываемых процессором в данный момент времени. Одной из самых распространенных причин выхода их строя компьютерной техники – проблемы с оперативной памятью. За прошедший период количество замен планок оперативной памяти составило 77.

4) Видеокарта – устройство обработки и вывода изображения на монитор и/или другое устройство отображения визуальных данных. В настоящее время является опциональной, так как современные процессоры зачастую имеют встроенное графическое ядро. Проблемы, связанные с поломкой видеокарты встречается реже – 8 за прошедший год.

5) Накопители данных – в настоящее время к ним относятся HDD и SSD. HDD (Hard Disk Drive) – жёсткий диск, устройство постоянного хранения информации, основанного на принципе магнитной записи. Обладает большим объёмом и невысокой ценой, но, также, и высоким временем доступа к ячейкам памяти. SSD (Solid State Drive) – твердотельный накопитель, основан на флеш-памяти, может иметь скоростной DRAM буфер. Отличается бесшумной работой, быстрой скоростью, но также большей, по сравнению с HDD, ценой. Проблему связанной с системой накопления данных тоже можно отнести к популярной причине поломки. За прошедший год было заменено 72 жестких диска.

6) Блок питания. Служит для подачи стабилизированного питания на все компоненты системного блока. Основные питающие напряжения – 12V, -12V, 5V, 3,3V, 5V дежурного питания. Основной параметр – выходная мощность. Проблемы, связанные с блоком питания носят распространенный характер. В прошлом году было произведено 97 замен блоков питания.

7) Периферийные устройства – различные дополнительные устройства, устанавливаемые в слоты расширения на материнской плате. Позволяют расширить функционал ПК, добавить необходимые для конкретной задачи интерфейсы связи. Сюда входят звуковые, сетевые карты, различные контроллеры, адаптеры и т.д. В прошлом году только замену батарейки CR2032 произвели 134 раза.

В настоящий момент ОТОиР может осуществлять исключительно блочный ремонт системных блоков, то есть замену целиком блока питания или материнской платы в случае их поломки. Мы предлагаем по возможности ремонтировать эти компоненты, а не менять их на новые и видим два способа осуществлять такие ремонты. Разберем все преимущества и недостатки каждого из них.

Первый вариант. Аутсорсинг – отправка оборудования для ремонта в стороннюю организацию.

Обзвонив четыре сервисных центра нашего города, мы узнали, что средний чек за ремонт одного системного блока составит 3000 рублей. Таким образом за год организация потратит около 1 710 000 рублей только на

ремонт системных блоков. К этой сумме также необходимо добавить цену комплектующих которые будут использованы для ремонта (764 000 рублей, в которые включены в том числе 20% накрутки сервисного центра на запчасти) и расходы на транспортировку от университета до сервисного центра, в котором будет производиться ремонт. Итоговая стоимость всех работ будет составлять более чем 2 474 000 рублей. Стоит отметить, что время ремонта будет занимать от 7 до 30 дней, что негативно влияет на работу университета, ограничивая работоспособность сотрудников и вводя технику в состояние простоя.

Кроме того, выполняя ремонт оборудования в сторонних организациях сложно провести оценку качества выполненных работ. Не исключены ситуации, когда компания может уклоняться от выполнения требований по обслуживанию оборудования, в том числе в рамках гарантийных сроков и в таком случае потребуется привлечение третьих лиц для урегулирования конфликтов, что приведет к дополнительным нежелательным расходам.

Таким образом, привлечение сторонней организации хоть и на первый взгляд простой способ осуществления ремонта оборудования, но он требует привлечения большого количества ресурсов, таких как время, деньги и рабочая сила со стороны.

Но есть и второй вариант – ремонт внутри университета.

В целях сокращения времени технического обслуживания и исключения простоя рабочей силы по причинам нахождения техники на ремонте, уменьшения финансовой нагрузки университета, а также увеличения уже имеющейся технической мощности, автор предлагает осуществлять ремонт оборудования внутри ИРНИТУ.

Преимуществом является то, что ремонт и обслуживание компьютерной техники будет реализован путем возложения соответствующих обязанностей на уже имеющийся отдел по техническому обслуживанию и ремонту - ОТОиР. Это значит, что не потребуется дополнительных расходов на организацию рабочих мест, так как такой ресурс уже есть.

Перейдем к финансовым показателям:

Затраты на детали компьютеров будут составлять 637 000 рублей, что на 20% ниже, чем в сервисных центрах.

Зарплатный фонд составляет около 1 400 000 руб. (включая НДФЛ и выплаты во внебюджетные государственные фонды на троих сотрудников). Также следует отметить, что дополнительных расходов вуз не будет нести, так как рабочая сила уже есть.

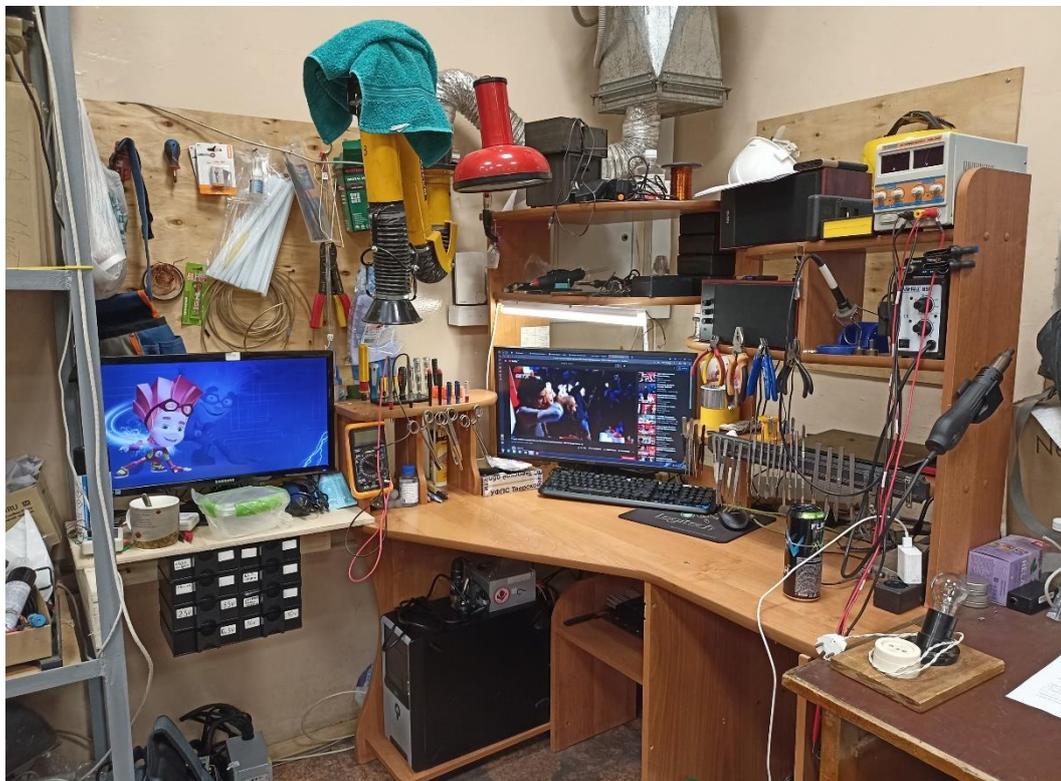
На основании изложенного возможно прийти к выводу, что организация отдела по техническому обслуживанию компьютерной техники внутри университета экономически целесообразна.

В целях модернизации технического ремонта ОТОиР необходимо оснастить рабочие места всех сотрудников следующим оборудованием:

1)Осциллограф;

- 2) Мультиметр;
- 3) Паяльная станция;
- 4) Лабораторный блок питания;
- 5) Биноклярный микроскоп.

А также расходные материалы (флюсы, олово, спирт и т.д.).



**Рисунок 2 – Рабочее место сотрудника ОТОиР**

К сожалению, всё оборудование на данном столе – это личное оборудование, которое наши сотрудники покупали за свой счёт.

При правильной и грамотной организации рабочего процесса и оснащением отдела необходимым оборудованием, ремонт техники будет выполняться в срок от 1 до 5 рабочих дней. Соответственно, время на выявление недостатков, обнаруженных после ремонта, уменьшится. Существенным плюсом будет являться упрощение организации работы, так как не потребуются осуществление транспортировки до места ремонта техники.

Особое внимание следует уделить экономическим показателям. Экономия бюджетных средств организации составит более 400 000 рублей в год, и это только за ремонт системных блоков. А на их ремонт приходится всего 25% от общего количества заявок.

Принимая во внимание тот факт, что при наличии необходимого оборудования мы сократим расходы на компоненты, так как сможем отремонтировать их, а также сможем отремонтировать серверное оборудование,

лабораторные стенды и прочую электронику, экономия бюджетных средств будет в разы больше.

### **Заключение**

В завершении всего следует отметить, что ремонтное обслуживание в настоящее время как в Иркутской области, так и на российском рынке в целом совершенствуется постоянно и поэтому вопрос о необходимости модернизации ремонтного цеха, основанного на базе университета давно назрел и требует внесения предложенных изменений.

### **Библиографический список**

1. Кеннеди, К. Классификация системных плат ПК / К. Кеннеди – М.: Вильямс, 2006. – 73с.
2. Гамильтон, К. Техническое обслуживание системных плат / К. Гамильтон - М.: Вильямс, 2002. – 357с.
3. Кеннеди, К. Питание процессора и набора системной логики ПК / К. Кеннеди - М.: Вильямс, 2003. – 116с.
4. Мак-Квери, С. Основные виды ремонта материнских плат / С. Мак-Квер – М.: Эксмо, 2007. – 258с.
5. Хелеби, С. Руководство по перепрограммированию микросхемы BIOS различных производителей / С. Хелеби – М.: Вильямс, 2004. – 89с.

<sup>1</sup> Валиулин М.В., сотрудник отдела технического обеспечения и ремонта ИРНИТУ, обучающийся гр. РДб-20-1

<sup>2</sup> Рябинова К.О., обучающийся гр. РДб-20-1

<sup>3</sup> Фискин Е.М., доцент кафедры «Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем» Экспертиза статьи выполнена 13.12.2022 г., протокол № 175

УДК 621.396

### **ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ СЕТЕВОЙ ПЕРЕДАЧИ, ЗАПИСИ И ХРАНЕНИЯ МАТЕРИАЛА В ОБЛАСТИ УЧЕТА РЕСУРСОВ**

Полуянов Р.М.<sup>1</sup>, Дмитриев А.А.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

«Систему сетевой передачи, записи и хранения учебного материала кафедры РЭ и ТС» следует понимать как совокупность определенных ресурсов, направленных на создание специальной электронной платформы, которая будет осуществлять дистанционную онлайн-передачу учебного материала между преподавателем и студентом, а так же организует контроль выполнения заданий.

Более подробное описание системы, и принцип работы были изложены в статье [5].

Система, которая была реализована, позволяла спокойно передать лекционные материалы в режиме реального времени, записывать уроки и хранить их для дальнейшего просмотра. Задача была выполнена. Однако прототип системы был реализован в виде тестовой платформы и нуждался в доработке.

Необходимо было сделать полный анализ, провести декомпозицию и разбор каждого элемента системы и начать модернизовать их. Решение данных задач позволяет достичь поставленной цели, а именно, полноценно реализовать и модернизировать систему сетевой передачи, записи и хранения, что даст студентам возможность дистанционно осваивать учебный материал, и в случае их пропуска занятий, самостоятельно его изучить в дальнейшем и пользоваться не просто прототипом, а полноценной, многофункциональной электронной платформой.

Чтобы модернизировать систему сетевой передачи, записи и хранения учебного материала, необходимо доработать и стилизовать собственный web-сервер. На этом сервере будет размещен сверстаный нами web-сайт, и именно с него можно будет просматривать онлайн-трансляции, а также переходить на специальное облачное хранилище, где будут храниться старые записи.

Опираясь на структурную схему, представленную на рисунке 1, можно получить представление об общей структуре обновленной системы. Видеопоток с IP-камеры переходит в VLS-плеер, где ему присваивается RTSP протокол, для его передачи в режиме реального времени. Далее OBS-кодэк производит сжатие в формате h.264 для передачи в медиасреду на видеохостинг YouTube и одновременно с этим производит запись видеопотока на локальный сервер, к которому привязан облачный сервис NextCloud, где данным присваивается соответствующая по дате и времени маркировка. Перечисленные локальный и облачный сервера установлены и настроены на ОС LinuxUbuntu18.04 и работают в связке друг с другом.

С помощью защищенного SSL-протоколом web-сайта, расположенного на настроенном и оптимизированном сервере при помощи ПО Nginx, установленного также на ОС LinuxUbuntu 18.04, авторизовываясь посредством логина и пароля, с помощью личного кабинета, студенту доступна возможность подключиться к трансляции лекционного материала, или же, в случае отсутствия возможности быть в назначенное время на лекции, посредством гиперссылки на сайте, получить прямую переадресацию на сервис NextCloud, где он сможет взаимодействовать с записями лекций и в случае наличия разрешения администрации производить изменения в имеющейся лекции или добавлять свою информацию.

Сам web-сайт представлен в виде оптимизированной для студентов системы управления учебным материалом кафедры РЭ и ТС. Первоначально разработка дизайна сайта осуществлялась в графическом онлайн-редакторе Figma. Сверстан сайт был при помощи языка разметки HTML5,

каскадных таблиц CSS3 с добавлением к нему динамических элементов через JavaScript.

Разработка и модернизация данной системы является актуальной, так как представляет собой полноценный электронный ресурс с использованием автоматических элементов сетевых технологий. В выпускной квалификационной работе этот проект являлся результатом обучения и внедрения инновационных систем, которые использовались и продолжают быть использованы для Высшего Учебного Заведения ИРНИТУ. Однако отдельные составляющие данной системы, например, автоматические элементы потенциально могут быть использованы в наиболее масштабных информационно-измерительных системах (ИИС), а понимание и опыт интеграции таких элементов на ОС Linux не только упростит их работу, но и поможет в масштабировании системы и её результативности. Например, благодаря разработке данной проектной работы на ОС LINUX появляется перспектива реализации новых элементов разработки в компании ООО НТЦ «КУМИР»

Компания ООО «НТЦ КУМИР» работает на рынке информационных услуг с 2008 года. Её основным направлением является учёт энергоресурсов, таких как: тепловая и электрическая энергии, газ, горячая и холодная вода, прочие жидкости, а также разработка оборудования телеметрии. Для качественного дистанционного мониторинга показаний приборов учета тепла, электроэнергии, горячей и холодной воды и газа, а также дистанционному управлению контроллерами и оборудованием тепловых узлов, контролем качества ресурсов и анализом режимов потребления, в компании ООО НТЦ «КУМИР» была разработана информационно-измерительная система ИИС «КУМИР-Ресурс», которая представляет собой коммуникационную программно-аппаратную IoT платформу с широким спектром применения в различных областях промышленности, сельского хозяйства, экологии и охраны окружающей среды и домашнем хозяйстве.

Платформа ИИС «КУМИР-Ресурс» использует современные технологии и правила дизайна для большой масштабируемой системы. Используется подход виртуализации функциональных компонентов всей системы в отношении их функциональности, производительности и требований безопасности. Виртуализация является интегрированной концепцией архитектурного дизайна ИИС «КУМИР-Ресурс».

Рассмотренная выше система сетевой передачи, записи и хранения материалов, а также её отдельные элементы, как нельзя более полно отвечают требованиям современного рынка сетевых технологий. Практическая реализация и интеграция элементов сетевых технологий данной системы в ИИС-платформу позволит автоматизировать, модернизировать и упростить элементы взаимодействия, что скажется на стоимости разработки элементов и упрощении общего функционала системы.

Для модернизации и упрощения элементов в ИИС-платформе, необходимо провести точечный анализ и декомпозицию процессов работы платформы электронной платформы ИИС «КУМИР-Ресурс», чтобы определить наиболее подходящие элементы сетевых технологий, которые могут быть наиболее удачно интегрированы в данную платформу, и будут наиболее соответствовать для решения поставленных задач.

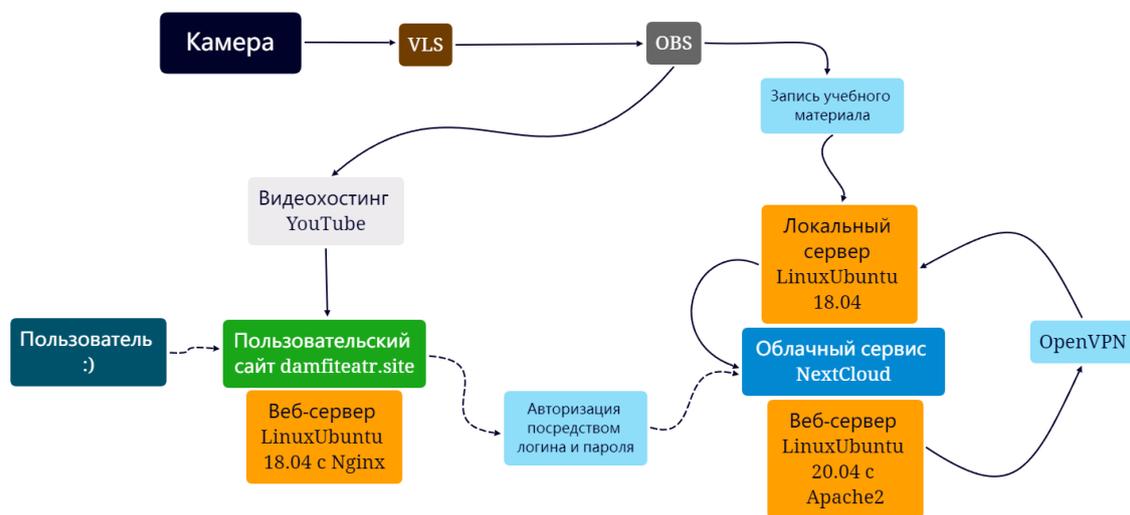


Рисунок 1 – Общая структура модернизированного проекта

### Библиографический список

1. Иванов А.А., Соколов Н.А., Терентьев Д.С., Ярлыкова С.М. Конвергенция сетей связи в российских условиях // Технологии и средства связи. - 2006. - N5. - с. 36-44
2. Кириченко А.В., Хрусталеv А.А: «HTML5 + CSS3. Основы современного WEB-дизайна», 2018 г. – 352с.
3. М. Арнольд: «Администрирование Apache», 2012 г.- 418 с.
4. Джон Дакетт: «HTML и CSS Разработка и дизайн веб-сайтов / HTML and CSS: Design and Build Websites», 2019 г. – 480с.
5. Полуянов Р.М., Шувалов Р.Д., Дмитриев А.А. Разработка системы сетевой передачи, записи и хранения учебного материала кафедры РЭ и ТС // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2022. 4(97). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13445> (дата обращения: 5.12.2022)
6. Серверная документация Apache HTTP Server [Электронный ресурс] / <http://httpd.apache.org/> Режим доступа – <http://httpd.apache.org/docs/> , свободный (дата обращения: 21.06.2021)

<sup>1</sup> Полуянов Р.М., студент, гр.аПМФ-22-1, Институт Высоких Технологий, Иркутский национальный исследовательский технический университет,

<sup>2</sup> Дмитриев А.А., ст. преподаватель кафедры радиоэлектроники и телекоммуникационных систем, Иркутский национальный исследовательский технический университет  
Экспертиза статьи выполнена 13.12.2022 г., протокол № 175

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТОКОСЪЕМА МОНОРЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Дунаев М.П.<sup>1</sup>, Матвеев Е.Л.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

**Введение.** Монорельсовый транспорт – это транспорт, который движется по одному рельсу, по обособленному полотну, на высоте от 5 до 10 метров над землей [1]. По конструкции монорельсовые дороги могут быть двух типов – подвесные и навесные. Подвесными называют монорельс, у которых центр тяжести вагонов расположен ниже точки опоры их ходовых частей, вагон монорельса подвешен снизу к точке опоры. Навесными называют монорельс, у которого центр тяжести подвижного состава находится выше точки опоры, вагон монорельса находится сверху опоры. Развитие скоростного электрического транспорта, такого как монорельс - является одним из важных вопросов, для быстрого перемещения и разгрузки дорожного движения в городе [2, 3].

**Существующие виды токосъема монорельса.** Анализ расположения систем токосъема показывает, что для эксплуатации существующих монорельсовых дорог достаточно двух токопроводов, что существенно снижает экономические затраты на их сооружение. Для монорельсов с системой токосъема с плоским контактом используются жесткие токопроводы, представляющие собой контактный рельс (рисунок 1), и взаимодействующие с ними токоприемники. Разработкой одной из таких систем с 1912 г. занимается немецкая фирма Vahle, название которой происходит от имени ее автора инженера Паула Вале [4 - 6].



Рисунок 1 – Пример конструкции системы токосъема

В соответствии с пропускаемым током (200 - 1500 А) и условиями окружающей среды рассчитывается площадь контактного рельса, выполняемого в различных модификациях: Т-образный и Т-образный полый, нормального исполнения и вытянутый, с медным оголовником, медным со стекловолокном (в условиях повышенной влажности и коррозионности), алюминиевым (экономичные из-за малого веса и достаточной проводимости) и цельномедный (при повышенных значениях номинального тока и коррозионности среды).

Кроме того, для всех токопроводов может использоваться искусственный подогрев. Длина секции контактного рельса составляет 7 или 14 метров.

**Совершенствование токосъема монорельса.** Система электроснабжения представляет собой контактную систему токосъема, состоящую из жестких токопроводов охватывающего типа, с внутренними гранями которых взаимодействуют контактные элементы токоприемников.

Поперечное сечение рабочей поверхности контактного элемента представляет собой дугу меньшего радиуса по сравнению с внутренней поверхностью токопровода (рисунок 2: 1 – токопровод, 2 – контактный элемент).

Преимуществом предлагаемой системы также является улучшенные динамические характеристики токоприемников за счет снижения стрелы провеса токопровода, имеющего меньшую массу.

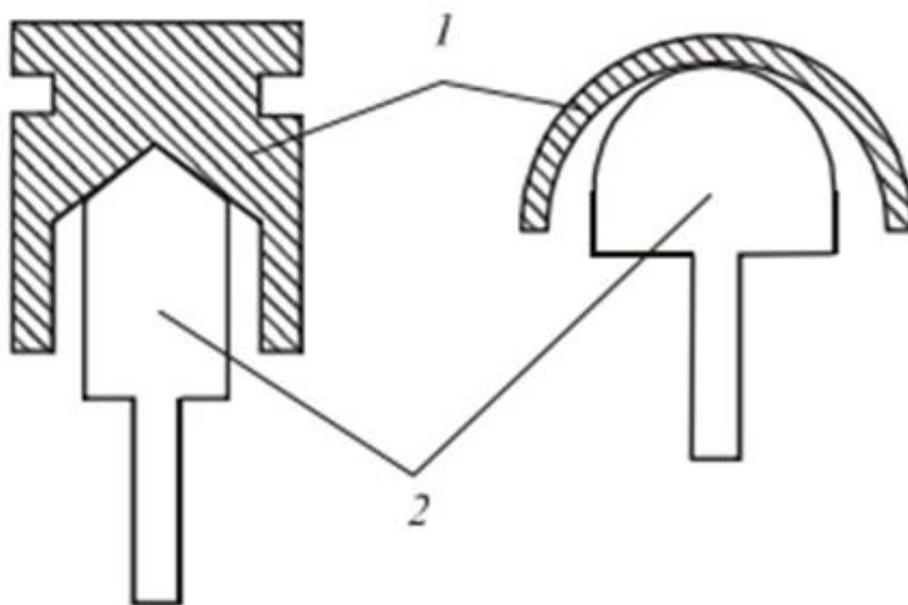


Рисунок 2 – Системы токосъема: слева – существующая, справа – предлагаемая

**Вывод.** Широкое применение монорельсового транспорта в российских условиях тормозится как экономическими обстоятельствами, так и отсутствием соответствующих стандартов и квалифицированных кадров, что является причинами приоритета строительства метрополитена.

Анализ существующих конструкций зарубежных систем токосъема показывает, что токопроводы можно использовать неизолированными, без защитных кожухов на перегонах, где доступ посторонних лиц ограничен высотой эстакады, на станциях применение изоляции должно соответствовать условиям техники безопасности из расчета расположения токоведущих элементов.

Преимуществом новой системы также является улучшенные динамические характеристики токоприемников за счет снижения стрелы провеса токопровода, имеющего меньшую массу.

### Библиографический список

1. Матвеев Е.Л. Проектирование монорельсовой дороги на участке Иркутск – Ангарск // Иркутск: ИРНТУ, 2021.
2. Совершенствование систем токосъема московской монорельсовой транспортной системы [Электронный ресурс]  
Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-sistem-tokosema-moskovskoy-monorelsovoy-transportnoy-sistemy/viewer>
3. Особенности устройств токосъема зарубежных монорельсовых транспортных систем [Электронный ресурс]  
Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-ustroystv-tokosema-zarubezhnyh-monorelsovyh-transportnyh-sistem/viewer>
4. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Черепанов А.В. Интеллектуальные технологии управления качеством электроэнергии. Иркутск: Издательство ИРНТУ. 2015. 218 с.
5. Преобразователи частоты VLT. [Электронный ресурс]. URL: <https://drives.ru/produkcija/preobrazovateli-chastoty-vlt/> (09.02.2020).
6. Лезнов Б.С. Технологические основы использования регулируемого электропривода в насосных установках // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. № 5(53). 2012. С. 24-25.

<sup>1</sup> Дунаев М.П., профессор кафедры ЭЭТ ИРНТУ

<sup>2</sup> Матвеев Е.Л., обучающийся, гр. КТЭМ-21-1

Экспертиза статьи выполнена 24.11. 2022 г., протокол № 17

**ШАГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**Дунаев М.П.<sup>1</sup>, Левков Ю.А.<sup>2</sup>, Ведров Д.А.<sup>3</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

**Введение.** В последнее время наблюдается рост использования шаговых двигателей (ШД) благодаря их высокой точности позиционирования и повторяемости перемещений. В задачах, где необходимо позиционирование объекта в пространстве, предъявляются два важных требования: точность позиционирования и время его выполнения [1].

Для ШД точность позиционирования определяется его конструктивным исполнением, следовательно один из вариантов повышения точности - усложнение конструкции ШД, что в основном, является задачей компаний, разрабатывающих их. Но увеличить точность можно и системно, путем дробления шага двигателя, т.е. использования режимов «полушаг» и «микрошаг». Быстродействие, в свою очередь, в основном зависит от системы управления (СУ) и от выбранного режима работы. Следовательно, данный параметр уже зависит напрямую от выбранной СУ ШД, и определяется схемотехническими и программными решениями [2].

**Общие сведения о шаговых двигателях.** Шаговый электродвигатель — это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги) ротора. Конструкция четырех обмоточного ШД показана на рисунке 1.

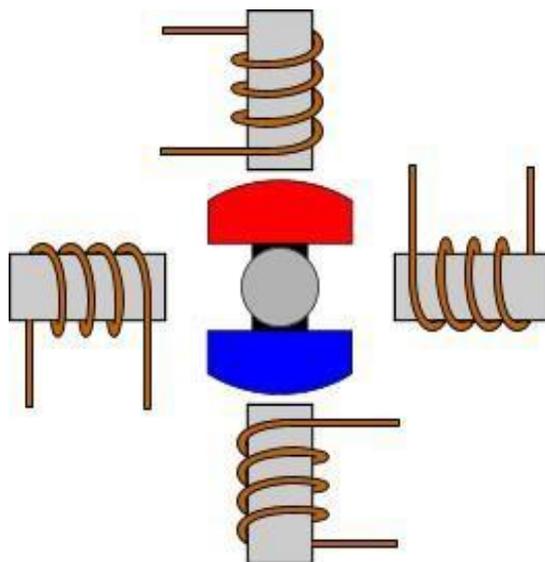


Рисунок 1 – Пример конструкции четырех обмоточного ШД

Конструктивно шаговые электродвигатели состоят из статора, на котором расположены обмотки возбуждения, и ротора, выполненного из магнито-мягкого или из магнито-твёрдого материала. Шаговые двигатели с магнитным ротором позволяют получать большой крутящий момент и обеспечивают фиксацию ротора при обесточенных обмотках (рисунок 1).

**Способы управления шаговым двигателем.** Если в процессе управления используется возбуждение только одной обмотки в любой момент времени, то ротор будет поворачиваться на фиксированный угол, который будет удерживаться, пока внешний момент не превысит момента удержания двигателя в точке равновесия.

Выделяют три основных режима работы ШД:

- полношаговый режим,
- полушаговый режим,
- микрошаговый режим.

На рисунке 2 показана последовательность управления для режима с единичным шагом.



**Рисунок 2 – Последовательность управления для режима с единичным шагом**

**Основные характеристики шагового двигателя.** Электрически, реальный двигатель отличается от идеального в основном ненулевым сопротивлением обмотки, а также ферромагнитными составляющими, которым свойственно насыщаться магнитным полем, что приводит к гистерезисным потерям и потерям на вихревые токи. Насыщение ограничивает момент, а вихревые токи и гистерезисные потери вызывают нагрев мотора. Рассмотрим кривую зависимости крутящего момента шагового двигателя от скорости (рисунок 3). Из графика видно, что момент, а следовательно, и ток, возрастают очень быстро при скоростях ниже определенного предела, вплоть до значений, приводящих к повреждению мотора. Чтобы избежать этого, драйвер должен ограничивать нарастание тока. Поскольку момент пропорционален току, момент будет постоянен, начиная с момента удерж-

жания до порогового значения скорости, а при скорости выше порога - ток будет ограничен индуктивностью обмоток.



Рисунок 3 – Кривая зависимости крутящего момента шагового двигателя от скорости

**Заключение.** Основными параметрами шагового двигателя являются:

1. Крутящий момент.
2. Шаг - величина шага.
3. Ток - косвенно связан с крутящим моментом, но в основном он говорит о том, какой драйвер нужно будет подобрать к двигателю.
4. Напряжение питания - показывает, какое постоянное напряжение можно подавать на обмотку.
5. Сопротивление обмоток - омическое сопротивление обмоток, в основном необходимо для расчета потерь мощности.
6. Индуктивность - показывает, насколько крута будет кривая механической характеристики при одинаковом напряжении питания драйвера с ШИМ.

#### Библиографический список

1. Т. Кенио. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. Москва: Энергоатомиздат, 1987. 189 с.
2. А. В. Емельников, А. Н. Шилин. Шаговые двигатели: учебное пособие. Волгоград: ВолГТУ, 2005. 48 с.

<sup>1</sup> Дунаев М.П., профессор кафедры ЭЭТ ИРНИТУ.

<sup>2</sup> Левков Ю.А., обучающийся, гр. КТЭМ-21-1.

<sup>3</sup> Ведров Д.А., обучающийся, гр. КТЭМ-21-1.

Экспертиза статьи выполнена 24.11. 2022 г., протокол № 17

## БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Дунаев М.П.<sup>1</sup>, Кокин П.Д.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

**Введение.** С каждым годом использование электрической энергии в промышленности постоянно возрастает в связи с созданием нового автоматизированного производственного оборудования, увеличением протяженности электрических сетей и т.д. Электроэнергетика является основой функционирования экономики и жизнеобеспечения.

Согласно закону № 35-ФЗ [1] электроэнергетика является отраслью экономики, которая включает в себя комплекс экономических отношений, возникающих в процессе производства, передачи электрической энергии, сбыта и потребления электрической энергии с использованием производственных объектов, принадлежащих субъектам электроэнергетики.

Эксплуатируя электроустановки под напряжением до 1000 В и выше 1000 В есть риск поражения электрическим током при прямых или косвенных контактах, а также возникновения пожара или взрыва. Опасность тока в том, что по сравнению с другими факторами его невозможно обнаружить заранее, используя органы чувств, а только с помощью измерительных приборов.

Поражение электрическим током является одной из распространенных причин несчастных случаев на производстве. Воздействие тока на человека приводит к электротравме или к летальному исходу. Это возникает из-за неудовлетворительного обучения работников, халатного отношения к электробезопасности, невыполнения основных правил и требований охраны труда в процессе трудовой деятельности.

По данным Ростехнадзора [2] за 2021 год произошло 50 несчастных случаев со смертельным исходом в ходе эксплуатации энергоустановок. Результаты расследования показали, что основной причиной электротравматизма является нарушение действующих требований охраны труда.

Предотвращение электротравматизма на производстве состоит из комплекса технических, организационных и иных мероприятий.

**Нормативная документация по электробезопасности.** Нормативные документы, регламентирующие электробезопасность (ЭБ):

- Трудовой Кодекс Российской Федерации;
- Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденные приказом Минтруда России от 15.12.2020 г. № 903н;
- Правила устройства электроустановок (ПУЭ, седьмое издание);
- Правила технической эксплуатации электропотребителей (ПТЭЭП), утвержденные приказом Минэнерго России 13.01.2003 г. № 6;

- Порядок обучения и проверки знаний требований охраны труда работников организаций, утвержденных совместным постановлением Минтруда и Минобразования России 13.01.2003 г. № 1/29.

Все электрооборудование должно быть разработано, произведено и смонтировано в соответствии с нормами ЭБ. Возможность поражения пользователей электрическим током должна быть полностью исключена. При этом необходимым является соблюдение единства основных терминов и определений. Все понятия в данной сфере стандартизированы и установлены ГОСТ Р 12.1.009-2009 "Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения" [3].

Также действуют следующие ГОСТы:

- Р 12.1.019-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;

- Р 54127-2-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Сети электрические распределительные низковольтные напряжением до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока. Электробезопасность. Аппаратура для испытания, измерения или контроля средств защиты. Часть 2. Сопротивление изоляции;

- Р 54127-3-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Сети электрические распределительные низковольтные напряжением до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока. Электробезопасность. Аппаратура для испытания, измерения или контроля средств защиты. Часть 3. Полное сопротивление контура

- Р 54127-4-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Сети электрические распределительные низковольтные напряжением до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока. Электробезопасность. Аппаратура для испытания, измерения или контроля средств защиты. Часть 4. Сопротивление заземления и эквипотенциального соединения и другие.

**Основы электробезопасности.** Все случаи поражения человека током в результате прохождения тока через человека являются следствием его прикосновения не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение. В одних случаях включение человека в электрическую цепь сопровождается прохождением через него малых токов и окажется неопасным, в других – токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

Исход воздействия тока на человека зависит от ряда факторов, в том числе от значения тока, длительности протекания его через тело человека, рода и частоты тока, индивидуальных свойств человека, а также от характеристик электроустановки, окружающей среды и класса помещения по опасности поражения электрическим током [4].

Проходя через организм человека, ток производит термическое, электролитическое и биологическое воздействия.

*Термическое воздействие* тока подразумевает появление на теле ожогов разных форм, перегревание кровеносных сосудов и нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока.

При *электролитическом воздействии* - расщепление крови, плазмы в тканях организма, вызывая существенные изменения ее физико-химического состава.

*Биологическое воздействие* вызывает нарушение работы мышечной системы. Возникают непроизвольные судорожные сокращения мышц, опасные для органов дыхания и кровообращения, таких как легкие и сердце, что может привести к нарушению или прекращению их функциональности.

По характеру поражения током человека электротравмы классифицируются на общие и местные. Классификация травм приведена на рисунке 1.

**Мероприятия по предупреждению несчастных случаев и снижению электротравматизма.** Лучший способ свести количество несчастных случаев от поражения электрическим током к минимуму - их предупреждение. Необходимо широко распространять действительные сведения об опасности, которую несет электрический ток, изучать и соблюдать правила электробезопасности, проводить обучение персонала и бороться с ложными представлениями о «безопасности» низкого напряжения.

Организационные и технические мероприятия по электробезопасности:

- оформление наряда-допуска распоряжения или перечня работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- выдача разрешения на подготовку рабочего места;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончание работы;
- необходимые отключения и меры, препятствующие подаче напряжения;
- вывешивание запрещающих плакатов;
- проверка отсутствия напряжения;
- установка заземления;
- вывешены указательные плакаты «заземлено».

При эксплуатации электрооборудования необходимо широко использовать защитные средства для изоляции человека от токоведущих частей и от земли (резиновые перчатки, галоши, изолированные штанги, щипцы, инструмент с изолированными ручками).

Необходимо также широко применять приборы, с помощью которых можно обнаружить напряжение, и испытательные приборы для определения исправности изоляции.

Указанные защитные средства необходимо периодически проверять испытанием на повышенное напряжение, особенно изделия из резины, изолирующие свойства которой резко падают под воздействием бензина, кислот, щелочей, а также под влиянием света, высокой температуры и механических повреждений.

Особую осторожность надо соблюдать при работе в помещениях с повышенной степенью опасности поражения электрическим током [5].



**Рисунок 1 – Классификация электротравм**

**Заключение.** В целях снижения электротравматизма первоочередной задачей является предупреждение несчастных случаев. Необходимо регу-

лярно осуществлять контроль за состоянием электрооборудования, электрических сетей, систем зануления и заземления, квалифицированно проводить обучение персонала безопасным приемам труда, в том числе основам электробезопасности и технике безопасности при работе на объектах электроэнергетики с электроустановками, электрооборудованием.

Необходимо так организовать эксплуатацию электроустановок, чтобы была исключена всякая возможность ошибок и нарушений со стороны обслуживающего персонала. Высокая техническая грамотность персонала, а также строгое соблюдение дисциплины, неукоснительное выполнение требований инструкций по охране труда являются основой организации безопасной эксплуатации электроустановок.

### Библиографический список

1. Федеральный закон от 26.03.2003 N 35-ФЗ "Об электроэнергетике" (с изменениями и дополнениями, вступил в силу с 01.07.2022).

Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/?ysclid=laca9hg7d1775119258](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/?ysclid=laca9hg7d1775119258)

2. Информация о несчастных случаях со смертельным исходом, произошедших в ходе эксплуатации энергоустановок организаций, подконтрольных органам Ростехнадзора, за 12 месяцев 2021 года.

Режим доступа: [http://szap.gosnadzor.ru/activity/energonadzor/nesc\\_sluch/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%20%D0%9D.%D0%A1.%20%D0%B7%D0%B0%2012%20%D0%BC%D0%B5%D1%81%202021.pdf](http://szap.gosnadzor.ru/activity/energonadzor/nesc_sluch/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%20%D0%9D.%D0%A1.%20%D0%B7%D0%B0%2012%20%D0%BC%D0%B5%D1%81%202021.pdf)

3. Понятие электробезопасности Источник: <https://www.trudohrana.ru/article/103931-elektrobezopasnost>.

4. Электробезопасность. Теория и практика: учебное пособие для вузов / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков, А.Ф. Монахов; под ред. В.Т. Медведева. – 3-е издание., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 280 с.

5. Мероприятия по предупреждению несчастных случаев от электрического тока.

Режим доступа: <https://lemzspb.ru/meropriyatiya-po-preduprezhdeniyu-neschastnykh-sluchayev-ot-elektricheskogo-toka/>

<sup>1</sup> Дунаев М.П., профессор кафедры ЭЭТ ИРНИТУ.

<sup>2</sup> Кокин П.Д., обучающийся, гр. КТЭМ-21-1.

Экспертиза статьи выполнена 24.11. 2022 г., протокол № 17

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПУСКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

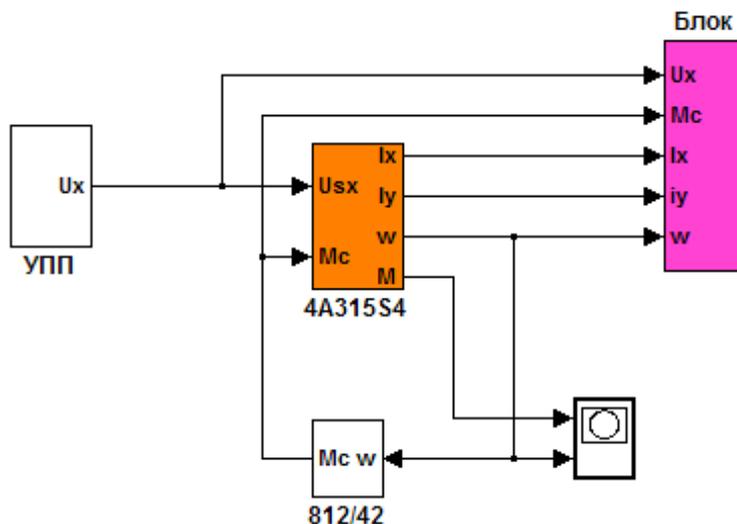
Мосейчук Н.С.<sup>1</sup>, Ковригин Д.А.<sup>2</sup>, Павлов В.Е.<sup>3</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

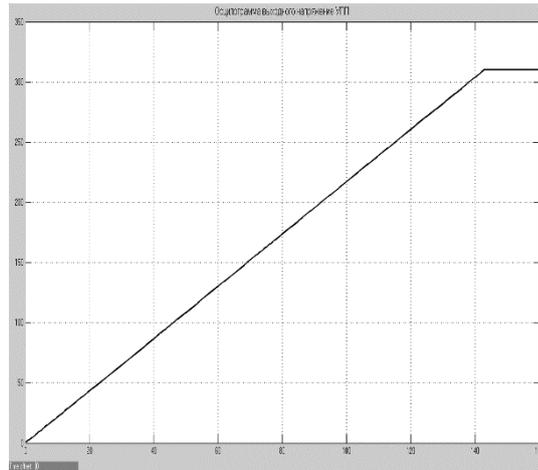
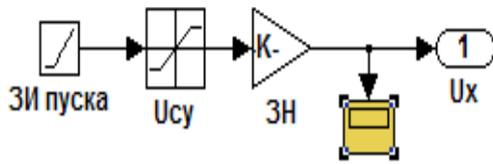
Одна из эффективных возможностей повышения надежности и экономичности работы электроприводов с асинхронными двигателями связана с использованием в их структурах тиристорных пусковых устройств, называемых также мягкими пускателями (плавными пускателями) [1,2]. Термин «плавный пуск» употребляется в отношении целого ряда устройств, в основе которых лежат разные методы их построения. Устройства для плавного пуска могут регулировать следующие характеристики привода:

- вращающий момент;
- напряжения обмоток статора в разомкнутом электроприводе;
- напряжения обмоток статора в замкнутом электроприводе с обратной связью по скорости вращения;
- ток статора двигателя.

Модель электропривода насоса SCP-250-450-НА-SLC 200/4-6kV с электродвигателем 4A315S4Y3 с применением устройства плавного пуска показана на рисунке 1. На рисунке 2 приведена модель самого устройства плавного пуска (рисунок 2а) и зависимость напряжения  $U_{sx}(t)$ , подаваемого при пуске насоса на модель асинхронного двигателя во вращающейся системе координат (рисунок 2б).



**Рисунок 1 – Модель насоса SCP-250-450-НА-SLC 200/4-6kV с электродвигателем 4A315S4Y3 с применением устройства плавного пуска**

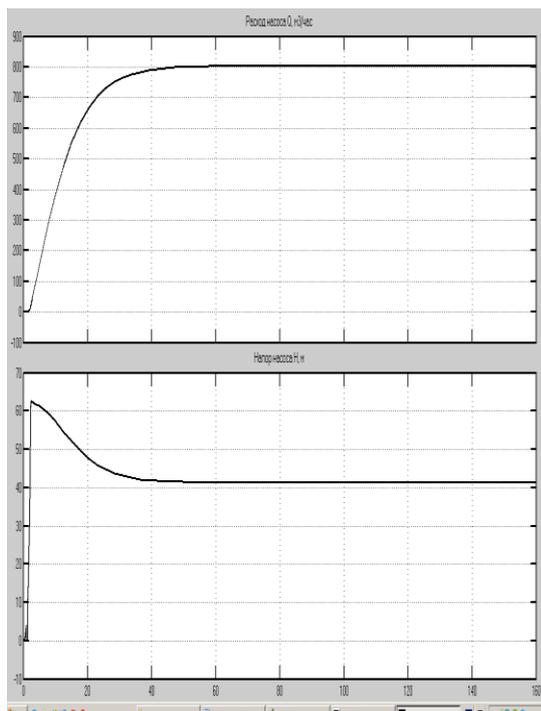


а)

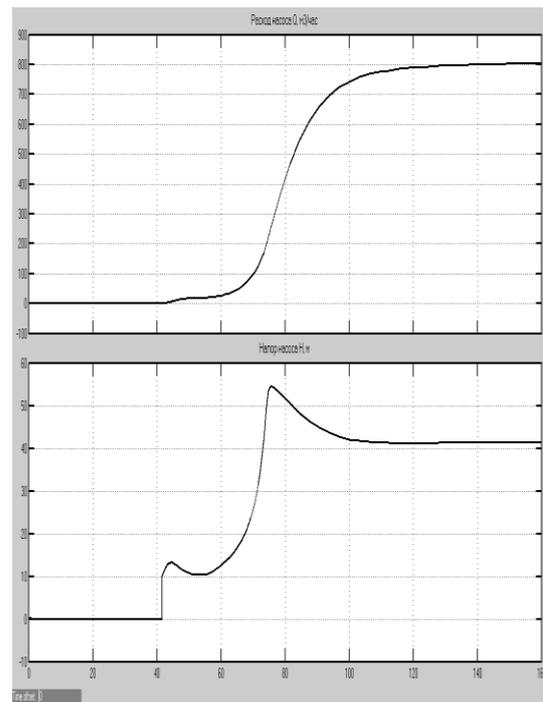
б)

**Рисунок 2– Модель устройства плавного пуска УПП (рисунок 2а) и зависимость напряжения  $U_{sx}(t)$ , подаваемого при пуске насоса на модель асинхронного двигателя во вращающейся системе координат (рисунок 2б)**

На рисунке 3 показаны осциллограммы расхода и напора насоса при прямом (рисунок 3а) и плавном (рисунок 3б) пусках насоса.



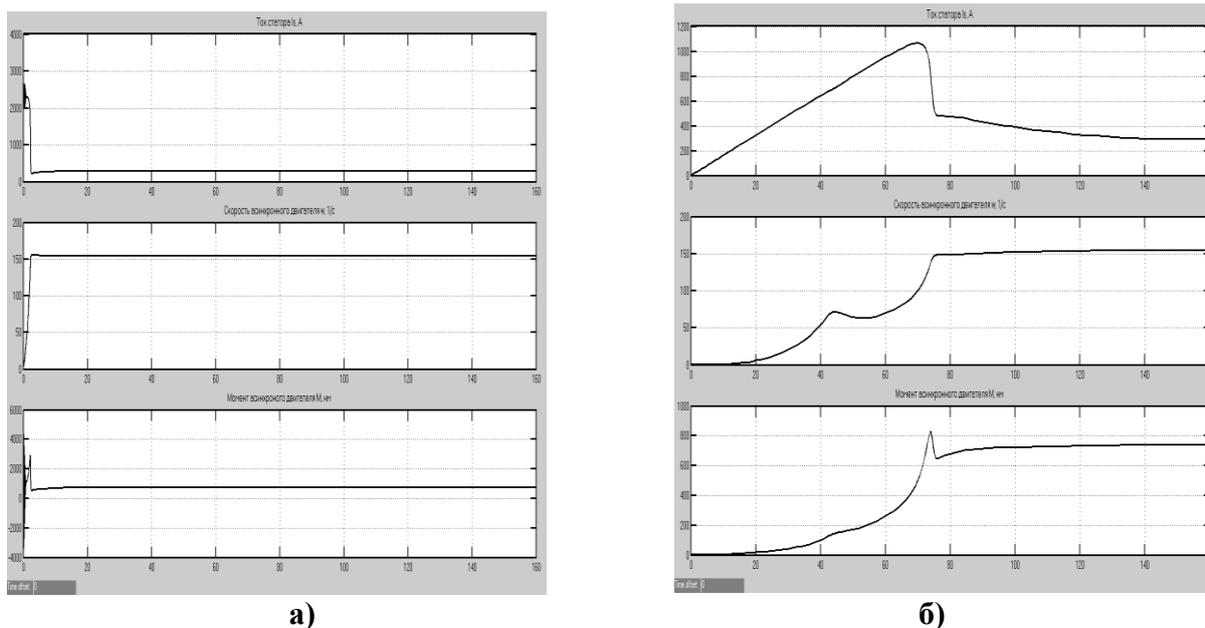
а)



б)

**Рисунок 3 – Осциллограммы расхода и напора насоса при прямом (рисунок 3а) и плавном (рисунок 3б) пусках насоса.**

На рисунке 4 показаны переходные процессы по току статора, скорости  $\omega$  и моменту вращения  $M$  асинхронного двигателя при прямом (рисунок 4а) и плавном (рисунок 4б) пусках насоса.



**Рисунок 4 – Переходные процессы по току статора, скорости  $\omega$  и моменту вращения  $M$  асинхронного двигателя при прямом (рисунок 4а) и плавном (рисунок 4б) пусках насоса**

Анализ полученных осциллограмм позволяет определить, что:

- при прямом пуске время переходного процесса по расходу и напору насоса до установившегося значения равно 40 секундам, при плавном пуске - 100 секундам;
- при прямом пуске время переходного процесса по скорости двигателя до установившегося значения равно 2,5 секундам, при плавном пуске - 75 секундам;
- максимальный пусковой ток при прямом пуске 2600 А, а при лавном пуске 1100 А;
- максимальный момент двигателя при прямом пуске 3000 нм, а при плавном пуске 820 нм;

### Библиографический список

1. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках: производственно-практическое издание / Б. С. Лезнов; М.: Энергоиздат, 2006. - 360 с.
2. Гоппе Г.Г., Павлов В.Е. Математические модели динамических процессов в технологическом комплексе электропривод – турбомеханизм – трубопроводная магистраль при управлении производительностью частотой вращения электропривода // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 1 (72). С. 121-125

<sup>1</sup> Мосейчук Н.С., обучающийся, гр. КТЭМ-21-1

<sup>2</sup> Ковригин Д.А., обучающийся, гр. КТЭМ-21-1

<sup>3</sup> Павлов В.Е., доцент кафедры ЭиЭТ

Экспертиза статьи выполнена 21.11.2022, протокол № 16

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДКАЧИВАЮЩЕЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Белых Д.Ю.<sup>1</sup>, Акимов В.С.<sup>2</sup>, Павлов В.Е.<sup>3</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Насосная станция обеспечивает перекачку воды на подающем трубопроводе с максимальной нагрузкой  $G=2000$  м<sup>3</sup>/ч, для обслуживания такой нагрузки установлено три насоса ПН-1-3. Два насоса ПН-1-2 работают в номинальном режиме попеременно в зависимости от графика работы, для равномерного износа агрегатов, а если нагрузка превышает производительность работающего насоса, к нему в работу подключается второй. Третий насос ПН-3 находится на автоматическом резервировании. Подача каждого насоса в отдельности 1032 м<sup>3</sup>/ч. Точно такая же схема работы и у насосов на обратном трубопроводе, ПН-4-5 рабочие насосы, ПН-6 резервный. Максимальная нагрузка  $G=1600$  м<sup>3</sup>/ч, а подача насосов по 812 м<sup>3</sup>/ч.

На каждом насосе установлены электропривода с асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором мощностью 200 кВт и напряжением 6000 В типа АОМ-355S-4У1.

Модернизация насосной станции будет осуществляться с целью обеспечения более энергосберегающих режимов работы насосных агрегатов, а также увеличения их эксплуатационного запаса.

Режимы работы центробежных насосов энергетически наиболее эффективно регулировать путем изменения частоты вращения их рабочих колес [1, 2, 3]. Частота вращения рабочих колес может быть изменена, если в качестве приводного двигателя используется регулируемый.

Для осуществления данного вида регулирования используются преобразователи частоты. Но на данный момент на насосной станции установлены электродвигатели на 6000 В, установка электродвигателей на 380 В, позволит использовать более дешёвые преобразователи частоты.

Средний расход воды на насосной станции составляет 1430 т/ч на прямом трубопроводе и 1300 т/ч на обратном, исходя из этого нет необходимости в установке ПЧ на каждый электродвигатель, будет достаточно по одному преобразователю на каждый трубопровод, на вторую пару рабочих двигателей в целях экономии можно установить устройства плавного пуска.

Модель электропривода насосной станции показана на рисунке 1. На рисунках 2 и 3 приведены модели насосов прямого и обратного трубопровода соответственно.

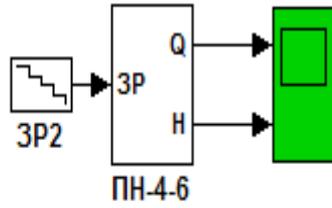
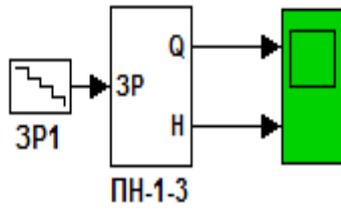


Рисунок 1 – Модель электропривода насосной станции

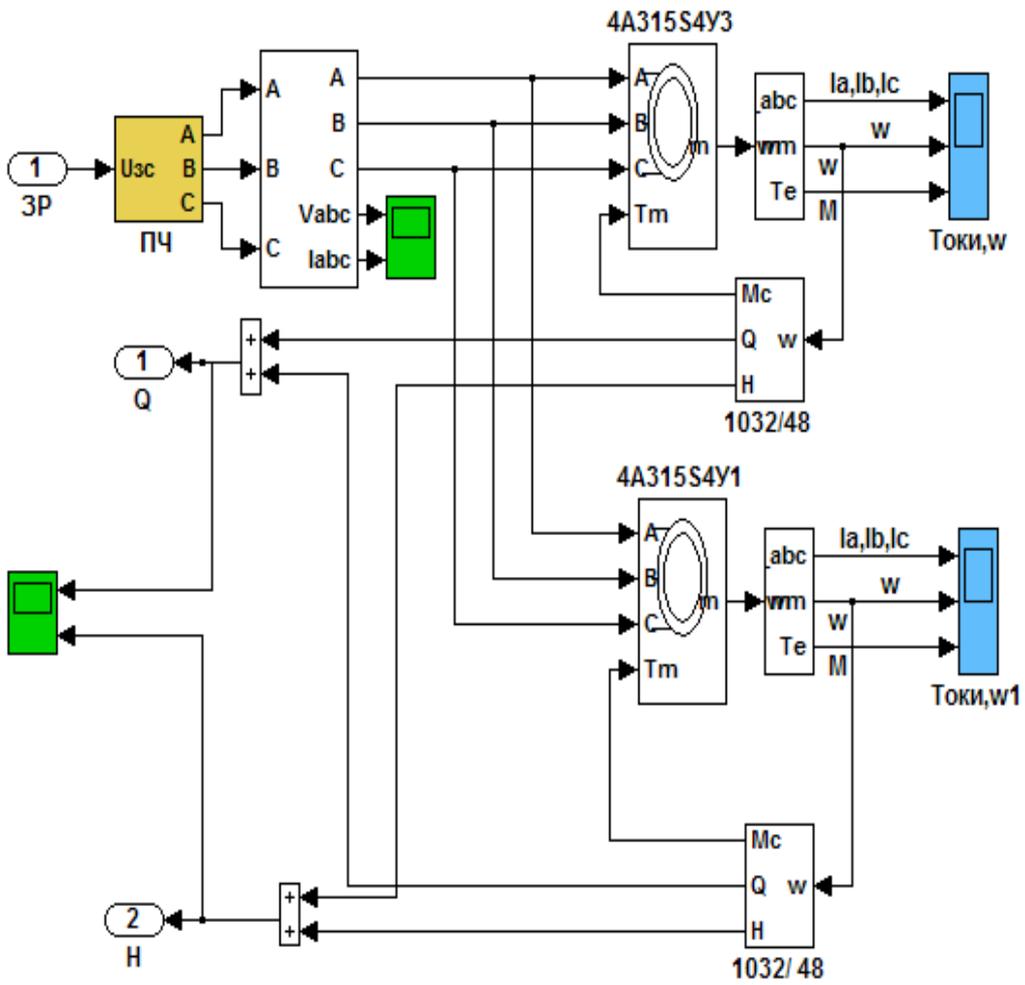
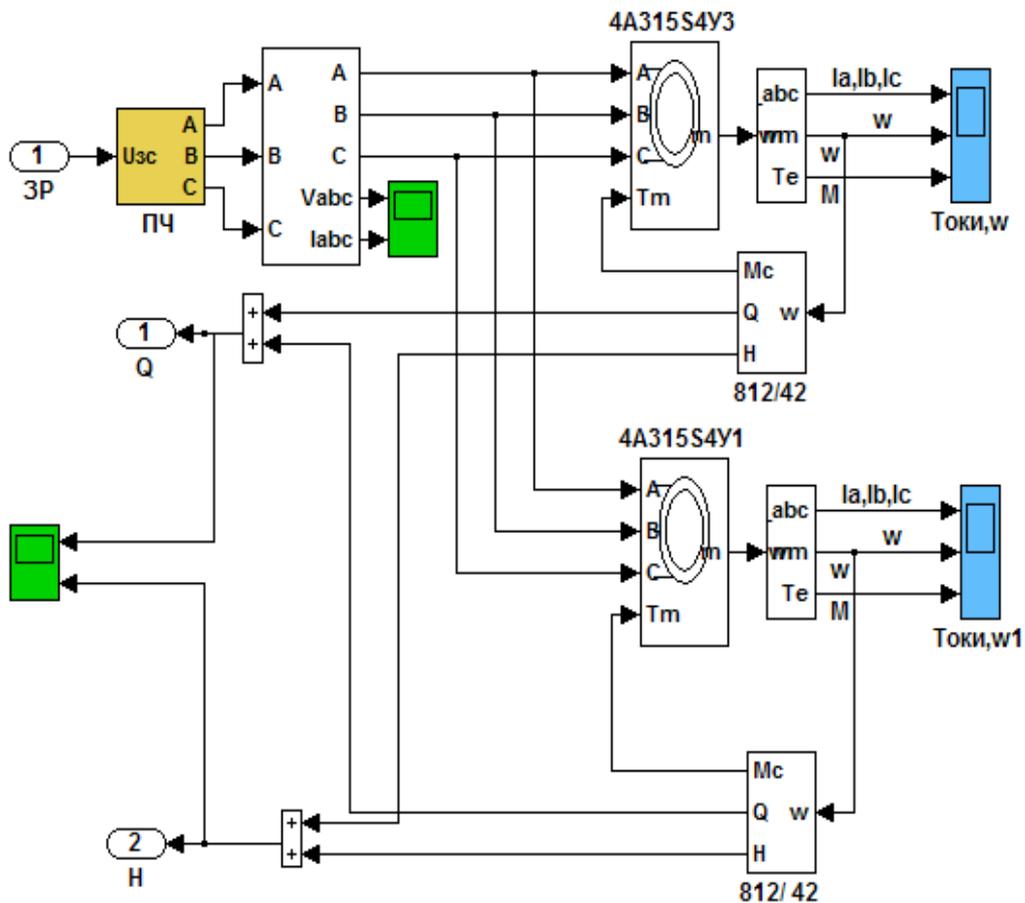
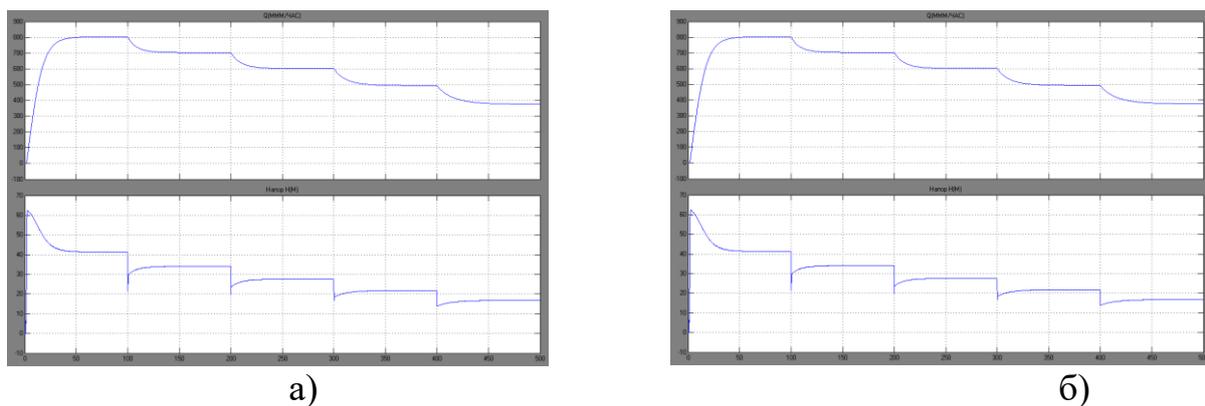


Рисунок 2 – Модель электропривода прямого трубопровода



**Рисунок 3 – Модель электропривода обратного трубопровода**

На рисунке 4 показаны переходные процессы по расходу и напору насоса прямого (рисунок 4а) и обратного (рисунок 4б) трубопровода при пуске и регулировании частоты вращения насосов.



**Рисунок 4 – Переходные процессы по расходу и напору насоса прямого (рисунок 4а) и обратного (рисунок 4б) трубопровода при пуске и регулировании частоты вращения насосов**

Анализ полученных осциллограмм позволяет определить, что:

- производительность и напор при коэффициенте сопротивления трубопроводной магистрали  $A_2 = 2115,58$  соответствуют номинальным параметрам насосного агрегата ПЭ 500-180-2:  $Q_n = 500 \text{ м}^3/\text{час}$  и  $H_n = 1800 \text{ м.в.ст}$  соответственно;
- при увеличении коэффициента  $A_2$  производительность (расход) насоса снижается до значения  $141 \text{ м}^3/\text{час}$ , а напор возрастает до  $2619 \text{ м.в.ст}$ ;
- при увеличении коэффициента  $A_2$  момент и мощность сил сопротивления на валу двигателя снижаются незначительно.

Полученные с помощью осциллограмм значения параметров насоса и электропривода при изменении коэффициента сопротивления трубопроводной магистрали  $A_2$  (шиберное регулирование) сведены в таблицу 1.

**Таблица 1**

**Значения параметров при шиберном регулировании**

Параметр	При $A_2 = 2115,58$	При $A_2 = 4250$	При $A_2 = 9870$	При $A_2 = 40000$
$P_c$ , кВт	2957400	3013000	2943200	2760000
$Q$ , $\text{м}^3/\text{час}$	500	388,4	272,5	141
$M_c$ , Нм	9495	9675	9450	8856
$H$ , м	1800	2142	2420	2619

**Библиографический список**

1. Гоппе Г.Г. Снижение энергетических потерь в трубопроводных магистралях при транспортировании жидкостей и газов // Энергосбережение и водоотведение. №1, 2008. С. 68-71.
2. Гоппе Г.Г. Математическая модель расхода потоков жидкостей в трубопроводах как звено САР. // Автоматизация химических производств. НИИТЭХИМ, 1973 г., №4, С. 32-43.
3. Гоппе Г.Г., Павлов В.Е. Математические модели динамических процессов в технологическом комплексе электропривод – турбомеханизм – трубопроводная магистраль при управлении производительностью частотой вращения электропривода // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 1 (72). С. 121-125

<sup>1</sup> Белых Д.Ю., обучающийся, гр. КТЭМ-22-1

<sup>2</sup> Акимов В.С., обучающийся, гр. ЭНГМ-21-1

<sup>3</sup> Павлов В.Е., доцент кафедры ЭиЭТ

Экспертиза статьи выполнена 21.11.2022, протокол № 16

## СРАВНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ САМОЗАПУСКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Дияров Д.У.<sup>1</sup>, Ходжаев И.Ш.<sup>2</sup>, Павлов В.Е.<sup>3</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

На промышленных предприятиях эксплуатируется большое число электроприводов, исчисляющихся от десятков до нескольких тысяч на одном предприятии.

Отключение электроприводов при кратковременных перерывах электропитания или существенном его снижении может привести к большим материальным потерям из-за расстройств технологического процесса, значительного времени восстановления установившегося режима всей технологической цепи и даже возможных аварий.

При исследовании структурных схем или математических моделей технологических комплексов на ПЭВМ можно получить графики поведения любой переменной уравнений как при отработке входных воздействий, так и в установившемся режиме.

Наиболее «тяжелыми» условиями для самозапуска являются последствия от бестоковых пауз, поэтому их действию на рассматриваемые математические модели уделено наибольшее внимание.

В качестве электромеханического преобразователя электропривода для подавляющего числа механизмов используется асинхронный электродвигатель (АД) с короткозамкнутым ротором.

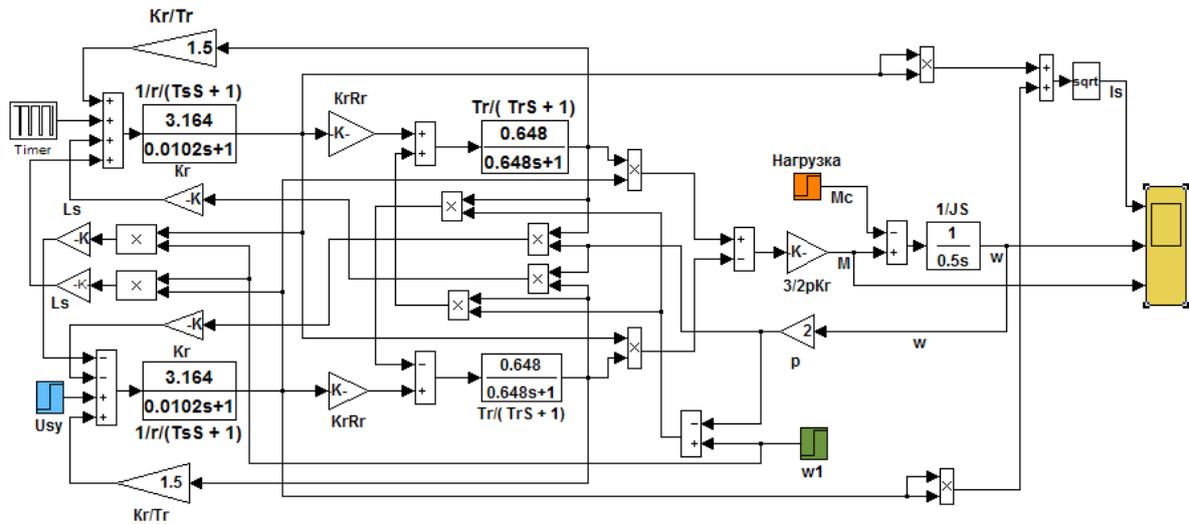
В случае изучения в системе быстродействующих явлений целесообразно представление математической модели АД с учетом его электромагнитных составляющих. В процессах самозапуска, помимо аperiodических составляющих токов двигателя и момента, вызванных процессами пуска появляются еще такой дополнительный фактор как остаточная ЭДС двигателя. При исчезновении питающего напряжения, в соответствии с теорией величина ЭДС спадает по экспоненциальному закону и доходит до нуля за 0,4 – 1 сек. Если в это время питающее напряжение вновь появится, то в зависимости от угла сдвига фаз между напряжением и ЭДС будет наблюдаться дополнительный бросок пускового тока.

Согласно теоретическим исследованиям величина этого всплеска тока может превышать пусковой в 1,1 – 1,5 раза.

Поэтому в качестве основной математической модели АД использовано математическое описание обобщенной электрической машины, Для того, чтобы лучше понять процессы, происходящие в АД, исследуем машину в различных системах координат, сравним результаты и сделаем не-

которые выводы. Заметим, что для представления пространственных векторов используется комплексная плоскость.

Модель для исследования условий самозапуска асинхронного двигателя 4A180S4Y3 во вращающейся системе координат показана на рисунке 1. На рисунке 2 приведены переходные процессы по току, скорости и моменту на валу асинхронного двигателя при пуске и четырёх отключениях питающего напряжения на разные промежутки времени.

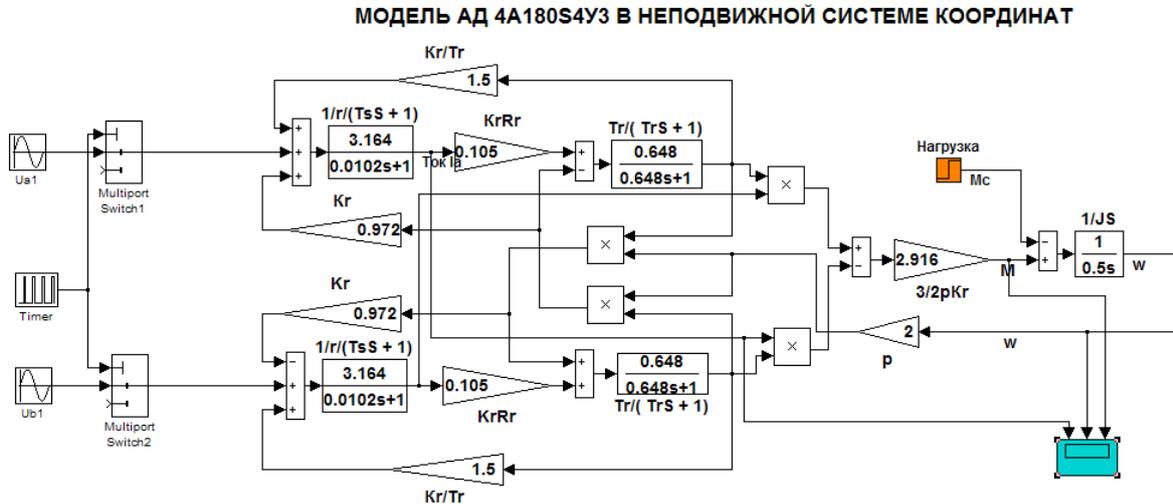


**Рисунок 1 – Модель для исследования условий самозапуска асинхронного двигателя 4A180S4Y3 во вращающейся системе координат**

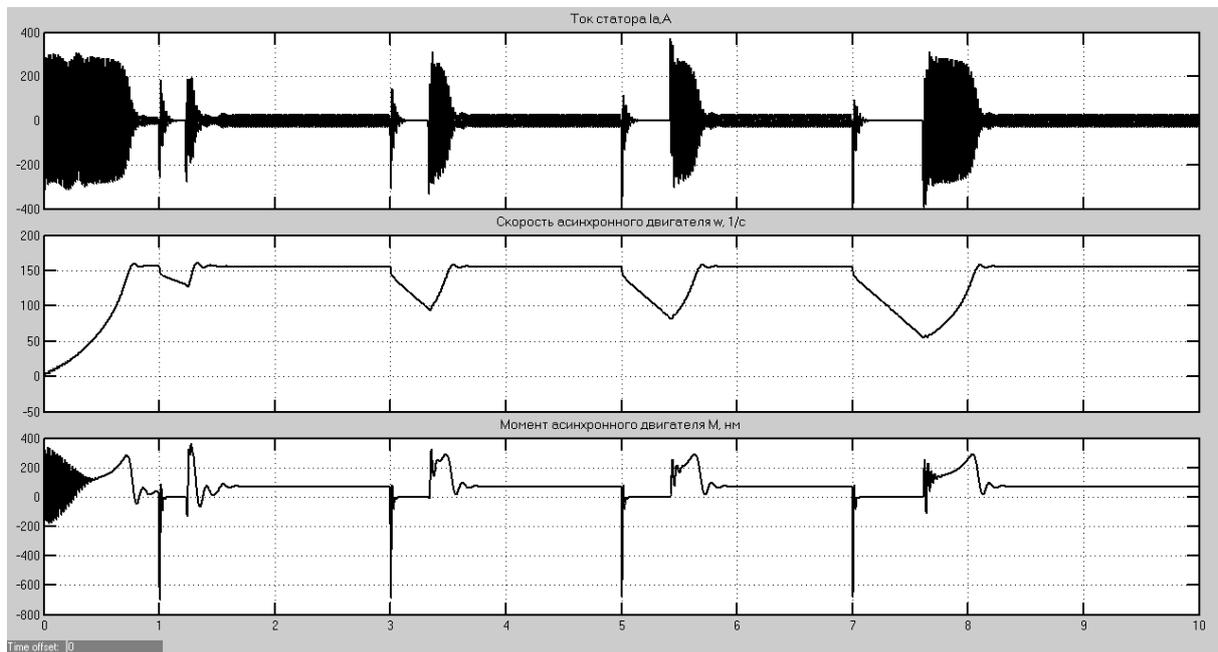


**Рисунок 2 – Переходные процессы по току, скорости и моменту на валу асинхронного двигателя при пуске и четырёх отключениях питающего напряжения на разные промежутки времени**

Модель для исследования условий самозапуска асинхронного двигателя 4A180S4Y3 в неподвижной системе координат показана на рисунке 3. На рисунке 4 приведены переходные процессы по току, скорости и моменту на валу асинхронного двигателя при пуске и четырёх отключениях питающего напряжения на разные промежутки времени.



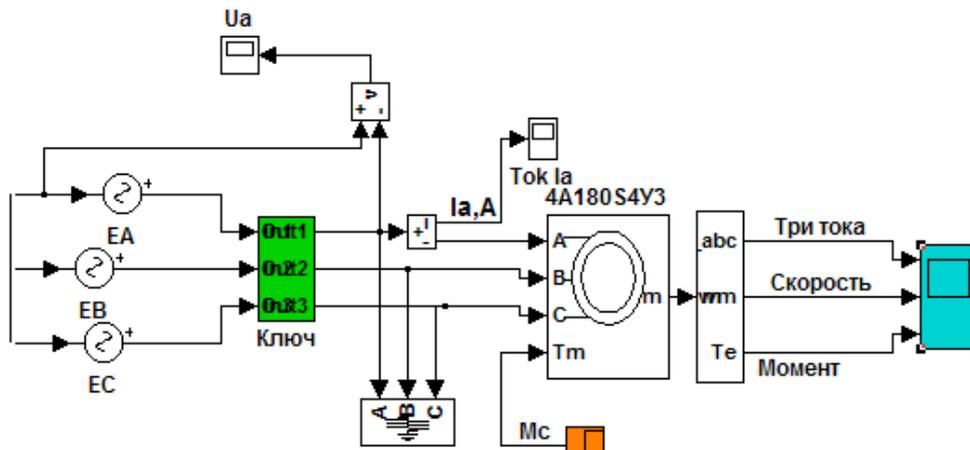
**Рисунок 3– Модель для исследования условий самозапуска асинхронного двигателя 4A180S4Y3 в неподвижной системе координат**



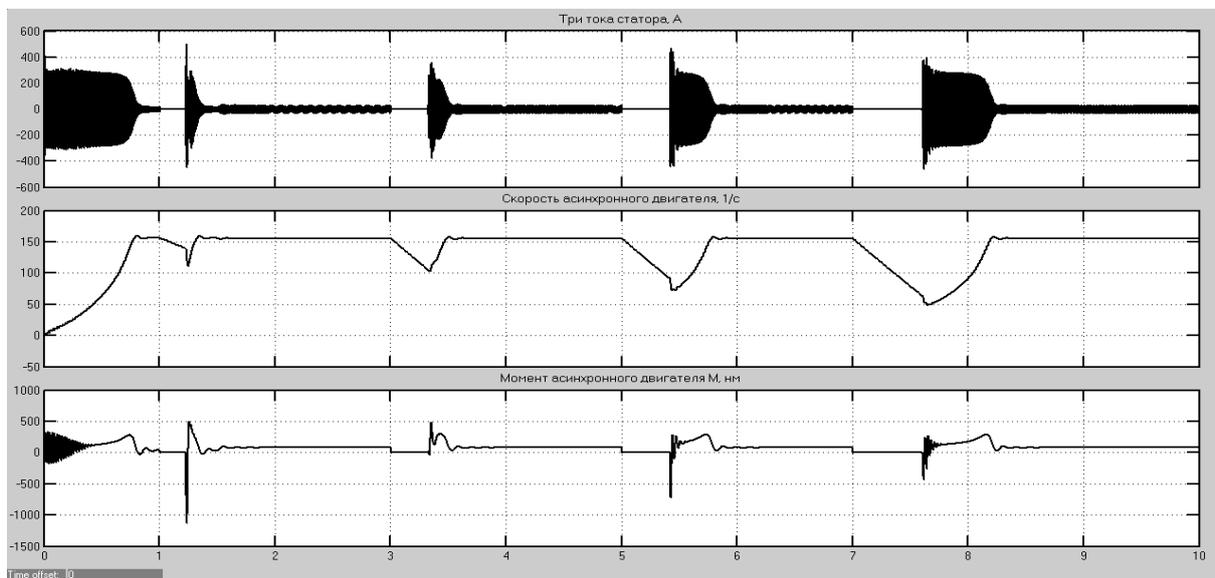
**Рисунок 4 – Переходные процессы по току, скорости и моменту на валу асинхронного двигателя при пуске и четырёх отключениях питающего напряжения на разные промежутки времени**

Трёхфазная библиотечная модель для исследования условий самозапуска асинхронного двигателя 4A180S4Y3 показана на рисунке 5. На рисунке 6 приведены переходные процессы по току, скорости и моменту

на валу асинхронного двигателя при пуске и четырёх отключениях питающего напряжения на разные промежутки времени.



**Рисунок 5– Трёхфазная библиотечная модель для исследования условий самозапуска асинхронного двигателя 4A180S4Y3**



**Рисунок 6 – Переходные процессы по току, скорости и моменту на валу асинхронного двигателя при пуске и четырёх отключениях питающего напряжения на разные промежутки времени**

Анализ полученных осциллограмм позволяет определить, что:

- переходные процессы по току, скорости и моменту на валу асинхронного двигателя на рисунках 2 и 4 идентичны;
- переходные процессы по току и моменту на рисунке 6 при отключении питающего напряжения не содержат всплеска (броска) тока и момента;
- трёхфазная библиотечная модель позволяет исследовать переходные процессы по току при самозапуске во всех трёх фазах.

<sup>1</sup> Дияров Д.У., обучающийся, гр. ЭНГм-21-1

<sup>2</sup> Ходжаев И.Ш., обучающийся, гр. ЭНГм-21-1

<sup>3</sup> Павлов В.Е., доцент кафедры ЭиЭТ

Экспертиза статьи выполнена 21.11.2022, протокол № 16

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Дияров Д.У<sup>1</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Эффективность работы нефтегазодобывающих предприятий в значительной степени зависит от полноты и своевременности их обеспечения материальными ресурсами, оборудованием, трудовыми ресурсами, специализированным транспортом. В свою очередь это обеспечивается четким и эффективно налаженным транспортным обслуживанием.

Эффективная организация во времени и пространстве дает возможность сформировать производственный процесс транспортного обслуживания таким образом, чтобы, с одной стороны, минимизировать непроизводительное эксплуатирование транспортных средств, трудовых ресурсов, их простои и нерациональное применение, тем самым снижая затратоемкость и капиталоемкость транспортного обслуживания добывающего предприятия, с другой стороны, обеспечить бесперебойность работы добывающего производства.

Проблема эффективной организации транспортного обслуживания особо остро стоит в нефтегазодобыче в силу ряда специфических особенностей данной отрасли. Так транспортные, технологические машины и оборудование составляют до 60% общего количества транспорта нефтегазовых предприятий и являются непосредственными участниками производственного процесса нефтегазодобычи.

В отличие от автомобильного транспорта технологический транспорт относится к промышленному транспорту. Технологический транспорт обеспечивает две главные функции. Первая функция транспортная доставка к месту выполнения работ так называемого навесного оборудования – специальной техники, размещенной на транспортном средстве. Вторая – производственная, связана с использованием этого оборудования непосредственно в процессах нефтегазодобычи.

Технологический транспорт и специальная техника в отличие от автомобильного транспорта общественного пользования, непосредственно участвует в производственном процессе нефтегазодобычи. Важной особенностью транспортного обслуживания нефтегазовых предприятий является то, что работу технологического транспорта для заказчиков невозможно выполнить подвижным составом из других отраслей.

В большинстве случаев технологические процессы нефтегазодобычи, капитального ремонта скважин и другие носят непрерывный характер, именно поэтому здесь на первый план выступает система гарантированного обеспечения нефтегазовых предприятий технологическим транспортом

в определенной номенклатуре и в заданном количестве. Это положение в корне меняет требования не только к системе обеспечения технологическим транспортом нефтегазовых предприятий, но и так же к системе поддержания технологического транспорта в исправном техническом состоянии.

Перед системой транспортного обслуживания нефтегазовых предприятий стоят разносторонние задачи (рисунок 1). Главной задачей транспортного обслуживания является обеспечение нефтегазового предприятия транспортными услугами в полном объеме. Перечень услуг всех видов, осуществляемый транспортно-технологическим комплексом нефтегазовой отрасли, обширен и включает в себя комплексные задачи.



**Рисунок 1 - Основные задачи транспортного обслуживания нефтегазовых предприятий**

Технологическое обслуживание осуществляется непосредственно в технологических процессах нефтегазодобычи за счет специальной техники на колесном и гусеничном ходу с навесным оборудованием. Этот вид услуг осуществляют следующей техникой: установки для исследования скважин; установки для текущего и капитального ремонта скважин; установки для монтажа и наладки средств телемеханики и автоматики, смазки станков-качалок; пескосмесительные агрегаты; промывочные, цементировочные агрегаты; лаборатории различного назначения; компрессорные установки; агрегаты для депарафинизации скважин горячей нефтью и другие [3].

Услуги дорожно-строительной техники на колесном и гусеничном ходу используются для земляных и дорожно-строительных работ при строительстве скважин, внутрипромысловых дорог, обустройстве нефтяных и газовых месторождений.

Выполнение уборочных работ на объектах нефтегазодобычи осуществляется с помощью следующей техники: мусоровозы, ассенизационные машины, снегоуборочные машины, снегопогрузчики, пескоразбрасыватели.

Выполнение грузоперевозок автомобильным грузовым транспортом осуществляют грузовые автомобили (бортовые, самосвалы, цементовозы, автоцистерны), а также автомобили для перевозки длинномерных грузов (седельные тягачи, трубо, штанго, плетевозы).

Выполнение тракторных грузоперевозок осуществляется в большинстве случаев при переезде бригад в процессе выполнения ремонтов скважин, а также геолого-технических мероприятий на скважинах. В процессе услуг перебазирования используются тракторы-тягачи (колесные и гусеничные), большие артиллерийские тягачи (БАТ), гусеничные тяжелые тягачи [4].

Выполнение монтажных и погрузочно-разгрузочных работ осуществляют следующей техникой: автомобильными и тракторными кранами, трубоукладчиками, погрузчиками. Выполнение вахтовых перевозок производится автобусами и грузовыми автомобилями, переоборудованными для перевозки людей.

Организация транспортного обслуживания в нефтегазодобыче подчиняется общим принципам организации производства, но она имеет свои особенности (таблица 1).

*Таблица 1*

**Особенности реализации принципов организации производства в транспортном процессе**

Пропорциональность	Соответствие пропускной способности всех подразделений транспортного предприятия по выпуску транспорта в наряд
Параллельность	Одновременность выполнения операций транспортного процесса
Ритмичность	Выполнение графика транспортного обслуживания
Прямоточность	Упорядочивание грузопотоков в пространстве (маршрутизация, минимизация «холостых ходок»)
Автоматичность	Максимальное выполнение транспортного процесса автоматически

Принцип пропорциональности в организации транспортного обслуживания предполагает соответствие пропускной способности всех звеньев транспортного предприятия: цехов, участков, различных рабочих мест по выпуску транспорта в наряд.

Параллельность имеет место при выполнении смежных операций при выполнении основных, вспомогательных и обслуживающих транспортных процессов. Ритмичность является основополагающим принципом организации транспортного обслуживания, так как обеспечивает бесперебойные материальные потоки нефтегазового предприятия, и основана на выполнении графика транспортного обслуживания, составляемого с применением принципов прямооточности и автоматизации [2, 5].

Организация транспортного обслуживания зависит от типа производства. В мелкосерийном и единичном производстве отсутствуют устойчивые грузопотоки и пассажиропотоки, в связи, с чем перевозки грузов и пассажиров осуществляются в основном по разовым маршрутам, а работа специализированного технологического транспорта по разовым заявкам. Данный тип производства характерен для узкоспециализированных транспортных предприятий, оказывающих специализированные услуги в единственном числе.

В серийном производстве грузопотоки и пассажиропотоки более устойчивые, чем в единичном и мелкосерийном, поэтому перевозки грузов и пассажиров организуются как по постоянным, так и по разовым маршрутам. Работа технологического транспорта организовывается как по постоянному графику, так и по разовым заявкам. Данный тип производства характерен для средних транспортных организаций, имеющих небольшие объемы транспортного обслуживания нефтегазовых предприятий.

В крупносерийном и массовом производстве грузопотоки и пассажиропотоки являются наиболее устойчивыми. Это дает возможность организовывать перевозку грузов и пассажиров по постоянным маршрутам, а работу транспортных средств по постоянному графику. Данный тип производства характерен для крупных транспортных предприятий, обслуживающих несколько месторождений.

Тип производства зависит от специализации, концентрации и степени кооперирования транспортного предприятия. Формирование этих форм производства взаимообусловлено и взаимосвязано.

Концентрация производства - это процесс сосредоточения транспортного обслуживания, характеризуется объемом оказания транспортных услуг, численностью водительского состава, количеством транспортных средств. По степени концентрации выделяют крупные, средние, мелкие предприятия [1, 6, 7].

Специализация - сосредоточение деятельности на относительно узком секторе, специальном направлении, отдельных технологических процессах и операциях. Специализация производства в транспортном обслуживании

живании реализована в двух основных формах: предметной и технологической.

Кооперирование - это форма организации производства, при которой осуществляется установление и использование сравнительно устойчивых и долговременных производственных и управленческих связей между предприятиями. Для транспортных предприятий, обслуживающих предприятия нефтегазодобыче, характерно кооперирование с узкоспециализированными предприятиями, оказывающими транспортные услуги специализированного технологического транспорта, услуги ремонта транспортных средств, а также непосредственно с самими нефтегазодобывающими предприятиями в части обеспечения теплых стоянок, ремонтных работ, заправки ГСМ и других операций.

Таким образом, транспортное обслуживание нефтегазодобывающих предприятий в целом отвечает общим принципам, использует стандартные типы и формы организации производства, однако в силу специфики своей деятельности имеет отличительные особенности.

### **Библиографический список**

1. Бухалков, М. И. Производственный менеджмент. Организация производства: учебник для студентов высших учебных заведений / М. И. Бухалков: Издательство «Инфра», 2017. - 385 с.
2. Бренц, А. Д. Организация, планирование и управление предприятиями нефтяной и газовой промышленности: учебное пособие / А. Д. Бренц, В. Е. Тищенко: Издательство «Недра», 2018. - 52 с.
3. Матанцева, О. Ю. Основы экономики автомобильного транспорта: учебное пособие для студентов / О. Ю. Матанцева: Издательство «Юстицинформ», 2018. - 189 с.
4. Минько, Р. Н. Организация производства на транспорте: учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений / Р. Н. Минько. - М.: Издательство «Инфра», 2019. - 335 с.
5. Павловская, А. В. Организация производства на буровых и нефтегазодобывающих предприятиях: учебное пособие / А. В. Павловская. - Ухта: Издательство «УГТУ», 2020. - 191 с.
6. Грановский, В. А. Государственное регулирование и контроль автотранспортной деятельности : учебное пособие / В. А. Грановский, А. Н. Домбровский, Е. А. Лебедев. – Краснодар : Мир Кубани, 2008. – 360 с.
7. Горев А. Э. Грузовые автомобильные перевозки / А. Э. Горелов. – Москва, 2004.

---

<sup>1</sup> Дияров Д.У., обучающийся, гр. КТЭМ-22-1

Экспертиза статьи выполнена 21.11.2022, протокол № 16

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В РЕЖИМЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Дунаев А.М.<sup>1</sup>

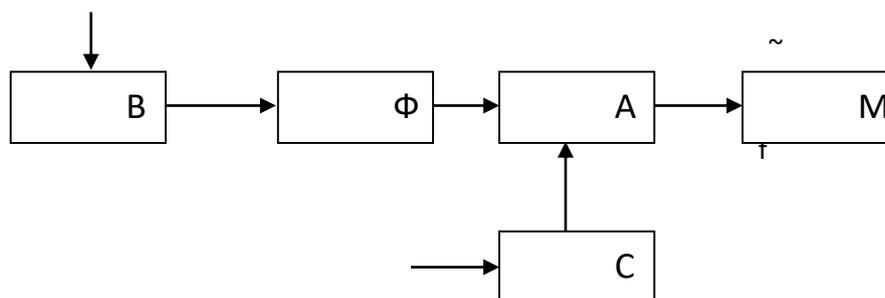
*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Дунаева Я.О.<sup>2</sup>

*Иркутский государственный университет*

**Введение.** В данной статье будет рассмотрена работа транзисторных преобразователей частоты (ПЧ) [1] на примере ПЧ с автономным инвертором напряжения (АИН) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

На рисунке 1 представлена функциональная схема означенного ПЧ. Напряжение питающей сети поступает на вход ПЧ, а к выходу подключены статорные обмотки АД (М1). Микропроцессорная система управления формирует на выходе ПЧ трёхфазное напряжение требуемой частоты и амплитуды в зависимости от используемого принципа управления АД [2].



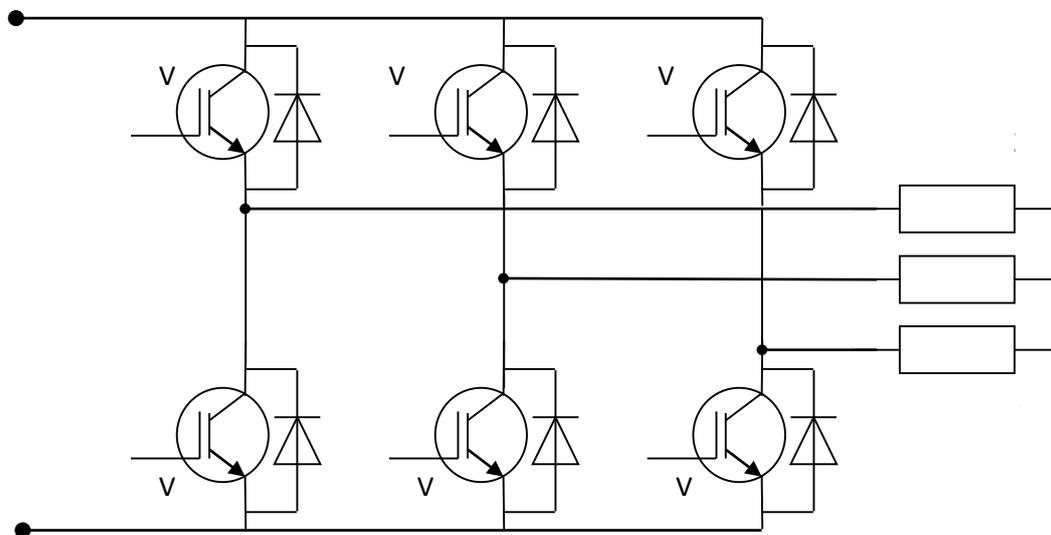
**Рисунок 1 - Функциональная схема ПЧ**

На рисунке 1 обозначены следующие блоки: В – неуправляемый диодный выпрямитель, Ф – сглаживающий фильтр, АИН – транзисторный автономный инвертор напряжения, М1 – нагрузка (АД), СУИ – система управления инвертором.

Неуправляемый выпрямитель В преобразует переменное напряжение питающей сети  $U_c$  в выпрямленное постоянное, которое затем сглаживается фильтром Ф (обычно Г-образным) и подаётся в виде напряжения питания на автономный инвертор АИН. Выходная частота АИН регулируется с помощью микропроцессорной СУИ, притом амплитуда выходного переменного напряжения АИН также регулируется в блоке СУИ.

Как правило, в качестве силовой схемы инвертора используется трёхфазная мостовая схема на IGBT-транзисторах, показанная на рисунке 2. Это схема мостового инвертора, нагрузка  $Z_n$  которого включена на стороне переменного тока. Поскольку АИН питается от источника напряжения с параметрами  $U_n = \text{const}$  и  $R_{вн} \Rightarrow 0$ , то форма выходного напряжения

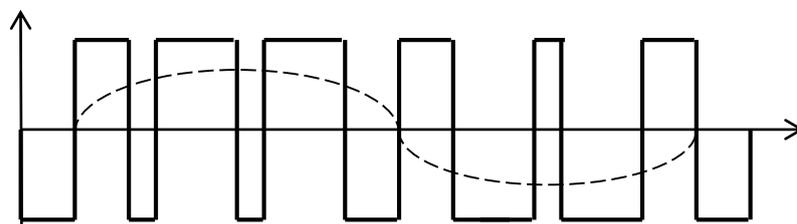
имеет прямоугольный вид, а форма выходного тока зависит от параметров нагрузки  $Z_H$ .



**Рисунок 2 - Трёхфазная мостовая схема АИН на IGBT-транзисторах**

На схеме рисунке 2 обозначены: VT1...VT6 – силовые транзисторы;  $Z_A, Z_B, Z_C$  – трёхфазная нагрузка (асинхронный двигатель), в силовую цепь транзисторов включены обратные диоды, служащие для возврата реактивной мощности нагрузки. Порядок работы транзисторов в схеме следующий: VT1-VT2, VT2-VT3, VT3-VT4, VT4-VT5, VT5-VT6, VT6-VT1 и т.д. Импульсы управления поступают на пары транзисторов со сдвигом 60 градусов.

Диаграмма одной фазы выходного напряжения АИН с ШИМ приведена на рисунке 3. Выходное переменное напряжение трёхфазного АИН, как правило, регулируется при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ).



**Рисунок 3 – Диаграммы работы трёхфазного АИН с ШИМ**

**Оптимизация энергопотребления в электроприводах.** При работе электропривода (ЭП) с нагрузкой меньше номинального значения может быть применён режим автоматической оптимизации энергопотребления (АОЭ), устанавливаемый в Главном меню ПЧ FC-302 [3].

Характеристики энергосберегающего режима в электроприводе представлены на рисунках 4 – 7.

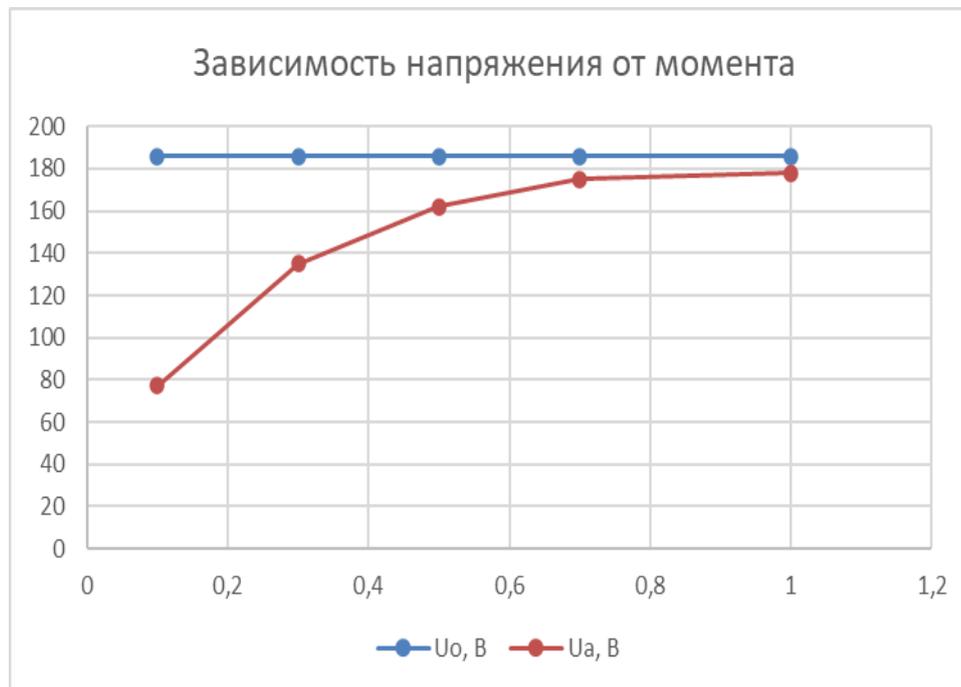


Рисунок 4 – Зависимость выходного напряжения от момента:  $U_0$  – настройка параметра 1-03 на постоянный момент [0],  $U_a$  – настройка параметра 1-03 на АОЭ [2]

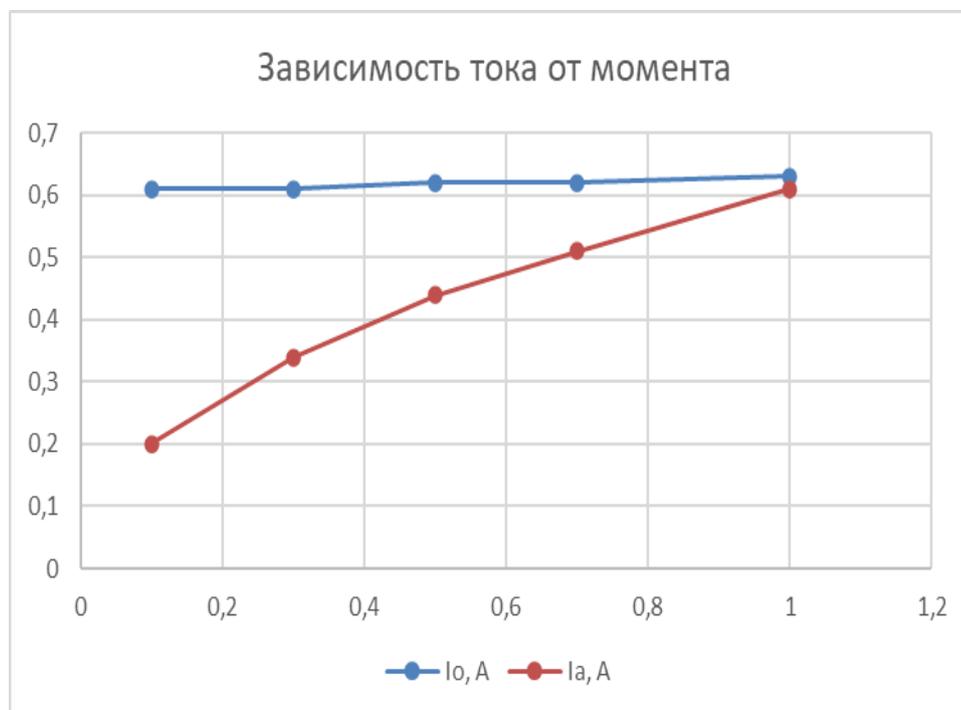


Рисунок 5 – Зависимость выходного тока от момента:  $I_0$  – настройка параметра 1-03 на постоянный момент [0],  $I_a$  – настройка параметра 1-03 на АОЭ [2]

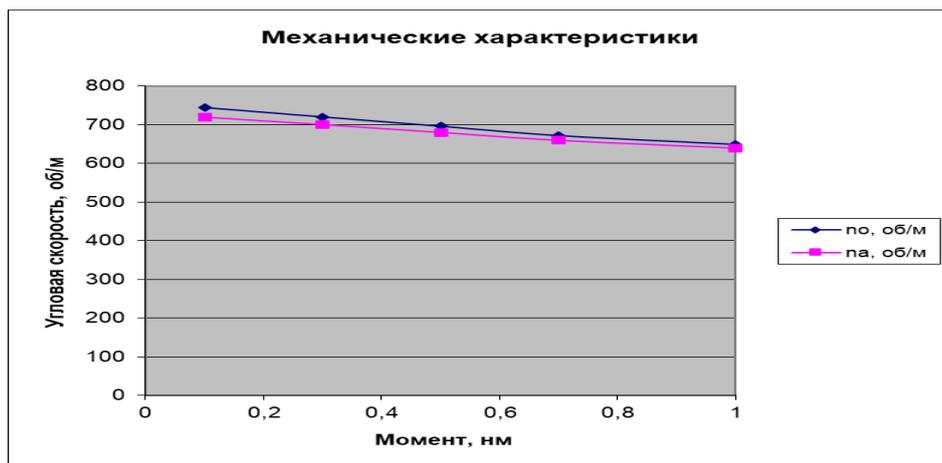


Рисунок 6 – Зависимость угловой скорости от момента:  $p_o$  – настройка параметра 1-03 на постоянный момент [0], статизм  $S= 0,13$ ;  $p_a$  – настройка параметра 1-03 на АОЭ [2], статизм  $S= 0,11$ .

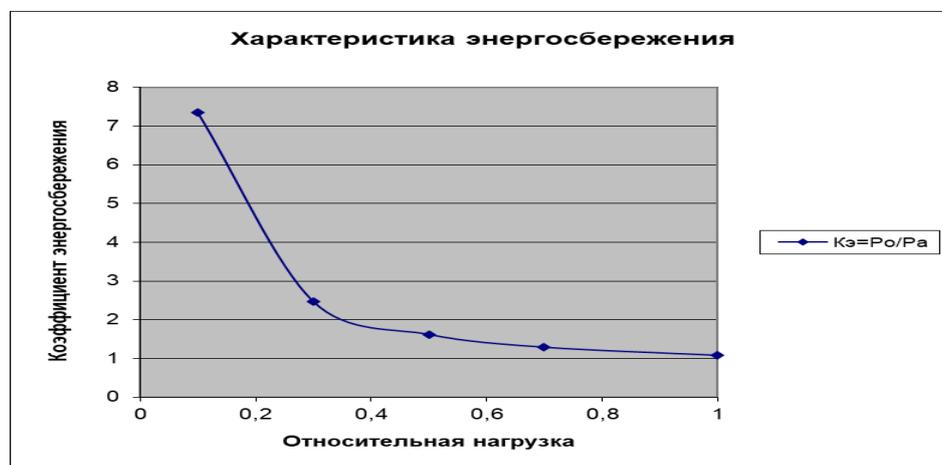


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента энергосбережения  $K_э$  от момента:  
 $K_э=P_o/P_a=(U_o * I_a)/(U_a * I_a)$

**Выводы.** При работе электропривода в энергосберегающем режиме возможно значительное (до семикратного) сокращение энергопотребления. Данный режим целесообразно применять в ЭП, работающих часть времени с нагрузкой, меньшей номинального значения (насосы, вентиляторы).

### Библиографический список

1. Онищенко, Г.Б. Силовая электроника, силовые полупроводниковые преобразователи для электропривода и электроснабжения / Г.Б. Онищенко, О.М. Соснин. – М. : Инфра-М, 2018. – 122 с.
2. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Г. Соколовский. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.
3. Инструкция по эксплуатации преобразователя частоты DANFOSS FC-302 ([www.danfoss.ru](http://www.danfoss.ru)).

<sup>1</sup> Дунаев А.М., к.т.н., ассистент кафедры ЭЭТ ИРНИТУ

<sup>2</sup> Дунаева Я.О., старший преподаватель БМБШ ИГУ

Экспертиза статьи выполнена 01.12.2022 г., протокол № 19

## РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ

Нурматов З.А.<sup>1</sup>, Арсентьев О.В.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Современная нефтегазовая индустрия нашей страны образовалась не сразу, ее становление проходило поэтапно. Первые нефтяные месторождения на территории России были открыты еще в конце 17 века, а одним из первых предприятий, которым была отведена роль добытчиков нефти, стал завод, расположенный вблизи города Архангельска, запущенный в 1703 году, но в те времена добыча углеводородов была убыточной в силу узкого применения нефтепродуктов [3].

Россия занимает лидирующее место по добыче полезных ископаемых. Преимущественная часть месторождений расположена в восточной части государства. В них добывается больше, чем 84% газа. В целях удобной перевозки и хранения сырья в стране была сформирована сеть газоснабжения, которая включает систему газопроводов, компрессорные станции, сооружения для хранения полезных ископаемых и месторождения. Касательно запасов нефтяного ресурса, Россия занимает 5 место. На первых позициях расположились Венесуэла, Саудовская Аравия, Канада, Ирак, Иран. Но даже этот факт говорит о том, что развитие нефтегазовой отрасли в России является главным приоритетом промышленности.

В целом с начала 2000-х годов в России наблюдается стабильный подъем нефтяной промышленности, а объемы добычи из года в год увеличиваются. В 2015 году в России было добыто 534.3 млн тонн нефти и газового конденсата, что соответствует примерно 10.726 млн баррелей в сутки.

Одним из видов нефтегазового оборудования являются буровые установки. Представляют из себя комплекс сооружений предназначенных для бурения нефтегазовых скважин. Буровые установки для разработки и разведки нефтяных и газовых месторождений в общем виде включают в себя: спускоподъемное оборудование, циркуляционное оборудование, буровые сооружения, противобросное оборудование и др.

Одним из основных элементов буровой установки является буровая лебедка. Она предназначена для выполнения следующих операций:

- спуск, подъем обсадных бурильных труб;
- удержание трубы на весу в процессе бурения или промывки скважины;
- передача вращения ротору;
- свинчивание и развенчивание труб;
- вспомогательные работы по поддакиванию инструмента в буровую, оборудования, труб и др.;
- для подъема собранной вышки в вертикальном положении.

Буровые лебедки отличаются по мощности, по числу скоростей подъема, от типа используемого электрического привода, по схеме включения быстроходной передачи, по числу валов. Мощность лебедок, производимых в России, регламентирует ГОСТ 16293-82 [1] и находится в пределах 200 – 2950 кВт, в зависимости от глубины бурения.

Лебедка включает в себя жестко сваренную раму из металлоконструкции, на которой сортирован на подшипниках качения подъемный вал с барабаном для наливки талевого крана, катушечный и трансмиссионный валы. Подъем буровой колонны из скважины осуществляется при больших затратах мощности, а спускается под действием собственного веса. В связи с этим лебедки должны иметь достаточно мощный привод и надежную тормозную систему.

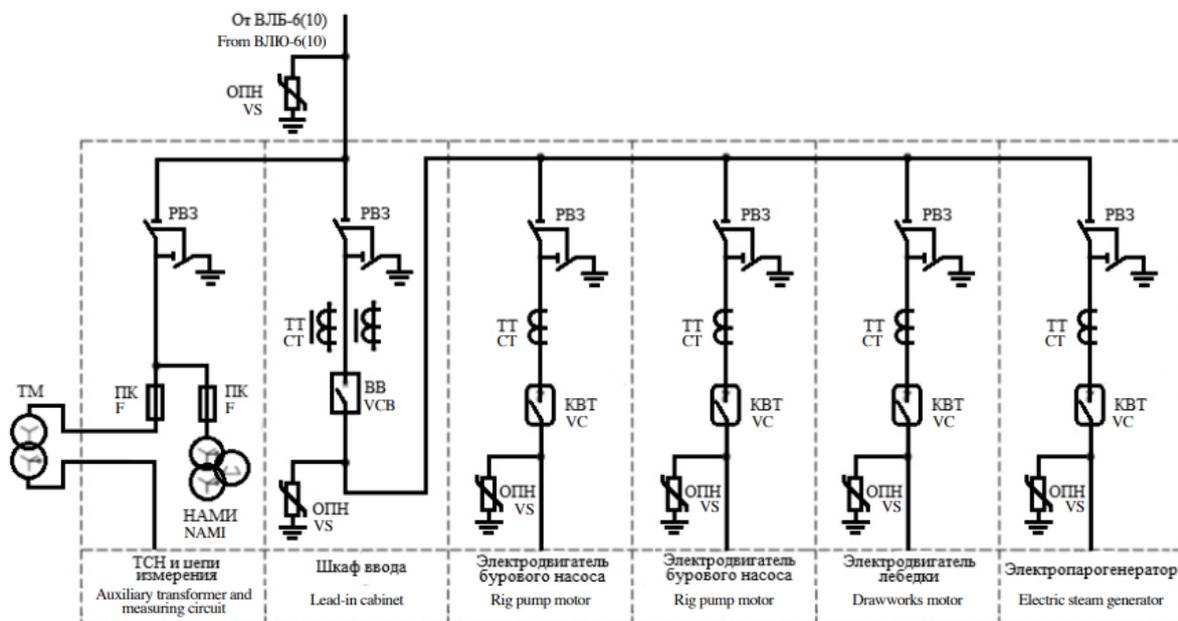
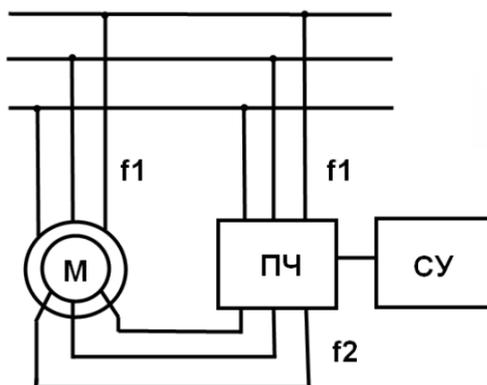


Рисунок 1 – Однолинейная схема устройства КРУНБ-6

На рисунке 1 показана однолинейная схема снабжения буровых установок с использованием комплектно распределительных установок наружной установки. Как видим, одна из линий осуществляет питание электродвигателя буровой лебедки. Напряжение питания электродвигателя лебедки равно 6 кВ. В случае, если питание буровой установки осуществляется напряжением 10кВ, то используется дополнительный понижающий трансформатор.

На сегодняшний день в качестве электрического привода буровой лебедки в основном применяется следующие системы: «преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором» (ПЧ – АД с КЗР), «тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» (ТП – ДПТ НВ). Такие схемы широко известны и применяются очень часто, в зависимости от комплектности буровой установки [2].

Менее распространенным электрическим приводом является «асинхронный двигатель с фазным ротором» (АД с ФР). Статор двигателя подключен к сети частотой  $f = 50$  Гц, а со стороны ротора подключение осуществляется через преобразователь частоты (рис.2). Система управления (СУ) имеет в своём составе фазовращатель, регулятор напряжения, а также датчик частоты вращения ротора. Фазовращатель необходим для изменения соотношения фаз напряжения ротора и статора для осуществления перехода электрической машины из двигательного режима в генераторный и наоборот. Регулятор напряжения нужен для изменения значения напряжения, подводимого к ПЧ, для поддержания постоянства магнитного потока.



**Рисунок 2 – Структурная схема электропривода с асинхронный двигатель с фазным ротором**

Электрические привода буровых лебедок, как правило работают в двух основных режимах – это подъем и спуск. Причем для подъема используются двигатели лебедки, а для спуска электромагнитные тормоза или приводные двигатели в режиме динамического или рекуперативного торможения.

Процесс перемещения трубы на свечу характеризуется наличием трех циклов (рис. 3).

1. Разгон колонны в течении времени  $t_n$  от нуля до некоторого установившегося состояния.
2. Равномерное движение в течении с установившейся скоростью в течении некоторого времени.
3. Замедление колонны с установившейся скорости до нуля за определенный момент времени.

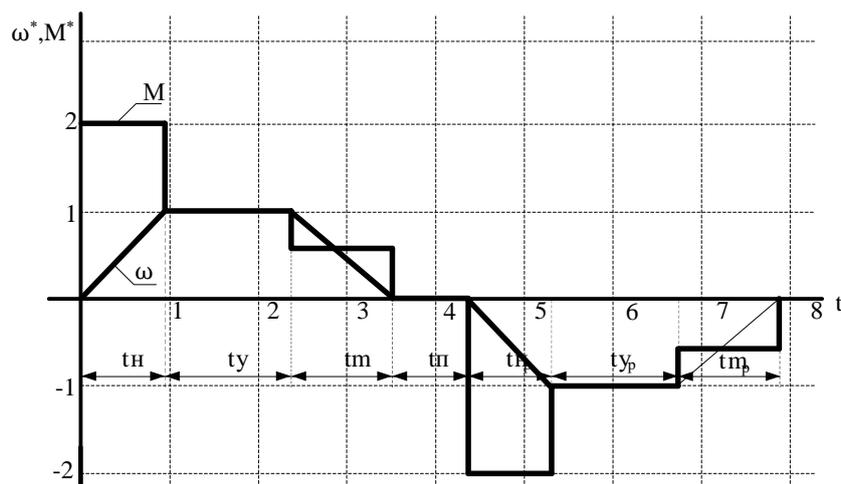


Рисунок 3 – Диаграмма скорости и момента электрического привода

В отличие от распространенных систем, в качестве базовой электрической машины электропривода БЛ предлагается использовать асинхронный электродвигатель с фазным ротором (АД с ФР). В таблице 1 приводится сравнение величины потребляемой энергии для систем ТП – ДПТ, ПЧ – АД с КЗР и АД с ФР (с МДП) при 4-х значениях веса на крюке.

Таблица 1

**Сравнительные характеристики электроприводов буровой лебедки**

Вес на крюке кН		60	500	750	1000
Мощность, потребляемая двигателем лебедки кВт	ДПТ с НВ	70,4	586,5	723	695
	АД с КЗР	40,02	332	575,5	599,4
	АД с ФР	32,82	272,24	471,91	491,508

Из таблицы 1 видно, что потребление мощности в предлагаемом варианте электропривода ниже, чем в альтернативных. Причем это проявляется в большей степени при бурении на большую глубину.

Экономия за счёт перехода электропривода на базе АД с ФР (с МДП) из двигательного режима в генераторный при спуске колонны бурильных труб (рекуперативное торможение) [4]. Дело в том, что для этого в предлагаемом варианте электропривода достаточно изменить фазу напряжения, подаваемого на ротор.

Электропривод на базе АД с ФР (с МДП) экономичнее в сравнении с приводом на базе АД с КЗР (примерно на 15%), с приводом на базе ДПТ – ТП (примерно на 30%). Устойчивость системы при наличии самосинхронизации сохраняется. Надежность предлагаемой системы практически не уступает альтернативным.

### Библиографический список

1. ГОСТ 16293-89. Установки буровые комплектные для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения. Основные параметры.
2. Академический журнал западной Сибири №4 (53), Том 10, 2014 год – Электропривод буровой лебедки на базе машин двойного питания, В.И. Бабакин, Е.В. Изотова, Р.И. Уляева, Р.А. Хисаметдинов. с. 36 -39.
3. История нефтегазовой отрасли – учебное пособие / Составители: К.А. Антипова, О.А. Кулакова. – Самара: Самара. гос. техн. университет, 2020 – 53с.
4. Бабакин В.И. Курс лекций по дисциплине «Теория электропривода». – УГНТУ, 2011 г – 114 с.

---

<sup>1</sup> Нурматов З.А., обучающийся, студент гр. ЭНГм-22-1

<sup>2</sup> Арсентьев О.В., к.т.н., доцент каф. Электропривода и электрического транспорта  
Экспертиза статьи выполнена 15.12.2022 г., протокол № 24

УДК 621.313

### СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

Арсентьев О.В.<sup>1</sup> Дедловский К.Д.<sup>2</sup>, Оглоблин С.Э.<sup>3</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Трубопроводные магистрали сегодня являются наиболее распространенным средством для осуществления доставки носителей энергии – углеводородов в виде нефти и газа. Основным способом прокладки таких магистралей является их размещение под землей. Глубина заложения нефтепровода при траншейной прокладке составляет 0,8 — 1,0 м до верхней образующей. В траншее, предназначенной для нефтепровода, специально подготавливают ложе путем подсыпки гравия и песка. Трубы, предварительно сваренные в плети, с одним или несколькими слоями антикоррозийной изоляции (мастики, полимерные пленки, пластиковые ленты и т.п.) осторожно поднимают, и укладывают в траншею специальные трубокладчики. При этом давно известно, что остановить коррозионные процессы, которые могут развиваться в подземных трубопроводах, посредством только лишь их защитных покрытий, невозможно. На этот фактор большое влияние оказывают гальванические коррозионные очаги, развивающиеся из-за неоднородности почвы, содержания в ней определённого количества солей и кислот, наличия влаги.

Существует несколько способов защиты от коррозии подземных металлоконструкций, основанных на общем принципе реализации: металл, из которого изготовлены трубы, вступает в реакцию с определенными растворителями и веществами. Результатом процесса становится образование не-

большой защитной пенки, предотвращающей возникновение коррозионных явлений.

Электрохимическая защита является достаточно результативным способом защиты металлоконструкций от электрохимической коррозии. При повреждении антикоррозийной изоляции, воссоздать лакокрасочную оболочку или защитное оберточное покрытие трубопровода, в ряде случаев, практически невозможно [1].

Восстановление покрытия трубопровода, расположенного под землей, или днища морского судна – процесс достаточно трудоемкий и дорогой, а в некоторых случаях и невозможный. Благодаря электрохимической защите изделие будет надежно защищено от коррозии: покрытия подземных трубопроводов, днищ судов, всевозможных резервуаров не будут разрушаться.

Электрохимическая защита может быть анодной или катодной: это будет зависеть от того, в какую сторону сдвинется потенциал металла (в положительную или в отрицательную) [2].

**Катодная защита**, это метод, достаточно часто используемый для защиты металлоконструкций от коррозии (см. рис.1). Применяется в тех случаях, когда металл не имеет склонности к пассивации. Суть метода проста: к изделию подается внешний электроток от отрицательного полюса, который обеспечивает поляризацию катодных участков коррозионных составляющих и поднимает значение потенциала до анодных. После прикрепления положительного полюса источника тока к аноду коррозия защищаемого изделия становится почти нулевой.

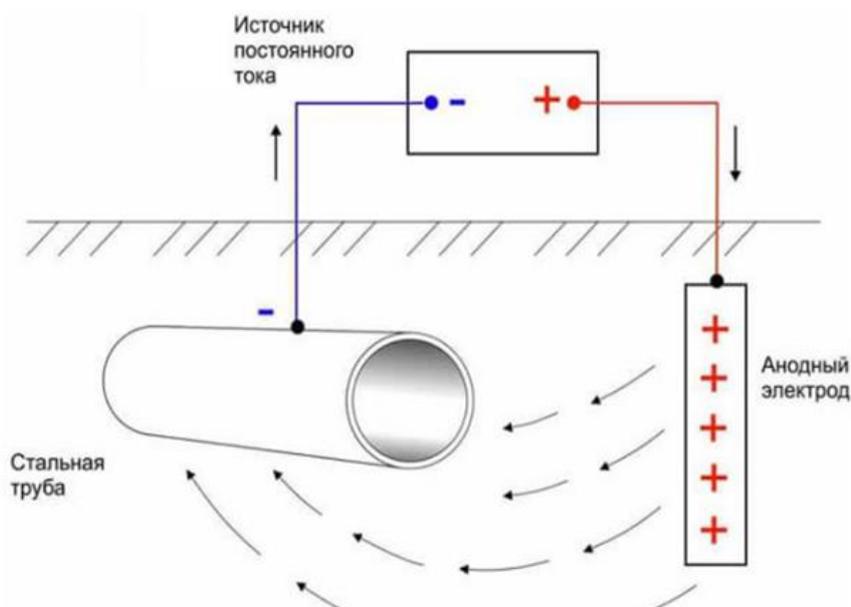


Рисунок 1 - Схема изображения катодной защиты

Анод требует периодической замены, так как со временем происходит его разрушение.

Способы катодной защиты: поляризация от внешнего источника электротока, торможение развития катодного процесса, связь с металлом, имеющим более электроотрицательный потенциал свободной коррозии в определенной среде (протекторная защита).

С помощью поляризации от внешнего источника электротока защищают конструкции, находящиеся в почве и в воде, цинк, олово, алюминий и его сплавы, титан, медь и ее сплавы, свинец, высокохромистые, углеродистые, низколегированные и высоколегированные стали.

Роль внешнего источника электротока выполняют станции катодной защиты. Их главные составляющие - выпрямитель, токоподвод к защищаемому объекту, анодные заземлители, электрод сравнения и анодный кабель.

Катодная защита может быть использована в качестве самостоятельного или дополнительного способа коррозионной защиты.

Основной показатель результативности метода – защитный потенциал. Защитным называют тот потенциал, при котором быстрота коррозионного процесса металлического изделия становится минимальной. Однако катодная защита обладает определенными недостатками. Один из них – опасность перезащиты. Такой эффект может наблюдаться в случае большого смещения потенциала защищаемого изделия в отрицательную сторону. Вследствие этого разрушаются защитные оболочки, начинается водородное охрупчивание металла, коррозионное растрескивание.

**Анодная защита** используется для титановых конструкций, объектов из низколегированных нержавеющей, углеродистых сталей, железистых высоколегированных сплавов, разнородных пассивирующихся металлов (см. рис.2). Метод применяют в хорошо электропроводной коррозионной среде.

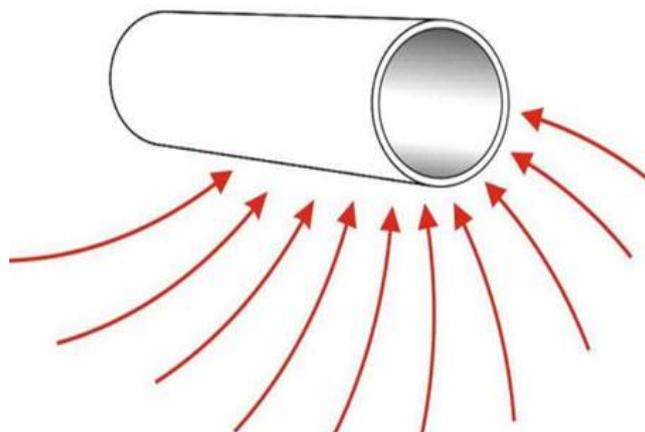


Рисунок 2 - Схема изображения анодной защиты

Существует несколько способов реализации анодной защиты: можно сдвинуть потенциал в положительную сторону с помощью источника внешнего электротока или ввести в коррозионную среду окислители, которые способны повысить эффективность катодного процесса на металлической поверхности;

- анодная защита с применением окислителей по защитному механизму имеет много общего с анодной поляризацией;
- при использовании пассивирующих ингибиторов с окисляющими характеристиками (бихроматов, нитратов и т.д.), защищаемая металлическая поверхность под воздействием возникшего тока становится пассивной. Однако эти вещества способны сильно загрязнять технологическую среду;
- если ввести в сплав добавки, реакция восстановления деполяризаторов, которая происходит на катоде, пройдет не с таким большим перенапряжением, как на защищаемом металле;
- при прохождении электротока через защищаемую конструкцию потенциал сдвигается в положительную сторону;
- в состав установки для анодной электрохимической защиты входит источник внешнего электротока, электрод сравнения, катод и защищаемая конструкция.

Электрохимическую анодную защиту нержавеющей сталей используют для хранилищ серной кислоты, аммиачных растворов, минеральных удобрений, различных сборников, цистерн, мерников.

**Электродренажная защита** - это способ защиты трубопроводов от разрушения с помощью блуждающих токов. Метод предусматривает их дренаж (отвод) с защищаемой конструкции на источник блуждающих токов или специальное заземление.

Дренаж бывает прямым, поляризованным и усиленным. Прямой электрический дренаж – это дренажное устройство, имеющее двустороннюю проводимость. При величине тока, превышающей допустимую величину, выйдет из строя плавкий предохранитель. Электрический ток пойдет по обмотке реле, оно включится, после чего произойдет включение звука или света.

Прямой электрический дренаж используют для тех трубопроводов, чей потенциал всегда выше потенциала рельсовой сети, служащей для отвода блуждающих токов. Иначе отвод станет каналом для натекания блуждающих токов на трубопровод.

Поляризованный электрический дренаж является дренажным устройством, имеющим одностороннюю проходимость. Отличие поляризованного дренажа от прямого заключается в присутствии у первого элемента односторонней проводимости ВЭ. В случае поляризованного дренажа ток течет только в одном направлении – от трубопровода к рельсу. Это

не позволяет блуждающим токам натекают на трубопровод по дренажному проводу.

Проведенный анализ способов защиты магистральных нефтепроводов показал, что существующие методы организации электрохимической защиты позволяют получить хороший эффект, повысить ресурс металл сооружений. Сочетание этих методов с защитными покрытиями трубы практически полностью устраняют коррозионные явления, обусловленные блуждающими токами.

### **Библиографический список**

1. Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита трубопроводных сетей / Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 2004. - 320 с.
2. Дизенко Е.И., Новоселов В.Ф. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров. М.: Недра, 1978. – 199 с.

<sup>1</sup> Арсентьев О.В., к.т.н., доцент каф. Электропривода и электрического транспорта

<sup>2</sup> Дедловский К.Д., обучающийся, студент гр. ЭНГМ-21-1

<sup>3</sup> Оглоблин С.Э., обучающийся, студент гр. ЭНГМ-21-1

Экспертиза статьи выполнена 26.12.2022 г., протокол № 27

УДК 621.313

### **СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Арсентьев О.В.<sup>1</sup> Абгалдаев А.Л.<sup>2</sup>, Сибирцев В.Е.<sup>3</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Нефтеперекачивающая станция (НПС) представляет собой комплекс сооружений и устройств для приема, и перекачки нефти по магистральному нефтепроводу. ЦУП ВСТО (ООО «ЦУП ВСТО» - дочернее общество ПАО «Транс-нефть») завершил строительство трех нефтеперекачивающих станций (НПС) в Иркутской области. Станции возведены в рамках проекта по увеличению пропускной способности трубопроводной системы «Восточная Сибирь-Тихий океан» (ТС ВСТО) до максимальных 80 млн тонн нефти в год. И уже с 1 декабря 2017 года НПС были включены в систему транспортировки нефти по ТС ВСТО.

Из трех НПС, самое удобное расположение относительно дорожной инфраструктуры у НПС №3. Станция находится в Братском районе, всего в 34 километрах от крупного железнодорожного узла - города Вихоревка. Основной схемой технологического процесса перекачки нефти НПС является перекачка по схеме работы станции с "подключенными резервуарами". Нефть по подводным нефтепроводам поступает на НПС через приемную задвижку № 1, и направляется на фильтры-грязеуловители. Затем нефть, очищенная от механических примесей, парафино - смолистых от-

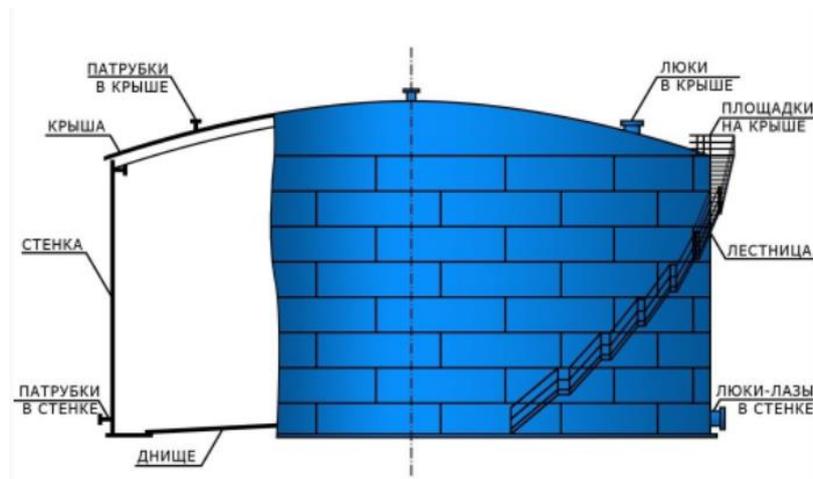
ложений, посторонних предметов, поступает в технологические резервуары – резервуары вертикальные стальные (РВС) № 1, 2, а также на вход подпорной насосной. Для защиты технологических трубопроводов и арматуры резервуарного парка от превышения давления на НПС установлены предохранительные клапаны 1й группы. Сброс нефти от предохранительных клапанов предусмотрен в технологические резервуары РВС № 1, 2. Для подачи нефти от резервуаров РВС № 1, 2 к основным насосам предусмотрена подпорная нефтенасосная станция, которая предназначена для подачи нефти на вход магистральных насосов, так как при откачке из резервуаров магистральные насосы не в состоянии вести откачку нефти без предварительного создания давления нефти на их входе. Из резервуаров нефть откачивается подпорным насосным агрегатом НПВ № 1,2,3,4 и через задвижку № 42 подается на прием магистральной насосной. Предохранительные клапаны 2й группы и предназначены для защиты от повышения давления технологических трубопроводов и арматуры между подпорной и магистральной насосной. На участке трубопровода от магистральной насосной до магистрального нефтепровода установлен узел регулирования давления – заслонки № 1, 2 для поддержания заданных величин давления. После узла регуляторов давления нефть через выкидную задвижку НПС № 59 подается в магистральный нефтепровод.

На НПС рассматривались резервуары объемом 2000 м<sup>3</sup>, предназначенные для стационарного хранения нефти, нефтепродуктов, технологических смесей и других жидкостей плотностью до 1 т/м<sup>3</sup>.

Вертикальные резервуары при сравнительной невысокой стоимости и коротких сроках возведения обладают высокой надёжностью и долговечностью, что позволяет использовать их на объектах повышенной опасности.

Резервуары вертикальные стальные РВС-2000 (рис. 1) обладают следующими техническими характеристиками:

- объем - 2000 м<sup>3</sup>;
- максимальная плотность хранимого продукта - 1 т/м<sup>3</sup>;
- максимальная рабочая температура - 95 оС;
- внутреннее избыточное давление - до 2 кПА;
- диаметр - 15,18 м;
- высота - 12 м;
- масса - 58,7 т;
- количество рулонов - 2.



**Рисунок 1 - Резервуар вертикальный стальной**

### *Классификация резервуаров РВС-2000*

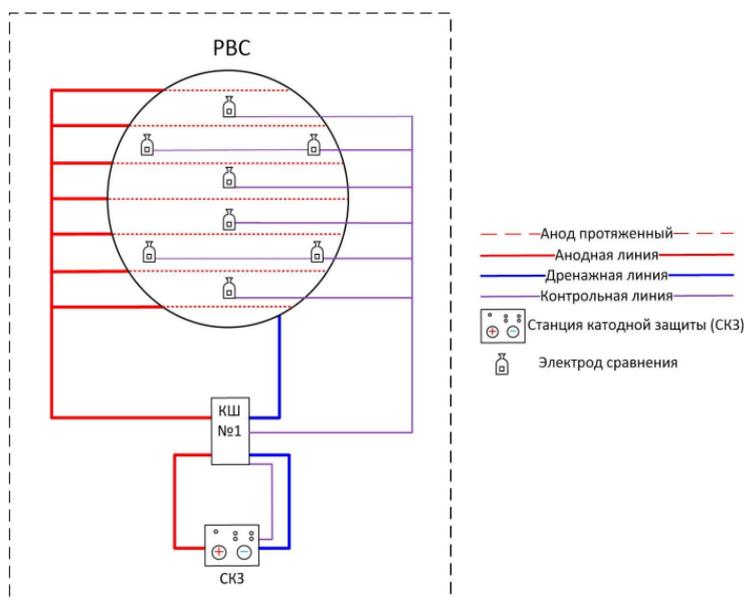
По назначению вертикальные стальные резервуары могут быть:

- сырьевые (для хранения сырой нефти);
- технологические (для сбора пластовой воды, отстоя и подрезки нефти);
- товарные (для хранения обезвоженной и обессоленной нефти).

По типу крыши емкости РВС-2000 делятся на:

- РВС – резервуары вертикальные стальные со стационарной крышей без понтона;
- РВСП – резервуар вертикальный стальной со стационарной крышей и понтоном;
- РВСПк – резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей;
- резервуары с защитной стенкой («стакан в стакане»).

Известно, что остановить коррозионные процессы, которые могут развиваться в подземных частях металл сооружений, посредством только лишь их защитных покрытий, невозможно [1,4]. На этот фактор большое влияние оказывают гальванические коррозионные очаги, развивающиеся из-за неоднородности почвы, содержания в ней определённого количества солей и кислот, наличия влаги. Для защиты металлоконструкций РВС от электрохимической коррозии достаточно успешно применяется электрохимическая защита со станцией катодной защиты (СКЗ) (рис. 2).



**Рисунок 2 - Система электрохимической защиты на РВС**

В настоящее время настройка параметров СКЗ на РВС – это довольно долгий и трудоемкий процесс. Ведь нередко случаи, когда в контрольной точке значение защитного потенциала находится в допустимых пределах, а на другой точке контроля, располагаемой под этим же сооружением в нескольких метрах, наблюдается недозащита или перезащита [3]. Более того, в силу очень плотного расположения подземных коммуникаций на НПС, регулировка параметров одной СКЗ может оказывать значительное влияние на соседние установки и зоны их защиты. Особенно ярко выражена эта проблема на НПС, где используются глубинные анодные заземлители. То есть можно с уверенностью утверждать, что даже после небольшой регулировки выходных параметров СКЗ необходимо проводить повторные измерения на каждом электроде сравнения установленных под РВС с целью проверки значений защитного потенциала всего сооружения. Если учесть тот факт, что очень редко удастся с первого раза правильно установить параметры СКЗ, то на полную настройку может уйти до нескольких недель на станциях с большим резервуарным парком, таких как ГНПС «Тайшет», НПС-10 «Талакан», НПС-21 «Сковородино».

В то же время, нет никаких гарантий, что даже в отлично настроенной системе ЭХЗ значение защитного потенциала на всем сооружении будет оставаться постоянными в течение длительного времени. Ведь значение удельного сопротивления грунта на территории НПС значительно варьируется в течение всего года. Кроме того, могут иметь место различные неисправности, которые не приводят к нарушению работы СКЗ. Например, повреждение секции протяженного анодного заземлителя или выход из строя стационарного медно-сульфатного электрода сравнения. К сожалению, регулярно проверяются только значения защитных потенциалов в

точках дренажа, так как они являются контрольными значениями для работы СКЗ. Значения же потенциалов на остальных электродах в КШ контролируются только 2 раза в год, согласно РД-29.200.00-КТН-048-14 [2]. Поэтому нередки случаи, когда о локальной недозащите или перезащите подземного сооружения персонал ГЭ ВЛ и ЭХЗ узнает только спустя несколько месяцев, в ходе проведения сезонных замеров.

В результате анализа состояния защиты подземной части РВС были выявлены недостатки системы организации ЭХЗ, связанные как с правильностью настройки, так и регулярностью определения работоспособности ее элементов. Все это приводит к значительному снижению эффективности работы, повышению возможности появления коррозионных явлений на металлических частях РВС.

В связи с этим, необходимо решить следующие проблемы:

- получить возможность постоянного поддержания значений защитных потенциалов на всей наружной поверхности днища РВС;
- снизить время негативного воздействия на защищаемое сооружение, вызванное некорректной работой установки катодной защиты.

#### **Библиографический список**

1. Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита нефтепромысловых резервуаров и аппаратов. М.: ВНИИОЭНГ, 1982. – 52 с.
2. РД-29.200.00-КТН-048-14 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Обследование коррозионного состояния технологический трубопроводов и резервуаров».
3. Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита трубопроводных сетей / Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 2004. – 320 с.
4. Дизенко Е.И., Новоселов В.Ф. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров. М.: Недра, 1978. – 199 с.

<sup>1</sup> Арсентьев О.В., к.т.н., доцент каф. Электропривода и электрического транспорта

<sup>2</sup> Абгалдаев А.Л., обучающийся, студент гр. ЭНГм-21-1

<sup>3</sup> Сибирцев В.Е., обучающийся, студент гр. ЭНГм-21-1

Экспертиза статьи выполнена 26.12.2022 г., протокол № 27

УДК 621.313

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ СТАНЦИИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ**

Арсентьев О.В.<sup>1</sup> Алексеев А.С.<sup>2</sup>, Черкасова Ю.В.<sup>3</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Подземные и заглубленные в земле металлоконструкции подвержены очаговой коррозии вследствие электрохимических процессов, интенсивность которых определяется рядом условий, связанных с состоянием почвы, наличием блуждающих токов, способа нанесения защитных покры-

тий и т.д. Уже давно известно, что остановить коррозионные процессы, которые могут развиваться в подземных металлоконструкциях, посредством только лишь их защитных покрытий, невозможно. Электрохимическая защита является достаточно результативным способом защиты металлоконструкций от электрохимической коррозии. Наиболее распространенным способом организации такой защиты в нефте-газопроводах, нефте-газоперекачивающих станциях является применение катодной защиты [1]. Основным элементом такого способа является станция катодной защиты (СКЗ), которая является источником энергии, и с помощью которой осуществляется настройка и управление процессом металл защиты подземных сооружений.

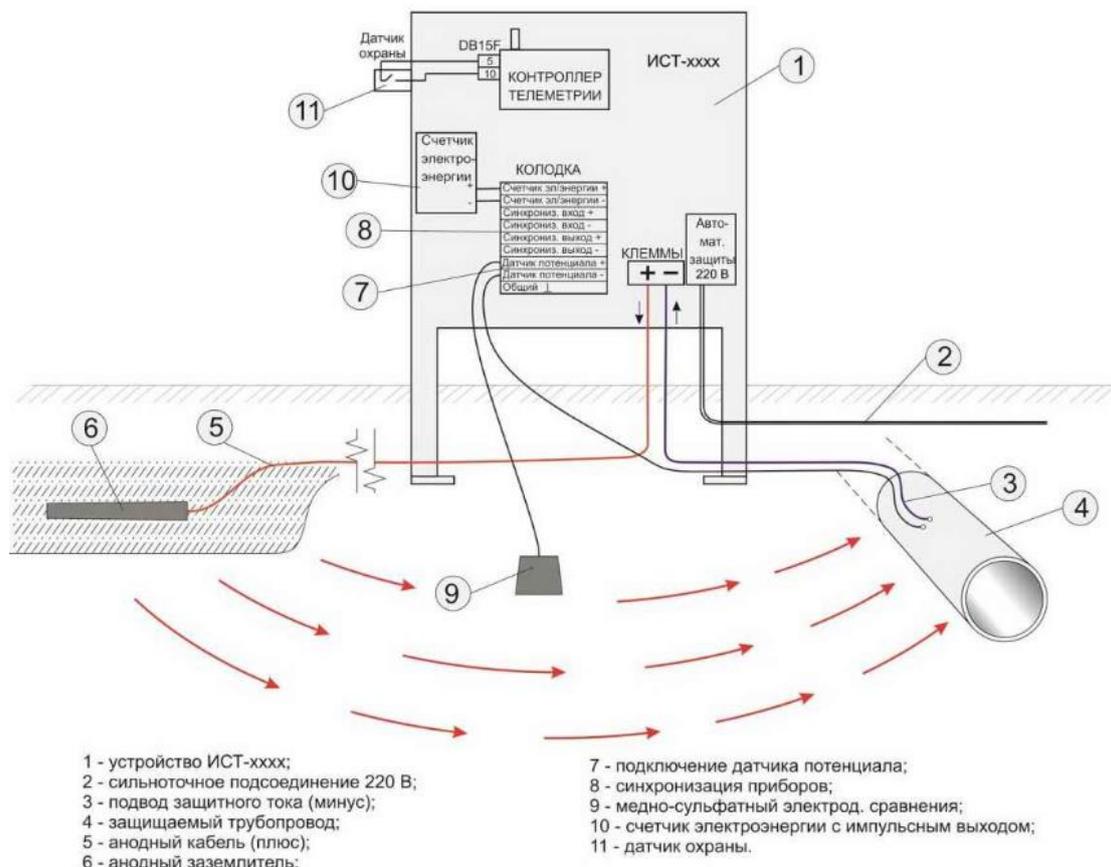
СКЗ является источником внешнего тока в системе катодной защиты [2]. Станции используются для электрохимической защиты от коррозии металлических объектов методом катодной поляризации. Обычно они применяются для защиты:

- подземных нефтепроводов и газопроводов;
- трубопроводов водоснабжения и теплосетей;
- оболочек электрических кабелей;
- металлических резервуаров, крупных объектов;
- подземных сооружений.

Данная станция представляет из себя источник вторичного электропитания или специализированный блок питания, подключающийся к питающей сети (как правило  $\sim 220$  В) и вырабатывающий электрический ток с заданными параметрами.

Пример схемы системы электрохимической защиты подземного нефтепровода с помощью станции катодной защиты ИСТ-1000 продемонстрирован на рисунке 1. Согласно инструкциям по эксплуатации «Транснефть-Восток» станции катодной защиты устанавливаются, в закрытых помещениях коммерческого учета. В этом примере используется современная станция, с контроллером GSM телеметрии и функцией стабилизации потенциала.

В принципе, станции катодной защиты бывают очень разными. Они могут быть трансформаторными или инверторными. Могут быть источниками тока, напряжения, иметь различные режимы стабилизации, различные функциональные возможности.



**Рисунок 1 - Конструктивное исполнение станции катодной защиты**

Станции прошлых лет – это громадные трансформаторы с тиристорными регуляторами [3]. Современные станции – это инверторные преобразователи с микропроцессорным управлением и GSM телемеханикой.

Нагрузкой для устройства катодной защиты является электрическая цепь: анодное заземление – почва – изоляция металлического объекта. Поэтому требования к выходным энергетическим параметрам станций, прежде всего, определяют:

- состояние анодного заземления (сопротивление анод-почва);
- почва (сопротивление грунта);
- состояние изоляции объекта защиты от коррозии (сопротивление изоляции объекта).

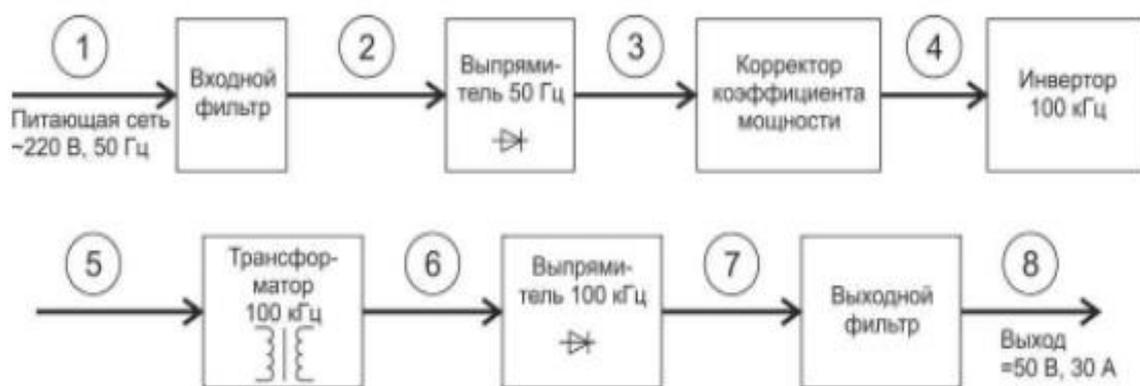
Устройство управления тиристорами может быть самым простым фазоимпульсным регулятором мощности, а может использоваться контроллер с функциями стабилизации выходного тока, напряжения, защитного потенциала.

Главный выигрыш в технических характеристиках инверторных станций происходит из-за того, что размеры силового трансформатора практически обратно пропорционально зависят от частоты преобразования. Увеличив частоту, можно уменьшить размеры трансформатора, а зна-

чит уменьшить вес устройства, длину проводов обмоток, тепловые потери и т.д.

Кроме того, высокая частота сигнала позволяет (опять же пропорционально) уменьшить индуктивности и емкости сглаживающих фильтров, уменьшить уровень пульсаций на выходе устройства.

Структурная схема работы инверторной станции катодной защиты серии «Тиэлла» изображена на рисунке 2.



**Рисунок 2 - Схема работы инверторной станции катодной защиты**

Входное напряжение питающей сети выпрямляется, сглаживается, в результате чего получается постоянное напряжение 300 – 400 В. Далее оно преобразуется инвертором в переменное напряжение высокой частоты прямоугольной формы и поступает на силовой трансформатор. Трансформатор осуществляет гальваническую развязку выходной и входной цепей и снижает напряжение до нужного уровня. Далее следуют высокочастотный выпрямитель и фильтр. В результате на выходе устройства вырабатывается постоянный ток. Частота преобразования у современных инверторных станций катодной защиты 20 – 50 кГц, но в некоторых разработках достигает 100 кГц.

При работе на частоте 100 кГц, т.е. частота преобразования в 2000 раз выше, чем у классического трансформатора 50 Гц. Поэтому размеры трансформатора 50 x 50 мм, а вторичная обмотка - всего 4 витка (при выходном напряжении 60 В). Это провод длиной примерно 50 см. А длина провода вторичной обмотки низкочастотного трансформатора – несколько метров.

Для обеспечения синусоидальной формы тока потребления от питающей сети в инверторных станциях применяют активные корректоры коэффициента мощности. При использовании этих устройств коэффициент мощности достигает 0,99. Но бывают инверторные станции и без корректора. Коэффициент мощности в таких устройствах, как правило, не превышает 0,7.

Раньше станции делили на автоматические и ручные. Имелось в виду, что автоматические устройства стабилизируют (ток или потенциал), а в

ручных станциях выходные параметры выставляются обходчиком для конкретных условий. С изменением окружающих условий (колебания напряжения питающей среды, изменение состояния анодного заземления, дождь, мороз и т.д.), выходные параметры ручных станций меняются.

Для современных станций правильнее называть конкретные параметры, которые стабилизирует устройство. Могут быть следующие варианты:

- станция не стабилизирует ничего, ток защиты регулируется в ручном режиме. Это совсем старые варианты устройств, но они до сих пор работают и даже производятся;
- стабилизация выходного тока. При изменении сопротивления нагрузки, напряжения питающей сети, выходной ток остается неизменным, на заданном уровне. Достаточно распространенный режим;
- стабилизация выходного напряжения. При изменении окружающих условий неизменным остается напряжение. Такой режим используется редко;
- стабилизация защитного потенциала. Устройство поддерживает стабильным потенциал электрода сравнения;
- стабилизация одновременно всех вышеперечисленных параметров. Например, потенциал на уровне 0,8 В, если ток не превысит 10 А, а напряжение должно быть не выше 30 В.

Применение полностью автоматизированных СКЗ позволяет повысить надежность работы электрохимических систем защиты. Возросший уровень управления процессом защиты расширяет технические возможности для реализации основных функций СКЗ – обеспечить надежную защиту от электрокоррозионных явлений, и, тем самым, повысить ресурс работы металлоконструкций, в том числе, применяемых в нефтегазовой промышленности.

### **Библиографический список**

1. Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита нефтепромысловых резервуаров и аппаратов. М.: ВНИИОЭНГ, 1982. – 52 с.
2. Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита трубопроводных сетей / Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 2004.-320с.
3. Дизенко Е.И., Новоселов В.Ф. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров. М.: Недра, 1978. – 199 с.

<sup>1</sup> Арсентьев О.В., к.т.н., доцент каф. Электропривода и электрического транспорта

<sup>2</sup> Алексеев А.С., обучающийся, студент гр. КТЭм-21-1

<sup>3</sup> Черкасова Ю.В., обучающийся, студент гр. ЭНГм-21-1

Экспертиза статьи выполнена 26.12.2022 г., протокол № 27

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТАНЦИИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОВОДОВ**

Арсентьев О.В.<sup>1</sup> Арсланбеков А.Т.<sup>2</sup>, Кривошеин А.А.<sup>3</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Нефтеперекачивающая станция (НПС) представляет собой комплекс сооружений и устройств для приема, и перекачки нефти по магистральному нефтепроводу. Обязательным оборудованием НПС являются резервуары вертикальные стальные (РВС), которые составляют резервуарный парк и используются для хранения сырой нефти, сбора пластовой воды, отстоя и подрезки нефти, хранения обезвоженной и обессоленной нефти. При этом, нужно отметить, что нефть относится к взрывоопасным жидкостям с температурой вспышки около 20 С°, категория смеси паров нефти и воздуха - ПА, группа смеси - ТЗ. Отсюда следует, что при выборе оборудования для НПС требуется учитывать эти опасные явления, в частности применять электрооборудование взрывозащищенного исполнения.

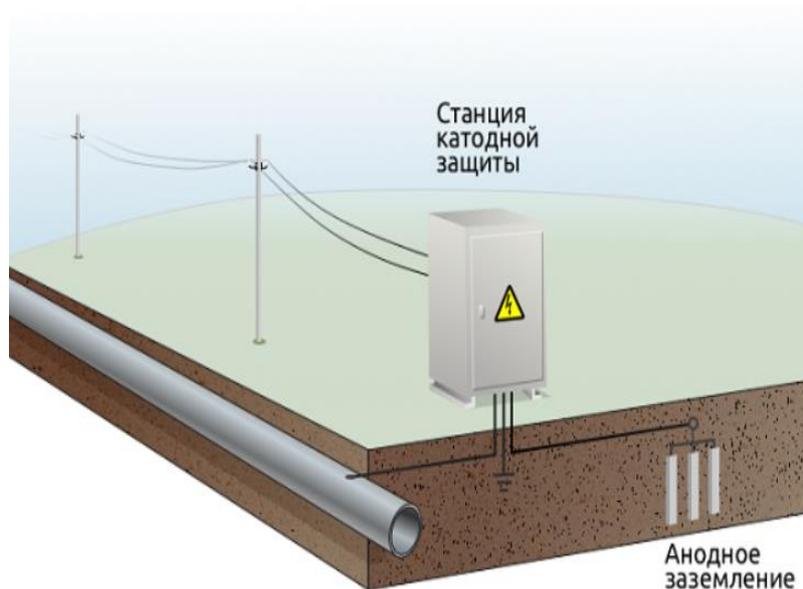
Одним из наиболее распространённых типов РВС является резервуары, емкостью 2000 м<sup>3</sup>, РВС-2000, предназначенные для стационарного хранения нефти, нефтепродуктов, технологических смесей и других жидкостей плотностью до 1 т/м<sup>3</sup>. Он может исполняться по следующим основным конструкциям:

- со стационарной крышей и понтоном;
- со стационарной крышей без понтона;
- с плавающей крышей;
- с защитной стенкой («стакан в стакане»).

Подземная часть РВС подвержена очаговой коррозии вследствие электрохимических процессов, интенсивность которых определяется рядом условий, связанных с состоянием почвы, наличием блуждающих токов, способа нанесения защитных покрытий и т.д. Уже давно известно, что остановить коррозионные процессы, которые могут развиваться в подземных металлоконструкциях, посредством только лишь их защитных покрытий, невозможно. Электрохимическая защита является достаточно результативным способом защиты металлоконструкций от электрохимической коррозии (рис. 1). Используется такая защита в ситуациях, когда потенциал свободной коррозии пребывает в области усиленного распада основного металла или перепассивации. То есть, когда металлоконструкция интенсивно разрушается [1,3].

При электрохимической защите к изделию из металла подключают постоянный электрический ток. Благодаря ему на поверхности металлической конструкции образуется катодная поляризация электродов микро-

гальванических пар и анодные области становятся катодными. При этом вследствие негативного влияния коррозии разрушается не металл, а анод.



**Рисунок 1 - Система электрохимической защиты со станцией катодной защиты**

В настоящее время настройка параметров СКЗ на РВС – это довольно долгий и трудоемкий процесс. Ведь нередки случаи, когда в контрольной точке значение защитного потенциала находится в допустимых пределах, а на другой точке контроля, располагаемой под этим же сооружением в нескольких метрах, наблюдается недозащита или перезащита. Более того, в силу очень плотного расположения подземных коммуникаций на НПС, регулировка параметров одной СКЗ может оказывать значительное влияние на соседние установки и зоны их защиты. Особенно ярко выражена эта проблема на НПС, где используются глубинные анодные заземлители [2].

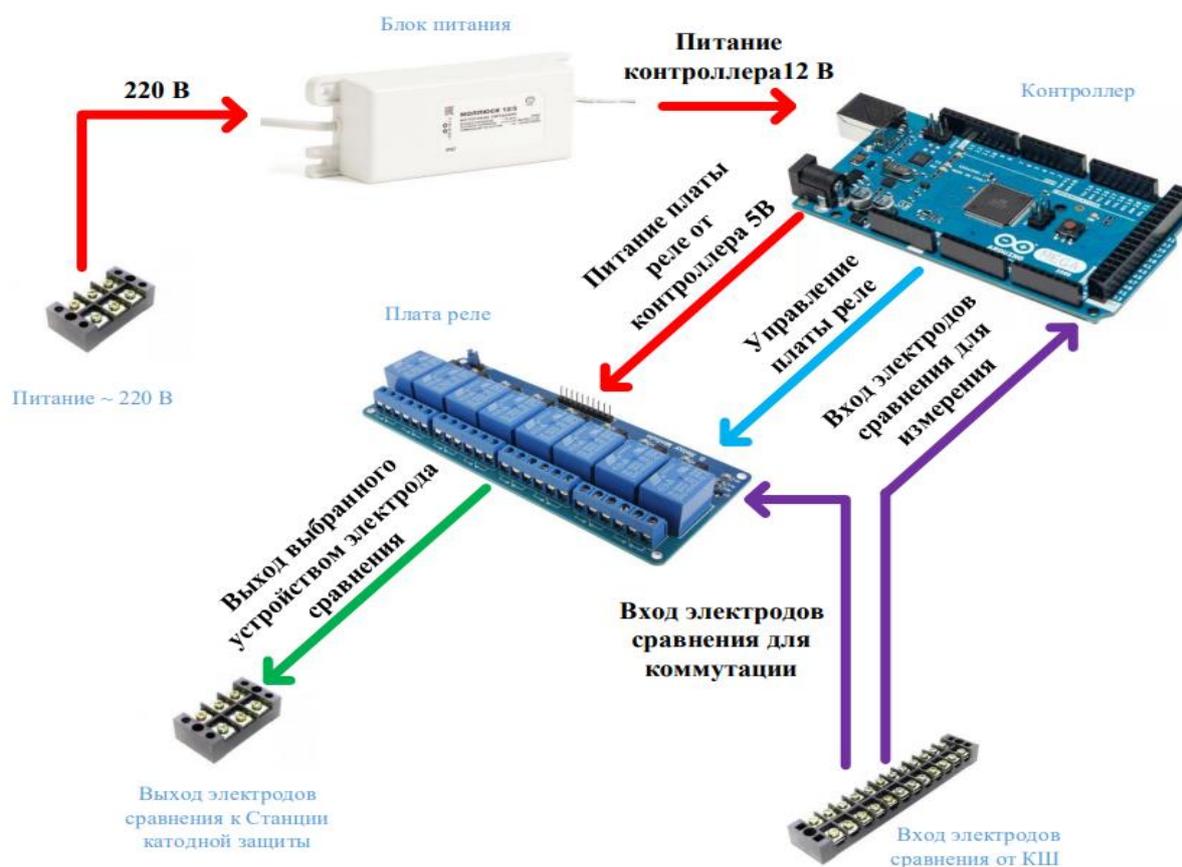
В связи с этим, для повышения эффективности работы СКЗ необходимо решить следующие проблемы:

- получить возможность постоянного поддержания значений защитных потенциалов на всей наружной поверхности днища РВС;
- снизить время негативного воздействия на защищаемое сооружение, вызванное некорректной работой установки катодной защиты.

Для решения этих задач было разработано устройства выбора электродов сравнения (рис. 2). Устройство имеет следующие основные элементы:

- ✓ программируемый контроллер на базе ATmega2560;
- ✓ малогабаритный блок питания МОЛЛЮСК-12/5;
- ✓ плата релейных модулей;
- ✓ монтажный корпус IP65 размерами (370x275x135мм).

Контроллер производит измерение защитных потенциалов на подключённых к нему электродах сравнения каждые 2 секунды (согласно прописанной программы). В случае несоответствия защитных потенциалов нормативным значениям (от -0,90 В до -2,5 В), контроллер подает сигнал на блок реле для переключения контрольного электрода сравнения на электрод с наименьшим значением защитного потенциала. Также при обрыве протяженных анодных заземлителей, устройство зафиксирует падение защитного потенциала на определенной области поверхности днища резервуара и переключит требуемый электрод сравнения к контрольному выводу СКЗ. Тем самым обеспечит постоянное поддержание необходимого защитного потенциала на всех поверхности днища резервуара.



**Рисунок 2 - Система устройства выбора электродов сравнения**

В процессе опытного опробования были симитированы возможные неисправности системы ЭХЗ, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации, такие как:

1) Выход из строя контрольного электрода сравнения, вследствие чего, станция катодной защиты продолжает в автоматическом режиме поддерживать изначально заданное значение защитного потенциала относительно неисправного электрода сравнения. При этом на исправных элект-

тродах сравнения значение защитного потенциала значительно превышает нормативные значения.

2) Повреждение секции протяженного анодного заземлителя, при котором не происходит значительных изменений в контролируемых параметрах работы станции катодной защиты. При повреждении секции анодного заземлителя происходит отклонение защитного потенциала от нормативных значений на ближайших к этой секции электродах сравнения.

По результатам опробования в течение 14 дней на НПС-3 «Вихоревка» устройство контроля и коммутации электродов сравнения показало стабильную и безотказную работу. При возникновении вышеперечисленных неисправностей, устройство корректно определяло точку под днищем резервуара с наименьшей защищённостью и подключало в работу соответствующий электрод сравнения как контрольный для станции катодной защиты, тем самым поддерживая значения защитных потенциалов в нормативных пределах на всей наружной площади днища резервуара.

Предлагаемая система нацелена в первую очередь на увеличение надежности процесса транспортировки нефти посредством сведения к минимуму времени, негативного воздействия на защищаемое сооружение, вызванное некорректной работой установки катодной защиты. Внедрение и использование устройства выбора электродов сравнения даст возможность постоянного поддержания значений защитных потенциалов на всей поверхности днища резервуара, а также позволит снизить время, негативного воздействия на защищаемое сооружение, вызванное некорректной работой установки катодной защиты.

Таким образом, применение новых технических решений, направленных на расширение функциональных возможностей по организации электрохимической защиты РВС, повышает эффективность работы станции катодной защиты вертикальных стальных резервуаров для хранения нефтепроводов. Это позволит существенно увеличить срок эксплуатации РВС за счет снижения воздействия электрохимической коррозии.

### **Библиографический список**

1. Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита нефтепромысловых резервуаров и аппаратов. М.: ВНИИОЭНГ, 1982. – 52 с.
2. Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита трубопроводных сетей / Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 2004. – 320 с.
3. Дизенко Е.И., Новоселов В.Ф. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров. М.: Недра, 1978. – 199 с.

<sup>1</sup> Арсентьев О.В., к.т.н., доцент каф. Электропривода и электрического транспорта

<sup>2</sup> Арсланбеков А.Т., обучающийся, студент гр. ЭНГм-21-1

<sup>3</sup> Кривошеин А.А., обучающийся, студент гр. ЭНГм-21-1

Экспертиза статьи выполнена 26.12.2022 г., протокол № 27

**СИСТЕМА СМАЗКИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ШАГАЮЩЕГО  
ЭКСКАВАТОРА ЭШ-20/90**Арсентьев О.В.<sup>1</sup> Лобза Е.С.<sup>2</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

В настоящее время прогрессивным и экономичным способом добычи полезных ископаемых является открытый способ, при котором производительность труда в несколько раз выше, а себестоимость ниже, чем при подземной разработке месторождений. В практике открытых горных работ используют различные виды выемочного оборудования с широким диапазоном технологических качеств. Удельный вес затрат на выемочно-погрузочные работы в общих затратах на открытую разработку составляет 15 - 40%. Техническая возможность и эффективность использования того или иного вида выемочного оборудования зависят в первую очередь от экскавируемости пород, а также от типа разрабатываемых месторождений.

Существующие типы экскаваторов в общем виде классифицируются типажом по следующим признакам: назначению и роду выполняемой работы; емкости ковша ( $E, \text{м}^3$ - одноковшовые) или теоретической производительности ( $Q_T, \text{м}^3/\text{ч}$  - многоковшовые); видам рабочего, ходового и силового оборудования. Одним из типов карьерных экскаваторов являются шагающие экскаваторы (драглайны).

Шагающие экскаваторы-драглайны основное применение нашли при бестранспортной системе разработки месторождений открытым способом. Обладая технологическими и экономическими преимуществами по сравнению с экскаваторами мехлопатами, драглайны являются более габаритными и сложными конструкциями. Шагающие экскаваторы составляют около 30% парка одноковшовых экскаваторов в стране. Большая их часть используется на открытых разработках угольных месторождений.

В настоящее время наиболее распространенными драглайнами являются ЭШ 10/70, ЭШ 15/90 и ЭШ 20/90. Экскаваторы ЭШ 10/70А и ЭШ 15/90А находятся в эксплуатации по 18 - 25 лет, прошли по два - три капитальных ремонта и большинство из них эксплуатируется по настоящее время. Шагающие экскаваторы, являющиеся полноповоротными машинами циклического действия, по своей конструкции относят к типу экскаваторов с шагающим ходом и гибкой связью ковша с машиной (драглайны).

Шагающий экскаватор ЭШ – 20/90 изготовлен Уральским заводом тяжелого машиностроения ОАО «Уралмаш» (рис. 1). Он имеет ковш вместимостью  $20 \text{ м}^3$  и стрелу длиной 90 м. Это сложная крупногабаритная вскрывная машина с рабочей массой 1710 тонн.



**Рисунок 1 – Общий вид ЭШ 20/90**

Экскаваторы-драглайны работают в очень сложных климатических и технических условиях, практически в непрерывном режиме. От надежности работы всего его оборудования, как механического, так и электрического, зависит объем выполненных вскрышных работ, которые, по сути, определяют уровень и график добычи рудных ископаемых, в частности угля.

Одним из факторов, определяющим надежность работы механических узлов экскаватора, является своевременная смазка его подвижных элементов, подшипниковых узлов, зубчатых и шлицевых соединений и сопряжений. Это необходимо для снижения контактных напряжений, уменьшения сил трения и износа деталей, отвода тепла, защиты от коррозии и наклепа, для выноса твердых частиц с поверхности трения. Система смазки должна обеспечить подвод к деталям необходимого количества смазочных материалов. Тип применяемых смазочных материалов определяется условиями эксплуатации механизмов, потребной вязкостью, типом подшипников и т. д.

Применяемые сегодня на карьерных машинах системы смазки подразделяются на индивидуальные и централизованные. При индивидуальной схеме смазка подводится к каждой трущейся паре отдельно от расположенного рядом смазочного устройства. При централизованной схеме группа отдельных рабочих пар смазывается одним общим устройством. По времени действия системы смазки подразделяются на периодические (к этому типу относится и ручная смазка) и непрерывные (автоматические), по способу подачи смазки – на принудительную и самотечную.

Смазочные материалы представляют собой как жидкие масла, так и пластичные (консистентные, густые) смазки. Масла в зависимости от вяз-

кости принято подразделять на легкие, средние и тяжелые (высоковязкие). Смазки по назначению подразделяются на универсальные, промышленные, автотранспортные. Данное деление сохранилось еще с середины прошлого века и, в общем, определяет область применения смазочных материалов. У карьерного экскаватора большие контактные нагрузки зарождаются в редукторах рабочих лебедок, в механизмах шагания и поворота (пара зубчатый венец–шестерня), в канатах при обхвате барабанов и блоков, в механизме хода (шагания), седловых подшипниках и т. д.

На экскаваторе ЭШ- 20/90 применяются как групповые (рис. 2а), так и индивидуальные типы смазки (рис. 2б).



а)

б)

Рисунок 2 - Система смазки ЭШ-20/90

Групповая система организована с помощью маслостанции и масляных магистралей, по которым смазка подается в необходимые механические узлы. Индивидуальные точки смазывания с помощью отдельных ручных стационарных маслососов или так же вручную, но с использованием переносного смазочного шприца-нагнетателя.

График смазки отдельных узлов и механизмов определяет таблицей смазки рабочего оборудования ЭШ:

- номер позиции точки смазки по схеме;
- название смазываемого узла;
- число мест смазки в узле;
- через какие промежутки времени нужно проводить смазку;
- тип смазочного материала;
- возможно, расход смазочного материала за одну смазку.

График смазки, условия и тип смазочного материала нужно соблюдать полностью. При длительной работе масло «стареет» и свойства его ухудшаются главным образом из-за окисления кислородом воздуха, каталитического действия частиц металла, воздействия высокой температуры поверхностей и загрязнения механическими примесями.

Периодичность замены смазки в отдельных узлах трения зависит от конкретных условий эксплуатации и характеристик смазочного материала. Уровень масла в редукторах необходимо проверять ежедневно и при необходимости обязательно доливать масло. Зубчатые передачи и подшипники механизмов напора, подъема, тяги (для экскаваторов ЭШ), вспомогательных механизмов смазываются разбрызгиванием. Смазка зубчатых передач редукторов поворота, хода – принудительная, с помощью насосных установок. При длительной работе масло «стареет» и свойства его ухудшаются главным образом из-за окисления кислородом воздуха, каталитического действия частиц металла, воздействия высокой температуры поверхностей и загрязнения механическими примесями. Периодичность замены смазки в отдельных узлах трения зависит от конкретных условий эксплуатации и характеристик смазочного материала.

Соблюдение условий смазки механических узлов шагающего экскаватора позволит повысить его работоспособность, снизить ремонтные расходы по причине поломки механизмов. Следует отметить, что применяемые на ЭШ системы смазки являются, по сути дела, ручными. Включение групповой системы производится рабочей сменой экскаватора. Индивидуальные точки смазываются так же персоналом ЭШ. При этом отследить качество смазочного процесса – прежде всего время, тип смазки и объем смазочного материала, практически не возможно. По сути, все зависит от профессионализма команды ЭШ, желания поддержать на должном уровне работоспособность экскаватора.

### **Библиографический список**

1. Кох П.И. Одноковшовые экскаваторы. Устройство, монтаж, эксплуатация и ремонт. Изд. 2, пер. и доп. 1963. 440 с.
2. Хмызников К.П., Лыков Ю.В. Механическое оборудование карьеров. Одноковшовые экскаваторы. Учебное пособие. Санкт-Петербургский горный институт (технический университет). СПб, 2007. – 41 с.

<sup>1</sup> Арсентьев О.В., к.т.н., доцент каф. Электропривода и электрического транспорта

<sup>2</sup> Лобза Е.С., обучающийся, студент гр. ЭАПЭб-22-1

Экспертиза статьи выполнена 15.12.2022 г., протокол № 24

## СПОСОБ МОДЕРНИЗАЦИИ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ 2Ц5Х2,8

Арсентьев О.В.<sup>1</sup>, Ващенко А.О.<sup>2</sup>, Цимбалова Е.А.<sup>3</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Шахтные подъемные установки (ШПУ) предназначены для выдачи на поверхность добываемого угля и солевой руды, получаемой при проходке горных выработок породы, быстрого и безопасного спуска и подъема людей, транспортирования крепежного леса, горно-шахтного оборудования и материалов. При помощи подъемной установки производится также осмотр крепления ствола шахты. На крупных шахтах, как правило, имеются две-три действующие подъемные установки, и каждая из них предназначена для определенных целей (выдачи угля, спуска-подъема людей, выдачи породы и т.д.), а не является резервом другой. От надежной, бесперебойной и производительной работы шахтного подъема зависит ритмичная работа всей шахты в целом, поэтому к подъемным установкам (из всего комплекса электромеханического оборудования шахты) представляют особые требования в отношении надежности и безопасности.

Самыми мощными из всего стационарного оборудования на шахте являются современные шахтные подъемные машины. Вес подъемных машин составляет 20-300 т. ШПУ устанавливают на весь срок эксплуатации шахты. При этом мощность электропривода подъемной машины достигает 1000 кВт, а крупных – 2000 кВт и выше. До 40% всей электроэнергии, расходуемой шахтой, потребляет электропривод подъемных установок.

ШПУ должны иметь безотказно действующие тормозные устройства и надежное управление, потому как скорость движения подъемных сосудов в стволе достигает 15-20 м/сек (54-72 км/час). Это приравнивается к скорости железнодорожных составов, с учетом коротких расстояний равных длине шахтного ствола.

Для привода ШПУ устанавливается электродвигатель с номинальным током 2650 А, номинальным напряжением 930 В. Питание двигателя осуществляется от сети 6 кВ через понижающий трансформатор ТМП 6300/10У. На ШПУ в качестве силового привода используется двигатель П2-2651-2,25 УХЛ4 (рис. 1), мощностью 2250 кВт, частотой вращения якоря 4000 об/мин и номинальным током якоря 2650 А при работе на напряжение якоря 930 В. Управление электропривода осуществляется с помощью тиристорного преобразователя, регулирующего ток в цепи якоря - КТЭУ4000/930-1238333-500 Р УХЛ 4, номинальным напряжением 930 В и средним значением выпрямленного тока 4 кА [1]. Основным недостатком работы таких схем управления является значительное потребление реак-



В настоящее время, на стороне 6 кВ трансформатора установлена нерегулируемая батарея конденсаторов, регулируемое ФКУ предлагается установить на стороне низкого напряжения, 1 кВ.

На рисунке 2 представлена функциональная схема модернизации с активным фильтром гармоник на стороне низкого напряжения. Активный фильтр подключается параллельно преобразователю и формирует кривую потребляемого тока, компенсируя гармоники и реактивную составляющую. Драйвер формирует сигнал управления работой ФКУ в зависимости от параметров переменного тока 1 кВ и постоянного тока якоря двигателя ШПУ, а так же величины напряжения на трансформаторе.

Для того, чтобы осуществить циклическую нагрузку шахтной подъемной установки, возникает необходимость использования статического тиристорного компенсатора (СТК), осуществляющего регулирование ФКУ. Активный фильтр гармоник устанавливается на низкой стороне трансформатора и потребляет или отдает реактивный ток, дополняя потребляемый преобразователем ток до синусоиды.

Предложенный способ модернизации ШПУ 2Ц5х2,8 позволит сократить потребление электроэнергии за счет компенсации потребления реактивной мощности, улучшит гармонический состав сети, сократит количество простоев по причине отказа силовой части якорного преобразователя подъемного двигателя. Сохранение прежней схемы включения, с использованием нерегулируемых элементов, позволяет осуществить вариант резервирования, при котором минимальные энергетические возможности ШПУ сохраняются, даже в случае выхода из строя регулируемых элементов. Предложенные технические решения способствуют улучшению условий работы других электроустановок, получающих электроснабжение из этой электрической сети.

### Библиографический список

1. Тиристорные преобразователи постоянного тока. [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL:<http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/1034-tiristornye-preobrazovateli.html>.
2. Горно-Шахтное оборудование., Общее описание подъемных машин 2Ц-5х2,8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: <https://rudf.ru/oborudovanie/mashiny-podema/mashina-2ts-5x2-8>.
3. Преобразователи с активным выпрямителем и активные фильтры гармоник [Электронный ресурс]. - Режим доступа – URL:<http://www.ic-art.ru/garmoniki/preobrazovateli-afe-i-aktivnyye-filtry/>

<sup>1</sup> Арсентьев О.В., к.т.н., доцент каф. Электропривода и электрического транспорта

<sup>2</sup> Ващенко А.О., обучающийся, студент гр. ЭНГм-22-1

<sup>3</sup> Цимбалова Е.А., обучающийся, студент гр. ЭНГм-22-1

Экспертиза статьи выполнена 15.12.2022 г., протокол № 24

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ, ОБЪЁМА И МАССЫ НЕФТЕПРОДУКТА В ЕМКОСТЯХ

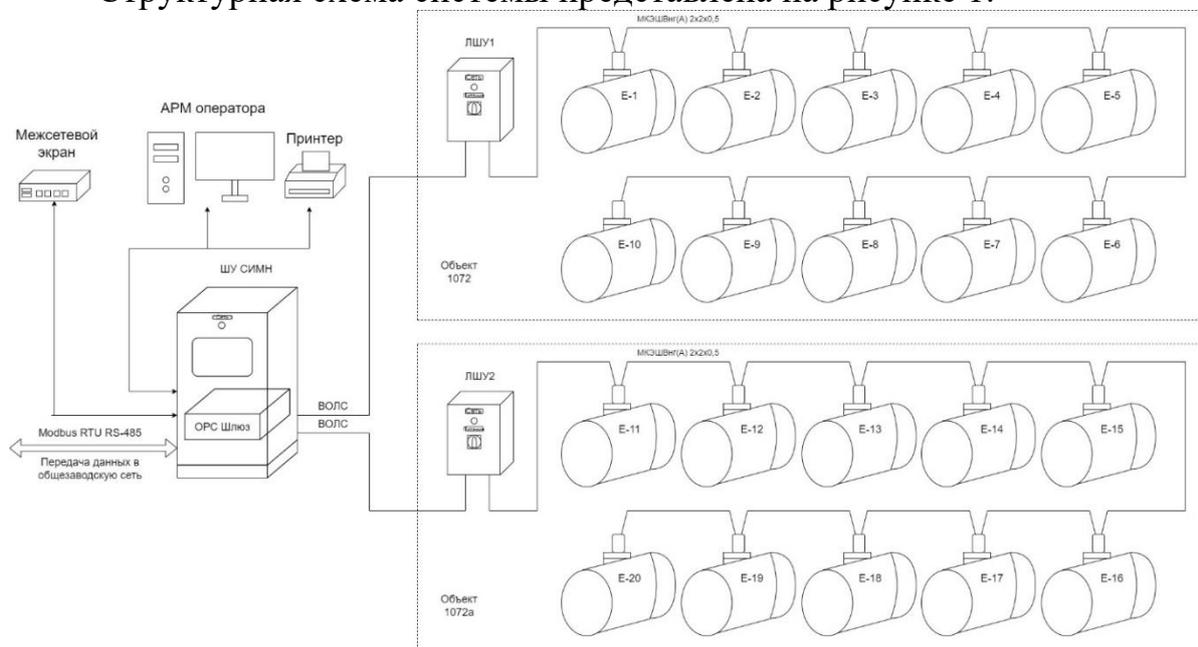
Арсентьев М.О.<sup>1</sup>, Портяной А.А.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

В процессе переработки нефтепродуктов одной из актуальных задач является повышение эффективности их эксплуатации, которая решается главным образом за счет снижения потерь нефтепродуктов. Для оценки проводимых мероприятий необходима точная и достоверная информация о количестве хранимого нефтепродукта [2]. Повышение точности определения массы нефтепродуктов является значимой проблемой для предприятий, участвующих в процессах хранения и переработки. Поэтому разработка новых и совершенствование существующих методов определения массы нефтепродуктов в процессах транспорта и хранения в настоящее время является актуальной задачей [1].

Система измерений массы нефтепродуктов предназначены для измерений массы, объема, уровня, уровня подтоварной воды, уровня раздела сред, температуры и гидростатического давления нефти, нефтепродуктов при ведении учетных операций, а также для управления и оперативного учета в резервуарах [3].

Структурная схема системы представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Структурная схема**

В системе реализовано автоматизированное измерение массы нефти и нефтепродуктов с применением косвенного метода, основанного на гидростатическом принципе, в соответствии с требованиями ГОСТ 8.587-2019

ГСИ «Масса нефти и нефтепродуктов. Методики (методы) измерений» [5] и ГОСТ Р 8.785-2012 ГСИ «Масса газового конденсата, сжиженного углеводородного газа и широкой фракции легких углеводородов. Общие требования к методикам (методам) измерений» [6].

В состав системы входит:

1) Нижний уровень, включающий первичные преобразователи уровня, уровня раздела сред, температуры, дифференциального давления, расположенные непосредственно на каждом резервуаре, контролируемом системой.

Нижний уровень является измерительным компонентом системы, выполняющим в автоматическом непрерывном режиме следующие функции (в каждом резервуаре, контролируемом системой):

- измерение уровня продукта;
- измерение уровня подтоварной воды;
- измерение температуры продукта в заданных точках по высоте резервуара;
- измерение гидростатического давления жидкости;

2) Средний уровень, включающий вторичный прибор, который непрерывно обрабатывает информацию, поступающую от первичных преобразователей со всех резервуаров, производит окончательный расчет, индикацию измеренных параметров и передачу сигналов на верхний уровень системы для управления внешними устройствами автоматизации.

3) Верхний уровень, включающий программный продукт SCADA-система. SCADA реализует функции управления технологическими процессами, ведение журнала событий и архивирование данных, вывод количественных показателей нефти за отчетные периоды с АСУ ТП.

Общий вид панели оператора представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Панель MT8150XE 15"

Шкаф управления системой измерения массы нефтепродуктов предназначен для обеспечения визуализации работы системы, передачи измеренных данных с первичных преобразователей на панели оператора.

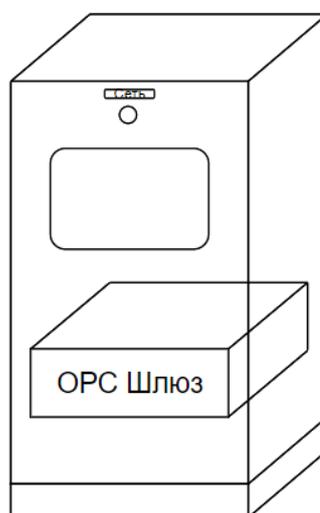
Основные технические характеристики шкафа управления системой измерения массы нефтепродуктов представлены в таблице 3.

**Таблица 1**

**Основные технические характеристики шкафа управления**

Наименование характеристики	Значение	Ед. измер.
Потребляемая мощность, не более	800	Вт
Напряжение питания	220	VAC
Частота	50	Гц
Мощность источника питания	60	Вт
Выходное напряжение источника питания	24	VDC
Габаритные размеры (ДхШхГ)	1700x800x1000	мм

Общий вид шкафа управления системой измерения массы нефтепродуктов представлен на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Шкаф управления системой измерения массы нефтепродуктов**

Локальный шкаф управления предназначен для обеспечения питания первичных преобразователей напряжением питания  $\pm 24$  VDC и передачей измеренных данных в ВП.

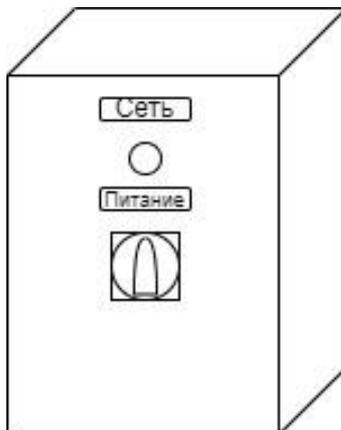
Основные технические характеристики локального шкафа управления представлены в таблице 2.

**Таблица 2**

**Основные технические характеристики локального шкафа**

Наименование характеристики	Значение	Ед. измер.
Потребляемая мощность, не более	40	Вт
Напряжение питания	220	VAC
Частота	50	Гц
Мощность источника питания	40	Вт
Выходное напряжение источника питания	24	VDC
Габаритные размеры (ДхШхГ)	400x300x200	мм

Общий вид локального шкафа управления представлен на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Локальный шкаф управления**

По результатам проектирования системы удалось получить универсальную систему измерения уровня, объема и массы нефтепродуктов с применением современных первичных преобразователей, панелью оператора, АРМом оператора и высокими показателями точности:

- предел допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня продукта  $\pm 3$  мм;
- Предел допускаемой относительной погрешности измерений массы продукта  $\pm 0,65\%$ ;
- Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры  $\pm 0,3$  °С;
- Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности  $\pm 0,5$  кг/м<sup>3</sup>.

### **Библиографический список**

1. Ханов Н.И., Фатхутдинов А.Ш., Слепян М.А., Золотухин Е.А., Фатхутдинов Т.А., Коловертнов Г.Ю. Измерения количества и качества нефти и нефтепродуктов при сборе, транспортировке, переработке и коммерческом учете. - СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов, 2000. - 270 с.
2. Брагинский, О. Б. Нефтегазовый комплекс мира/ Брагинский О. Б. – М: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2006. 640 с.
3. Цагарели Д. В., Зоря Е. И., Багдасаров Л. Н. Сохранность нефтепродуктов. — М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2002. — 384 с.: ил.
4. ГОСТ 8.587-2019. «Масса нефти и нефтепродуктов. Методики (методы) измерений».
5. ГОСТ Р 8.785-2012 ГСИ «Масса газового конденсата, сжиженного уг-

леводородного газа и широкой фракции легких углеводородов. Общие требования к методикам (методам) измерений».

<sup>1</sup> Арсентьев О.В., к.т.н., доцент каф. Электропривода и электрического транспорта

<sup>2</sup> Портяной А.А., обучающийся, студент гр. ЭНГм-21-1

Экспертиза статьи выполнена 15.12.2022 г., протокол № 24

УДК 621.313

## **ДИСТАНЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Сбитнев К.Д.<sup>1</sup>, Арсентьев М.О.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Транспортировка электроэнергии от электростанции к потребителям является одной из важнейших задач энергетики. Электроэнергия поставляется преимущественно по воздушным линиям (ВЛ) электропередачи, которые состоят из кабельных линий и оборудования для преобразования энергии и согласования с нагрузкой. Эффективность и надежность передачи энергии определяется состоянием сетей электроснабжения. Современное развитие электроэнергетики предполагает широкое внедрение цифровых измерительных систем, датчиков, систем цифрового управления, представляющих собой отдельные элементы цифровизации отрасли [1].

В настоящее время во всем мире находят широкое применение различные системы дистанционной диагностики ВЛ, обеспечивающие системного оператора подробными сведениями о текущем состоянии воздушных и кабельных сетей электроснабжения. Система мониторинга состоит из сети измерительных блоков, связанных через канал связи с оборудованием на диспетчерском пункте. Измерительные блоки распределены вдоль трассы ВЛ и монтируются на опорах либо непосредственно на высоковольтных проводах.

Диспетчерские пункты расположены в узловых точках сетей перераспределения энергии, обеспечивают обработку и интерпретацию полученных от измерительных блоков данных.

В измерительный блок входят следующие базовые компоненты:

- группа датчиков для измерения основных текущих параметров проводной линии;
- процессорный модуль для обработки измеренных данных;
- система передачи данных;
- модуль автономного питания.

В зависимости от функционального назначения в системах дистанционной диагностики могут использоваться различные типы датчиков:

- измерения тока в проводе;
- температуры провода в полете

- механического напряжения провода в точках подвеса (тензодатчики);
- измерения затухания в оптических волокнах грозотроса или фазного провода;
- измерения критических стрел
- оценки климатических условий (метеостанция);
- вибрационных характеристик проводов (акселерометры).

Измерение тока осуществляется бесконтактным методом.

Основой платформы диагностической системы являются цифровые модули дистанционной диагностики проводов ВЛ, элементов цифрового двойника ВЛ 6–110 кВ [2].

Цифровой двойник ВЛ 6–110 кВ включает следующие модули.

Модуль дистанционной диагностики проводов ВЛ, позволяющий измерять силу тока в проводе, температуру провода, угол стрелы провеса провода, амплитуду и частоту вибрации провода, фиксировать обрыв провода в пролете, а также обеспечивать GPS-позиционирование и привязку ВЛ к картографическим данным [3,4].

1. Модуль дистанционной диагностики изоляторов ВЛ позволяет фиксировать ток утечки и его изменение в зависимости от метеоданных и других параметров, угол отклонения гирлянды от вертикальной оси и обрыв провода в пролете.

2. Охранный модуль ВЛ позволяет предотвратить несанкционированное проникновение в охранную зону ВЛ, несанкционированный подъем на опору ВЛ, а также предупредить хищение металла и разрушение опор ВЛ.

3. Модуль дистанционной диагностики опор ВЛ позволяет проводить диагностику угла наклона опоры, а также амплитуды и частоты вибрации верхней части опоры ВЛ.

4. Метеостанция ВЛ позволяет измерять температуру, влажность, скорость и направление ветра, величину осадков, солнечную активность, обеспечивать прием прогноза метеорологических данных по сети и обработку методами искусственного интеллекта.

Модули располагаются непосредственно на ВЛ, фиксируют параметры работы в реальном времени. Информация с модулей, размещенных на ВЛ, передается на сервер сбора и хранения информации для последующей обработки и распределения полученных данных по диспетчерским пунктам электросетевых компаний и аварийных служб, которые получают возможность оперативно реагировать на проявление нештатных и аварийных ситуаций. Передача данных осуществляется по беспроводным каналам связи GSM/Iridium, что обеспечивает 100 %-е покрытие даже в труднодоступных регионах.

Модули дистанционной диагностики проводов размещаются непосредственно на проводах.

Переданные данные от модулей поступают в систему интеллектуальной диагностики диспетчерского пункта электросетевой компании, которая обеспечивает:

- отображение данных в реальном масштабе времени на диспетчерском пункте электросетевой компании о состоянии и нагрузке на провода ВЛ;
- выработку рекомендаций для оптимизации потоков электроэнергии и снижения потерь
- формирование аварийных сообщений;
- передачу аварийных сообщений оперативному персоналу в виде СМС и уведомлений Skype;
- выработку рекомендаций в реальном масштабе времени для оперативного управления в предаварийных и аварийных режимах;
- расчет вероятности и степени обледенения провода;
- расчет состояния провода, степени его износа на основании данных вибрации и пляски;
- оценку состояния провода и переход от обслуживания по регламенту к обслуживанию по текущему состоянию;
- формирование и хранение баз данных параметров.

К преимуществам использования разработанных модулей можно отнести предупреждение аварийных ситуаций на высоковольтных линиях электропередачи, оперативное реагирование на внештатные ситуации, дистанционную диагностику в зонах повышенной опасности без непосредственного участия человека, быстрый поиск неисправностей на всем протяжении ВЛ, снижение финансовых и трудовых затрат на проверку и поддержание работоспособности ВЛ, повышение эффективности диспетчерских пунктов.

Цифровизация в энергетике является передовым способом качественного изменения ее возможностей. Применение модулей дистанционной диагностики проводов повысит надежность электроснабжения потребителей, снизит потери и сократит время устранения последствий аварийных ситуаций.

### **Библиографический список**

1. Бердников Р.Н., Бушуев В.В., Васильев С.Н., Веселов Ф.В., Воропай Н.И. и др. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью. М.: ФСК ЕЭС, 2012.
2. Андрюшкевич С.К., Ковалев С.П., Нефедов Е.И. Подходы к разработке и применению цифровых двойников энергетических систем//Цифровая подстанция. 2019. № 12. С. 38–43.
3. Боровков А. Цифровые двойники и цифровые тени в высокотехнологичной промышленности. Режим доступа: <https://4science>.

ru/articles/Cifrovie-dvoyniki-i-cifrovieteni-v-visokotehnologichnoi-promishlennosti (дата обращения 24.11.2022).

4. Бухановский А.В. Цифровые двойники ведут нас в седьмой технологический уклад//Энергетика и промышленность России. 2019. № 7 (363).

<sup>1</sup> Сбитнев К.Д., обучающийся, студент гр. ЭНГм-22-1

<sup>2</sup> Арсентьев М.О., к.т.н., доцент каф. Электропривода и электрического транспорта  
Экспертиза статьи выполнена 21.12.2022 г., протокол № 26

УДК 621.313

## СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В СФЕРЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Заколотный Д.В.<sup>1</sup>, Арсентьев М.О.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Добыча жидких углеводородов в России за последние 10 лет выросла на 9,3%; основной прирост был обеспечен месторождениями Красноярского края, Иркутской области, Республики Саха (Якутия).

Разведка новых месторождений, обслуживание существующей инфраструктуры, востребована в новых современных и экологически чистых решениях. Актуальной задачей является энергоснабжение и водоснабжение для бытовок, передвижных лабораторий, жилых модулей.

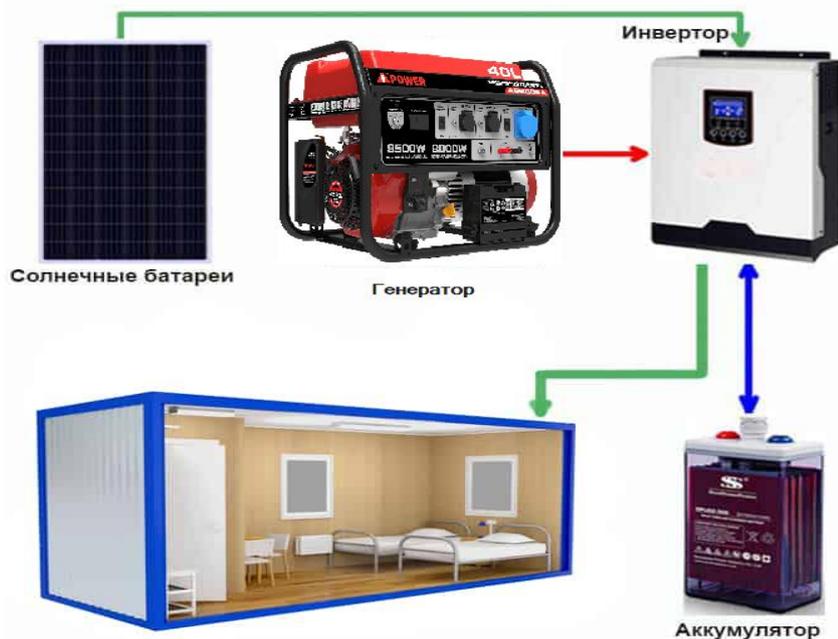


Рисунок 1 - Схема подключения

Универсальным решением для обеспечения электроснабжения может послужить солнечная электростанция в паре с солнечным коллектором. Резервом по питанию служит бензиновый генератор (рис. 1). Аккумулятор-

ными батареями послужат отработанные батареи от электромобилей. Полученная электроэнергия от генерации солнечной электростанции дает независимость от удаления от электросетей и способна обеспечить производство электроэнергии. А также ее накопление (в аккумуляторах) и подачу напряжения 220 Вольт, для стабильной работы освещения и бытового электрооборудования [1-3,5].

Аккумуляторы являются одним из самых дорогостоящих элементов солнечной электростанции, поэтому для увеличения срока службы, рекомендуется разряжать их не более чем на 50 -70% от их емкости. Чем меньше глубина разряда, там больше срок службы аккумулятора.

Аккумуляторы для резерва, предлагается применять от электромобилей. По данным Международного энергетического агентства (IEA), в мире эксплуатируется 16 млн электромобилей, а к 2030 году их станет уже около 250 млн. В России сейчас около 25 тыс. электромобилей и более тысячи электробусов. Пока в стране выпускаются только электробусы, но в соответствии с «Концепцией по развитию производства и использования электромобильного транспорта в РФ до 2030 года», утвержденной Правительством РФ в августе 2021 года, к 2030 году в России ежегодно должно производиться около 220 тыс. электрокаров. Для них будет создана необходимая инфраструктура, и часть ее — это заводы по переработке отработанных аккумуляторов. Средняя батарея электромобиля, проезжающего 20 тыс. км в год, может прослужить от 10 до 20 лет. К 2025 году, по всему миру более 3,4 млн аккумуляторных блоков электромобилей потеряют свои свойства (рис. 2).

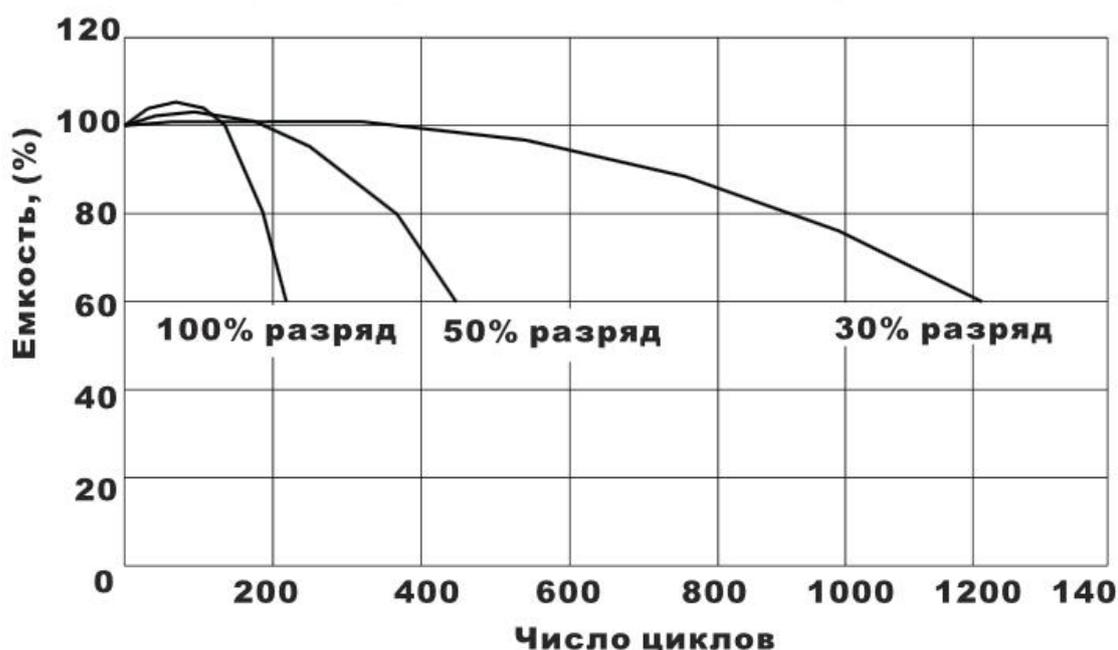


Рисунок 2 - Срок службы в циклическом режиме

Проблема с утилизацией батарей довольно серьезная. Современный подход к производству должен строиться на принципах «зеленой» экономики. Все, что производится, должно перерабатываться, становиться вторсырьем, а не мусором. Международные стандарты устанавливают такие требования и для электротранспорта: каждый элемент в перспективе будет переработан, и аккумуляторы — не исключение. В электромобилях используются литий-ионные батареи в различных их модификациях. Но в среднем в каждом аккумуляторе 95–96% — это возвращаемое сырье, которое можно повторно использовать в производстве.

Через 10–15 лет эксплуатации в электромобиле батарея начинает терять значения емкости, и ее требуется заменить. Но дальше аккумуляторы могут получить «вторую жизнь» в качестве систем накопителей энергии — это еще около 10 лет эксплуатации. Во всем мире такие накопители из отработанных электромобильных аккумуляторов начинают использоваться для хранения энергии на солнечных или ветровых электростанциях, в системах городского освещения и так далее. В России также обсуждается создание в будущем «умной» системы энергоснабжения — smart grid [6,7]. В соответствии с ней избыточную энергию можно будет отдавать обратно в сеть. Жизненный цикл электромобильного аккумулятора составляет 20–25 лет. Он включает в себя повторную эксплуатацию в качестве накопителя энергии, а после — переработку. Это базовый принцип «зеленого» производства, которого придерживаются разработчики электромобилей — самого экологичного на данный момент транспорта [4].

Для отопления и горячего водоснабжения предлагается использование солнечного коллектора. Солнечную энергию можно направить на нагрев воды или на поддержку отопления. И ежегодно экономить на приготовлении горячей воды до 60...95% затрачиваемых энергоносителей, на отоплении до 30...40% энергоресурсов. Использование солнечной энергии для приготовления горячей воды и поддержки отопления — это возможность постоянно иметь резерв и в значительно меньшей степени зависеть от надежности поставок традиционных энергоресурсов. Выбор солнечного коллектора зависит от места его применения.

Для генерации электроэнергии предлагается использовать солнечные панели. Наиболее эффективными с энергетической точки зрения устройствами для превращения солнечной энергии в электрическую (т.к. это прямой, одноступенчатый переход энергии) являются полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП). При характерной для ФЭП равновесной температуре порядка 300-350 Кельвинов и  $T$  солнца  $\sim 6000$  К их предельный теоретический КПД  $>90$  %. Это означает, что, в результате оптимизации структуры и параметров преобразователя, направленной на снижение необратимых потерь энергии, вполне реально удастся поднять практический КПД до 50% и более.

В системах преобразования энергии СЭС (солнечных электростанций) в принципе могут быть использованы любые созданные и разрабатываемые в настоящее время типы ФЭП различной структуры на базе разнообразных полупроводниковых материалов, однако не все они удовлетворяют комплексу требований к этим системам: высокая надёжность при длительном ресурсе работы; доступность исходных материалов в достаточном для изготовления элементов системы преобразования количестве и возможность организации их массового производства; приемлемые с точки зрения сроков окупаемости энергозатраты на создание системы преобразования; минимальные расходы энергии и массы, связанные с управлением системой преобразования и передачи энергии (космос), включая ориентацию и стабилизацию станции в целом; удобство техобслуживания.

Цены на кремниевые фотоэлектрические батареи снизились за 25 лет в 20-30 раз с 70-100 долл./ватт в семидесятых годах вплоть до 3,5 долл./ватт в 2000 г. и продолжают снижаться далее. На Западе ожидается переворот в энергетике в момент перехода цены 3-долларового рубежа. По некоторым расчётам, это может произойти уже в 2002 г., а для России с нынешними энерготарифами этот момент наступит при цене 1 ватта СБ 0,3-0,5 доллара, то есть, при на порядок более низкой цене. Тут играют роль вместе взятые: тарифы, климат, географические широты, способности государства к реальному ценообразованию и долгосрочным инвестициям. В реально действующих структурах с гетеропереходами КПД достигает на сегодняшний день более 30% , а в однородных полупроводниках типа монокристаллического кремния - до 18%. Среднее значение КПД в солнечных батареях на монокристаллическом кремнии сегодня около 12%, хотя достигает и 18%. Именно, в основном, кремниевые СБ можно видеть сегодня на крышах домов разных стран мира.

Постольку-поскольку СБ выдают постоянный ток, то встаёт задача трансформации его в промышленный переменный 50 Гц ,220 В. С этой задачей отлично справляется специальный класс приборов- инверторы.

Резервным источником питания для заряда аккумуляторов послужит бензиновый генератор.

Таким образом, предложенная система альтернативного энергоснабжения в сфере обслуживания магистральных трубопроводов позволяет диверсифицировать систему путем применения различных энергоисточников, и тем самым, повысить ее надежность. Универсальная система может эксплуатироваться в различных районах нашей страны. Система экологически чистая, и независима от других сетей, а также условий размещения.

## Библиографический список

1. Голицын М. В. Альтернативные энергоносители.-М.: Наука,2004.-159с.
2. Стырикович М.А. ЭНЕРГЕТИКА проблемы и перспективы/ М.А. Стырикович, Э.Э. Шпильрайн. М.: Энергия, 1981. 192 с.
3. Стаценко, Ю. А. Толмачев, И. А. Шевкунов Т.А. //Пространственно-временное преобразование ультракороткого импульса линзой Френеля <http://nanojournal.ifmo.ru/articles/volume2/2-1/paper9/> .-Статья. - НИЧ ИТМО. - УДК 535.4
4. Бубенчиков А.А., Нурахмет Е.Е., Руденок А.И., Молодых В.О. Солнечная энергия как источник электрической энергии // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. Вып. 5 (47) Ч. 3. С. 59–62.
5. Энергетическая стратегия России до 2030 года: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
6. Федеральный закон от 26 марта 2003 г. N 35-ФЗ «Об электроэнергетике» (с изменениями и дополнениями).

<sup>1</sup> Заколотный Д.В., обучающийся, студент гр. ЭНГм-21-1

<sup>2</sup> Арсентьев М.О., к.т.н., доцент каф. Электропривода и электрического транспорта  
Экспертиза статьи выполнена 15.12.2022 г., протокол № 24

УДК 621.313

### ЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ СМАЗКА ПОДШИПНИКОВ НА ШАГАЮЩЕМ ЭКСКАВАТОРЕ ЭШ 20/90

Белякин В.С.<sup>1</sup>, Арсентьев О.В.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Добыча угля необходима для обеспечения топливом энергетических, промышленных и жилищно-коммунальных объектов. Наиболее распространенным способом добычи рудных ископаемых, залегающих на сравнительно небольших глубинах, является открытый, путем организации рудников, разрезов. На таких разрезах для выполнения вскрышных работ широко применяются драглайнеры – шагающие экскаваторы. ЭШ 20/90 имеет стрелу длиной 90 м, и ковш емкостью 20 м<sup>3</sup>. Это технически сложное сооружение, с большим количеством механических элементов, служащих для выполнения основных функциональных обязанностей – загрузка грунта, изменение положения стрелы, шагание и т.д. Техническое обслуживание этого оборудования является обязательным условием нормальной, безаварийной работы ЭШ с регламентным ресурсом.

Одним из важных составляющих обслуживания механической части ЭШ является регламентная смазка подшипниковых узлов, блоков, шестерен и т.п. В настоящее время для смазки подшипников шагающего экска-

ватора, действующего на Черемховском угольном бассейне, применяется централизованная система, принцип действия которой заключается в смазке отдельных подшипников, а также групп подшипников. Точки смазки соединены с центральным насосом посредством распределителя. Смазочный материал доставляется к точкам смазки под давлением.

На ЭШ-20-90 применяются следующие системы централизованной смазки: 1) Graco «Thrift-T-Luber», 2) Lincoln «CentroMatic».

#### 1. Graco «Thrift-T-Luber» (рис.1)

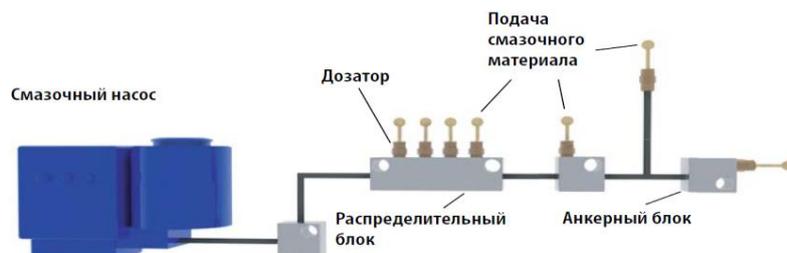


Рисунок 1 - Схема централизованной системы смазки Graco «Thrift-T-Luber»

В данной системе используется гидромеханический принцип распределения и дозации смазки.

Также вместо электронасоса может использоваться ручной. Система смазки Graco Thrif-T-Luber позволяет подавать необходимое количество смазочного материала с заданной частотой для каждого подшипника. После завершения подачи смазки таймер начинает отсчет времени до начала следующего цикла.

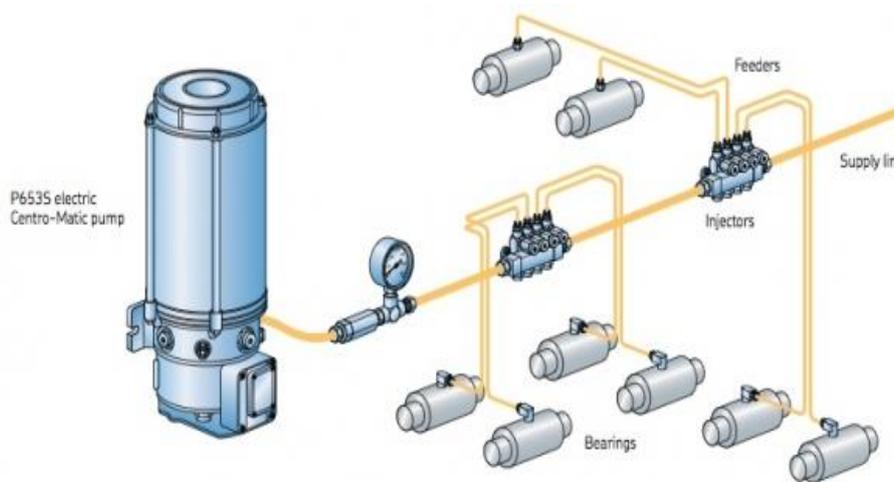
В состав однолинейной параллельной системы Graco входят поршневые распределители и инжекторы, которые позволяют подавать необходимое количество смазочного материала в нужный момент времени для вашего оборудования (станки, линии розлива или машины для литья под давлением). Базовая версия системы мониторинга позволяет защитить оборудование от перегрева, получения повреждений и внезапного выхода из строя.

Система имеет ряд преимуществ:

- широкий выбор возможностей соединения элементов позволяет сконфигурировать систему, которая полностью подойдет для решения поставленной задачи
- простота сборки, установки и реконфигурации;
- компоновка системы требует небольшое количество основных элементов.

Но система имеет такие недостатки, как ограниченность точек смазки, отсутствие системы мониторинга, наличие всего двух режимов, прекращение работы всей системы при разрыве линии.

#### 2. Lincoln «CentroMatic» (рис. 2)



**Рисунок 2 - Схема централизованной системы смазки Lincoln «CentroMatic»**

- Автоматическая централизованная система смазки Lincoln предназначена для автоматической подачи смазочного материала в подшипниковые узлы в автоматическом или ручном режимах согласно карте смазки экскаватора.

- Принцип работы в автоматическом режиме: При поступлении управляющего сигнала в систему управления АЦСС о включении главных приводов экскавации или шагания начинается соответствующий процесс смазывания. Смазочный материал подается насосом к электромеханическому реверсивному механизму, расположенному на насосной станции. Визуально контролируется давление смазки, создаваемое насосом, по манометру и электрически – по сигналу реле давления. Блок управления переключает электромеханический реверсивный механизм в соответствующее положение и начинается нагнетание смазки в соответствующую магистраль через гидравлический реверсивный механизм. При достижении заданного давления происходит перемещение золотников питателей соответственно, смазывание половины всех точек смазывания, а затем, происходит переключение данного гидравлического реверсивного механизма. Двигатель насоса останавливается и начинается отсчет заданного времени паузы. После завершения паузы включается насос и начинается нагнетание смазки во вторую магистраль этого же контура, при этом, золотники питателей перемещаются в исходное состояние и происходит подача смазки ко второй половине точек смазывания. Контроль за работоспособностью выходов питателей осуществляется блоком управления.

- Принцип работы АЦСС в ручном режиме следующий: В ручном режиме имеется возможность включения и выключения насоса, переключение между контурами Шагание и Экскавация вне зависимости от наличия или отсутствия внешних сигналов о работе экскаватора.

В случае подачи избыточного количества смазки к какому либо узлу необходимо произвести регулировку подаваемого количества смазки при помощи регулировочного устройства двухлинейного питателя (находится под пластиковым прозрачным колпачком.), отвернуть соответствующий колпачок, выкрутить контрвинт, ввернуть регулировочный винт на необходимую глубину.

Представленные выше системы в на данный момент имеют общий ряд недостатков, которые относятся ко всем централизованным системам: отсутствует интеллектуальная автоматизация смазки, доступ на рынок продаж таких систем очень ограничен. Кроме того, эти системы очень чувствительны к качеству используемого смазочного материала, и как следствие, гарантируют нормальную работу только при применении оригинальных, смазок, поставляемым производителем этого оборудования.

### **Библиографический список**

1. Кох П.И. Одноковшовые экскаваторы. Устройство, монтаж, эксплуатация и ремонт. Изд. 2, пер. и доп. 1963. 440 с.
2. Хмызников К.П., Лыков Ю.В. Механическое оборудование карьеров. Одноковшовые экскаваторы. Учебное пособие. Санкт-Петербургский горный институт (технический университет). СПб, 2007. – 41 с.

<sup>1</sup> Белякин В.С обучающийся, студент гр. ЭАПЭб-22-1

<sup>2</sup> Арсентьев О.В., к.т.н., доцент каф. Электропривода и электрического транспорта  
Экспертиза статьи выполнена 21.12.2022 г., протокол № 26

УДК 62-13

## **СТРАТЕГИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

Шушпанов И.Н.<sup>1</sup>, Чинцов Д.В.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

В данной статье основное внимание уделяется модернизации распределительных устройств. Промышленная организация, которая не поспевает за технологической модернизацией, быстро останется позади. Модернизация не только позволяет компаниям лучше конкурировать за клиентов, но и позволяет сотрудникам организации повысить эффективность работы и безопасность. Например, в области распределения электроэнергии на промышленных предприятиях модернизация распределительного устройства может обеспечить до 30% экономии средств за счет сокращения времени простоя производства и снижения затрат на работу оборудования на площадке.

Эксплуатация оборудования для распределения электроэнергии, возраст которого превышает 15 лет, подвергает организацию риску как катастрофических простоев, так и быстрого роста затрат на техническое обслуживание. Через 10 лет большинство производителей начинают постепенно сворачивать поставки запасных частей. Если возникают проблемы с производительностью, которые требуют замены деталей, этот ремонт займет больше времени (увеличивается среднее время ремонта), а детали, если их можно найти, будут значительно дороже при покупке [1].

Но что модернизация устаревших распределительных устройств и автоматических выключателей распределения электроэнергии означает для руководителей предприятий, помимо значительных инвестиций, необходимых для предотвращения угрозы простоя и повышения затрат на техническое обслуживание?

Со временем последствия модернизации распределительных устройств резко изменились. Как и в мире IT, темпы технического прогресса ускорились в геометрической прогрессии. В результате модернизация уже не означает массовую замену установленной базы КРУ. Фактически, модернизация распределительных устройств в настоящее время приносит значительные преимущества в трех важнейших областях: устойчивость, гибкость активов и цифровая трансформация.

*Почему важна модернизация распределительных устройств?*

Надежные распределительные устройства жизненно важны для эксплуатации предприятия, но полная замена этих устройств может потребовать значительных капиталовложений; однако модернизация до современной защиты цепи приводит к минимальному времени простоя, может привести к значительному улучшению работы и может увеличить срок службы оборудования до 30 лет.

Разумно выбирать решения по модернизации вместо покупки нового оборудования, если столкнулись со следующими ограничениями:

1. Полоса пропускания или опыт отдела технического обслуживания электрооборудования.
2. Свободное место для нового распределительного устройства.
3. Финансирование демонтажа существующего оборудования плюс покупка и установка нового оборудования.
4. Способность выдерживать длительные простои, необходимые для основных улучшений системы.

Типы решений по модернизации включают конверсию, замену, модернизацию, дооснащение, реконструкцию и ремонт. Важно понимать различные варианты модернизации распределительного устройства и применимые отраслевые стандарты[2].

Преобразование силового распределительного устройства определяется как любая модификация или замена любого устройства в существующем распределительном устройстве по сравнению с исходной

испытанной конструкцией. Примеры включают замену автоматических выключателей на другой тип выключателя (например, с магнитно-воздушного на вакуумный), модернизацию существующей распорки шины и использование силового контактора вместо силового выключателя для коммутационных функций.

*Что такое замена?*

Происходит замена существующего устройства новым, но идентичной версией того же устройства. Стандарт IEEE, предлагает два определения сменных автоматических выключателей.

– Заменяемый автоматический выключатель — это «автоматический выключатель, в котором используются все новые детали, конструкция которого прошла испытания в соответствии со стандартом.

– Сменный невзаимозаменяемый автоматический выключатель — это «автоматический выключатель, в котором используются все новые детали, конструкция которого прошла испытания в соответствии со стандартом IEEE.

Между типами сменных автоматических выключателей есть два ключевых отличия:

– Взаимозаменяемый сменный автоматический выключатель не требует каких-либо модификаций или изменений существующего распределительного устройства для установки и эксплуатации сменного автоматического выключателя. Иногда это называют прямой заменой.

– Незаменяемая замена требует некоторых изменений для правильной работы. Некоторые замененные автоматические выключатели классифицируются как невзаимозаменяемые, поскольку могут также потребоваться изменения проводки управления для отключения внешних управляющих реле, поскольку новые и текущие автоматические выключатели имеют эти встроенные функции и не нуждаются в старых. Более старые реле управления также могут влиять на синхронизацию схемы управления и вносить временные задержки в общую схему защиты, поскольку эти реле так же стары, как и заменяемый автоматический выключатель [3]. Когда необходимо вывести из строя эти реле управления, также необходимо предотвратить применение старого воздушного выключателя в этой ячейке КРУ.

*Что такое ретрозаполнение?*

Ретрозаполнение — это специально разработанное решение, используемое, когда замена недоступна или нецелесообразна. Процесс ретрозаполнения обычно является необратимым и необратимо изменяет ячейку распределительного устройства. Модификации могут включать резку или сверление, новые проводники первичной цепи, новые двери или панели и новую вторичную проводку управления.

Модернизация выполняется на распределительных устройствах среднего и низкого напряжения и требует полного обесточивания распределительного устройства во время монтажа и ввода в эксплуатацию.

*Модернизации распределительного устройства: прямая замена*

Автоматические выключатели предназначены для установки в существующую ячейку с минимальной модификацией ячейки распределительного устройства или вообще без нее. Решения по прямой замене сокращают время простоя, так как перебои в работе шины оборудования минимальны (если вообще бывают). Имеются конструкции для распределительных устройств любого производителя. Услуга доступна для низкого и среднего напряжения [4].

*Модернизация распределительного устройства: дооснащение*

Существующая ячейка распределительного устройства и шина модифицируются для установки нового автоматического выключателя. Этот вариант требует более длительного отключения шины (по сравнению с вариантом прямой замены), в течение которого внутренняя ячейка автоматического выключателя модифицируется для установки нового автоматического выключателя. Решение по дооснащению часто используется вместо прямой замены более крупных устройств, таких как главные автоматические выключатели и соединительные автоматические выключатели.

### **Библиографический список**

1. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций: учебник/ Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. - М.: Издательский дом МЭИ, 2005.- 573с. - ISBN 5 - 3219 - 8305 – 1
2. Конюхов В.Ю., Опарина Т.А. ИННОВАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ В РАЗВИТИИ РОССИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. // Молодежный вестник ИрГТУ. 2020. Т. 10. № 1. С. 131-134.
3. Российская группа компаний «Таврида Электрик»[Электронный ресурс]. 2009 г. - Режим доступа: <http://www.tavrida.ru/>. Свободный. - Загл. с экрана.
- 4 . Конюхов В.Ю., Каймонова О.О. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ // Техно-экономические проблемы развития регионов Материалы научно-практической конференции с международным участием. 2017. С. 19-22.

<sup>1</sup> Шушпанов И.Н., доцент кафедры Электроснабжения и электротехники, ИРНИТУ

<sup>2</sup> Чинцов Д.В., магистрант 2 курса гр. ЦЭМ-21-1, ИРНИТУ

Экспертиза статьи выполнена 01.12.2022, протокол № 19

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОТЕРИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОМ РЕЖИМЕ В ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Коверникова Л.И.<sup>1</sup>, Буй Х.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН*

<sup>2</sup>*Ханойский горно-геологический университет*

**Введение.** При несинусоидальных режимах в электрических сетях кроме потерь активной мощности на основной частоте, соответствующей первой гармонике, возникают потери активной мощности на других гармониках, частота которых кратна основной частоте. Источником этих гармоник является электронное оборудование, используемое на промышленных предприятиях для управления технологическим оборудованием. Во Вьетнаме на одном из комбинатов сортировки угля широко используются асинхронные двигатели с частотным регулированием, приводящие в действие оборудование комбината. Асинхронные двигатели потребляют несинусоидальный ток, который протекая по элементам сети вызывает в ней дополнительные потери активной мощности на частотах гармоник. Активная мощность гармоник не выполняет полезной работы. Дополнительные потери активной мощности в электрической сети создают экономический ущерб, поскольку компания, владеющая комбинатом сортировки угля, вынуждена оплачивать и активную мощность гармоник.

В статье представлены результаты измерений гармоник токов в узле присоединения к питающей сети воздушной линии электропередачи 22 кВ, по которой электрическая энергия поставляется на один из угольных карьеров Вьетнама и комбинат сортировки угля, приведены результаты расчетов и анализа дополнительных потерь активной мощности гармоник в этой линии.

**Результаты измерений гармоник токов.** Измерения проводились в узле 6001 схемы электроснабжения угольного карьера, приведенной на рис. 1. Узел 6001 является началом воздушной линии электропередачи, по которой электрическая энергия поставляется на угольный карьер и комбинат сортировки угля. Линия электропередачи трехфазная, выполнена проводом марки АС-185 [1], имеет длину 8 км. Измерения параметров режима и показателей качества электрической энергии выполнялись прибором PQ-Vox 150 [2] в течение 24 часов с интервалом измерений 1 секунда. Комбинат сортировки угля имеет два режима работы. Первый режим – рабочее время, в течение которого осуществляется сортировка угля. Он начинается в 7 часов утра и заканчивается в 17 часов вечера, что составляет 10 часов. С 17 часов вечера до 7 часов утра следующих суток на комбинате имеет место второй режим – специальный технологический перерыв, который

длится 14 часов. Результаты расчетов и анализа представлены для этих двух режимов.

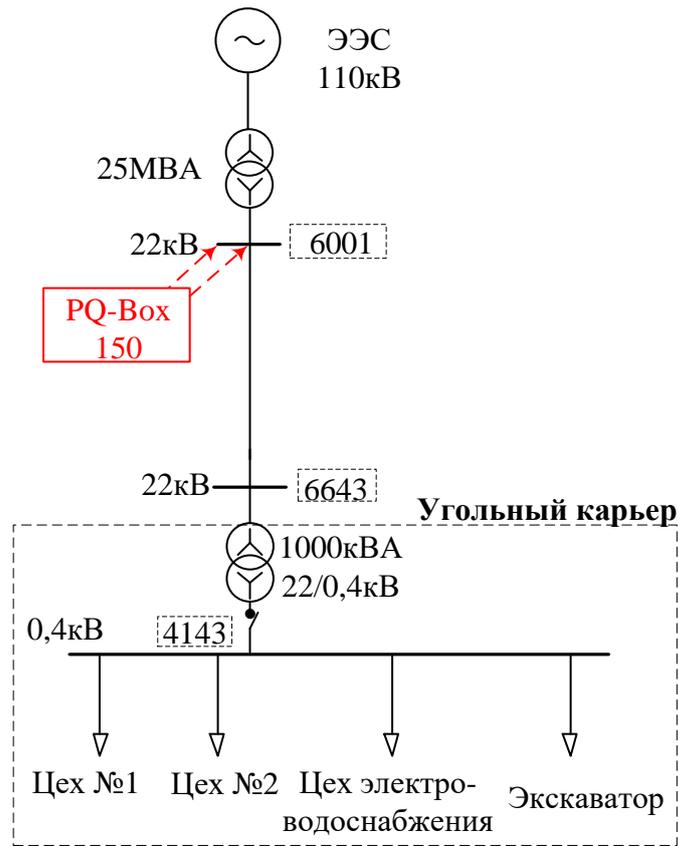


Рисунок 1 – Схема электроснабжения угольного карьера

На рис. 2 приведена диаграмма действующих значений гармоник тока ( $I_n$ ) по результатам одного из измерений, выполненного в рабочее время. Из диаграммы видно, что когда все технологическое оборудование находится в работе, наибольшие значения имеют токи 3, 5, 7, 23 и 25-ой гармоник. Значения токов четных гармоник незначительные.

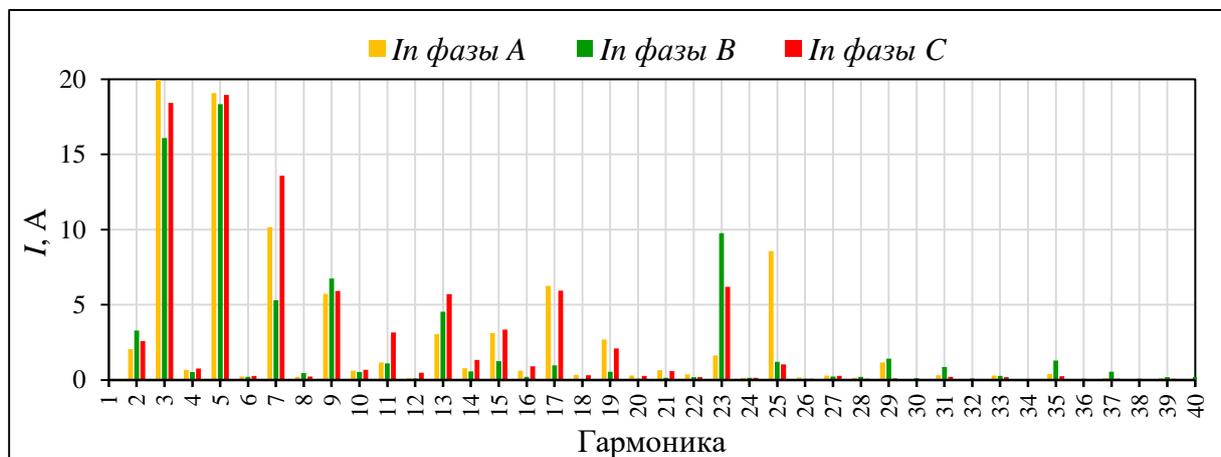


Рисунок 2 – Диаграмма гармоник тока для рабочего времени

Параметры режимов гармоник имеют вероятностный характер [3]. В табл. 1 приведены статистические оценки измеренных гармоник токов в фазах, соответствующие максимальному значению (мак), минимальному (мин), среднему (сред). В массивах измеренных гармоник токов имеются аномальные элементы [4], которые значительно превышают по величине остальные. В табл. 1 приведены такие значения токов 23-ой гармоники в фазах В и С и значение тока 25-ой гармоники в фазе А. Они выделены жирным шрифтом.

Таблица 1

Статистические оценки гармоник токов для рабочего времени, А

Гармоника	$I_n$ фазы А			$I_n$ фазы В			$I_n$ фазы С		
	мак	мин	сред	мак	мин	сред	мак	мин	сред
1	478,75	5,99	381,40	473,64	2,80	375,95	478,46	3,08	379,99
3	53,92	0,36	23,93	46,11	0,28	22,98	40,43	0,26	19,36
5	59,3	0,30	28,33	52,40	0,12	25,33	54,68	0,32	25,37
7	24,78	0,11	10,52	15,63	0,04	5,74	32,31	0,14	15,09
9	15,88	0,09	8,91	18,78	0,10	8,91	19,11	0,13	8,99
11	8,24	0,00	2,02	7,60	0,00	1,60	13,37	0,01	3,43
13	12,44	0,02	4,41	12,13	0,04	5,12	16,95	0,04	6,04
17	16,60	0,03	5,37	4,77	0,01	1,89	17,35	0,01	5,50
19	8,70	0,01	1,97	3,91	0,00	0,98	9,27	0,01	2,96
21	7,57	0,00	1,92	1,70	0,00	0,46	4,51	0,00	1,30
23	9,52	0,01	2,79	<b>1611,23</b>	0,50	24,66	<b>2068,39</b>	0,81	36,03
25	<b>2426,76</b>	0,34	42,09	4,32	0,01	1,72	8,21	0,01	1,81

На рис. 3 приведена диаграмма действующих значений гармоник тока одного из измерений для времени перерыва на комбинате. Гармоники токов по величине меньше гармоник токов рабочего времени. Наибольшие значения имеют токи 3, 5, 7, 11-ой гармоник. Токи четных гармоник значительно меньше токов нечетных гармоник.

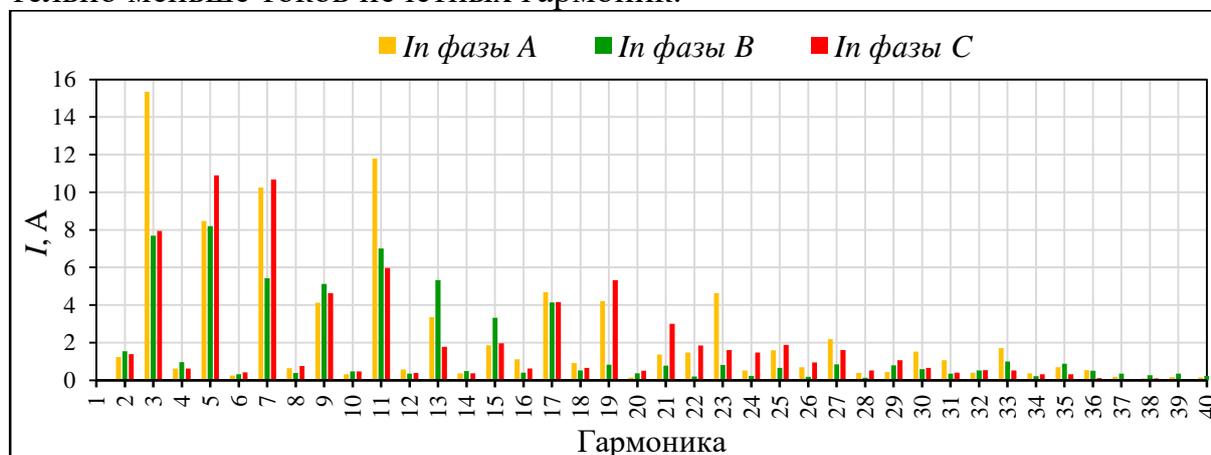


Рисунок 3 – Диаграмма гармоник тока для времени перерыва

В табл. 2 представлены статистические оценки токов нечетных гармоник для времени перерыва. В приведенной таблице имеются аномальные элементы, имеющие большие значения. Как и для рабочего времени, для времени перерыва это значения токов 23-ой гармоники в фазах В и С и 25-ой гармоники в фазе А. Гармоники токов по величине меньше гармоник токов рабочего времени. Наибольшие значения имеют токи 3, 5, 7, 11-ой гармоник.

**Таблица 2**

**Статистические оценки гармоник токов для времени перерыва, А**

Гармоника	$I_n$ фазы А			$I_n$ фазы В			$I_n$ фазы С		
	мак	мин	сред	мак	мин	сред	мак	мин	сред
1	441,91	5,63	290,65	437,8	2,64	286,31	442,04	2,89	289,21
3	38,37	0,21	14,60	29,99	0,12	12,22	26,11	0,05	7,96
5	42,21	0,01	8,31	35,78	0,01	7,02	38,57	0,07	9,90
7	35,96	0,08	9,95	16,90	0,03	5,67	31,70	0,08	10,33
9	15,00	0,07	5,70	13,45	0,06	6,11	15,08	0,03	5,32
11	20,59	0,03	4,36	16,02	0,03	3,28	19,60	0,02	4,51
13	9,76	0,02	2,73	11,14	0,04	3,79	14,05	0,01	2,75
17	11,86	0,04	3,63	6,10	0,01	1,82	12,33	0,02	3,32
19	9,77	0,01	1,82	5,72	0,00	1,42	12,12	0,01	3,15
21	10,51	0,00	1,32	3,20	0,00	0,61	9,74	0,00	1,55
23	11,79	0,01	3,49	<b>182,66</b>	0,09	4,57	<b>585,33</b>	0,31	10,82
25	<b>506,45</b>	0,18	7,19	2,53	0,00	0,43	6,77	0,00	1,73

**Дополнительные потери активной мощности.** В [5, 6] указывается, что переменный электрический ток распределяется неравномерно по сечению проводов, причем плотность тока имеет наибольшие значения на поверхности провода и убывает по мере удаления от поверхности в глубь провода. В проводе возникает явление поверхностного эффекта, которое характеризуется увеличением активного сопротивления провода. Поскольку линия электропередачи, поставляющая электрическую энергию на комбинат сортировки угля, имеет незначительную длину, то величину активного сопротивления линии можно определить с использованием предложения в [7-9], т.е.

$$R_n = R_1 \sqrt{n}, \quad (1)$$

где  $R_1$  и  $R_n$  – значения активного сопротивления провода на основной частоте и на частоте гармоники,  $n$  – номер гармоники. Дополнительные потери активной мощности на частоте  $n$ -ой гармоники определяются выражением

$$P_n = I_n^2 R_1 \sqrt{n}. \quad (2)$$

В табл. 3 приведены величины вычисленных фазных активных мощностей

для некоторых четных и нечетных гармоник. Из таблицы видно, что режим на каждой из гармоник является несимметричным.

**Таблица 3**

**Активные мощности гармоник, Вт**

Гармоника	Рабочее время			Время перерыва		
	Фаза А	Фаза В	Фаза С	Фаза А	Фаза В	Фаза С
2	3,7	27,0	23,8	1,3	1,4	1,1
3	1246,9	1149,9	816,3	463,9	324,9	138,0
4	2,8	1,5	3,5	0,6	1,2	0,6
5	2255,6	1803,3	1809,4	193,9	138,5	275,7
7	368,4	109,7	757,8	329,2	107,0	354,7
9	175,4	299,6	304,8	122,4	140,8	106,7
11	16,9	10,6	49,1	79,3	44,9	84,7
13	88,0	119,0	165,2	33,7	65,0	34,3
22	1,0	0,1	0,7	5,1	0,3	3,4
23	46,8	3667,2	7824,3	73,5	125,6	705,3
24	0,7	0,2	0,7	3,6	0,2	4,1
25	11136,2	18,7	20,5	325,2	1,2	18,9

Результаты вычислений и анализа активных мощностей гармоник суммарных для трех фаз приведены в табл. 4. В таблице обозначено:  $P_1$  – активная мощность первой гармоники, выполняющая полезную работу;  $(P_2 - P_{40})$  – суммарная активная мощность четных гармоник от 2 до 40, невыполняющая полезной работы [10];  $(P_3 - P_{39})$  – суммарная активная мощность нечетных гармоник от 3 до 39, невыполняющая полезной работы [10];  $P_{n\Sigma}$  – суммарная активная мощность четных и нечетных гармоник. Величина активных мощностей гармоник для времени работы относительно величины активной мощности первой гармоники составляет 6,5 %, а для времени перерыва – 1,5 %.

**Таблица 4**

**Суммарные активные мощности гармоник**

Активные мощности	Время работы	Время перерыва
$P_1$ , Вт	542006,1	314370,1
$(P_2 - P_{40})$ , Вт	108,3	55,5
$(P_3 - P_{39})$ , Вт	34919,3	4640,7
$P_{n\Sigma}$ , Вт	35027,6	4696,2
$P_{n\Sigma}/P_1 * 100$ , %	6,5	1,5

**Выводы.** Результаты расчетов и анализа дополнительных потерь активной мощности в воздушной линии электропередачи, вызванных гармониками тока, появляющимися при несинусоидальном режиме, показали, что потери активной мощности на частотах гармоник могут превышать 6 % от потерь активной мощности на основной частоте.

Потери активной мощности гармоник могут быть использованы в качестве показателя для оценки эффективности использования электрической энергии и ее передачи по электрическим сетям.

### Библиографический список

1. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1977.
2. Operating Manual Network Analyzer PQ-Box 150. Power Quality Evaluation Software. URL: <http://www.a-elerle.de>.
3. Коверникова Л.И., Льюнг Ван Чынг. Алгоритм моделирования нелинейных нагрузок сети высокого напряжения по измеренным параметрам // Электричество. – 2017. – С. 16-25.
4. Irwin J.O. On a criterion for the rejection of outlying observations. *Biometrika*, 1925, vol. 17, Issue 3–4, 1925, pp. 238–250.
5. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.2. – Л.: Энергия, 1967.
6. Emanuel A.E. Power definitions and the physical mechanism of power flow. John Wiley & Sons, Ltd, 2010. 264 p.
7. Харлов Н.Н., Боровиков В.С., Литвак В.В., Погонин А.В., Мельников В.А. Энергетическое обследование несинусоидальных режимов многопроводных линий электропередачи // Электричество, 2011, №12, с. 12-15.
8. Wakileh G.J., Power Systems Harmonics. Berlin Heidelberg, Germany: Springer, 2001, pp. 221.
9. Novitskiy A., Schlegel S., Westermann D. Estimation of Power Losses Caused by Supraharmonics. *Energy Systems Research*, Vol. 3, No. 4, 2022, pp. 28-36.
10. Качество электрической энергии: современное состояние, проблемы и предложения по их решению / Л.И. Коверникова, В.В. Суднова, Р.Г. Шамонов и др.; отв. ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск: Наука, 2017. – 219 с.

---

<sup>1</sup> Коверникова Лидия Ивановна, к. т. н., доцент, с. н. с. ИСЭМ СО РАН

<sup>2</sup> Буй Нгок Хунг, преподаватель Ханойского горно-геологического университета  
Экспертиза статьи выполнена 12.12.2022 г. в ИСЭМ СО РАН.

## **РЕШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НА РЕМОНТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ ПРИ ПРАКТИЧЕСКОМ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ**

Коновалов Ю.В.<sup>1</sup>, Прокофьев Д.С.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Материал данной статьи посвящен опыту проведения производственной практики по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности на ведущих предприятиях, обеспечивающих функционирование угледобывающего комплекса нашего региона. Одним из таких предприятий является Черемховский рудоремонтный завод, являющийся структурным подразделением ООО «Компания «Востсибуголь». На сегодняшний день Черемховский рудоремонтный завод – мощное многофункциональное производство, основанное на многолетнем опыте, традициях производства и профессионализме сотрудников, располагающее просторными цехами, современным станочным парком. Предприятие сотрудничает с угольными разрезами и предприятиями Иркутской области, Красноярского края и Монголии.

Завод производит большую номенклатуру запасных частей, выпускает и ремонтирует узлы экскаваторов, изготавливает изделия по индивидуальным заказам, проводит работы по дефектоскопии металлоконструкций неразрушающим методом, разрабатывает чертежи по предоставленным образцам запчастей, занимается наладкой устройств и испытывает электрооборудование подстанций, реализует собственную литейную продукцию.

Предприятие осуществляет производство запасных частей и ремонт узлов экскаваторов, используемых при добыче и погрузке: ЭКГ-4,6, ЭКГ-5А, ЭКГ-8И, ЭКГ-5У, ЭКГ-10, ЭКГ-12,5, а также вскрышных шагающих экскаваторов ЭШ-6/45, ЭШ-6/60, ЭШ-10/70, ЭШ-15/90, ЭШ-25/100, ЭВГ-35/65, ЭШ-40/85.

На втором курсе обучающиеся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» проходят производственную практику, направленностью которой (типом практики) является научно-исследовательская работа. Во время этой практики обеспечивается формирование профессиональной компетенции «Способность к оформлению и представлению результатов выполненной научно-исследовательской работы в области профессиональной деятельности» [1, 2]. Результатом обучения при прохождении этой практики является то, что студент знает результаты научно-исследовательской работы в области электроэнергетики, умеет оформлять результаты научно-исследовательской работы в области электроэнергетики в виде отчёта, реферата или публикации, владеет навыками оформления результатов научно-исследовательской работы. Крите-

рием оценивания индикатора достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации по данному виду практики может быть подобная статья, которая вполне соответствует формулировке навыка «Оформляет результаты научно-исследовательской работы в области электроэнергетики в виде отчёта, реферата или публикации».

При практическом обучении по профилю подготовки «Электропривод и автоматика» на Черемховском рудоремонтном заводе, наиболее востребованным является электроремонтный цех, в котором определяются и исправляются дефекты электрических приводных двигателей различных механизмов. Данный цех имеет следующие участки, фотографии которых представлены на рисунках 1, 2, 3 и 4 – слесарный, токарный, обмоточный, изоляционный, а также небольшое производство резиновых технических изделий.



**Рисунок 1 – Слесарный участок по разборке и сборке электрических двигателей**



**Рисунок 2 – Токарный участок проточки коллекторов и выточки новых валов**



**Рисунок 3 – Обмоточный участок по восстановлению обмоток электрических машин**



**Рисунок 4 – Изоляционный участок восстановления изоляции электрических машин**

Во время прохождения практики были решены технические проблемы двух двигателей экскаваторов: поворотного МПС-640-700 и двигателя подъёма ковша ДЭ-816.

После выполнения необходимых ремонтно-профилактических работ у двигателя МПС-640-700 (рис. 5) были достигнуты следующие технические показатели: сопротивление независимых обмоток возбуждения составили 4,62 Ом и 4,72 Ом (приемлемым является 4-5 Ома). Сопротивление изоляции между якорем и корпусом, между дополнительными полюсами и корпусом, между независимыми полюсами и корпусом – 1000 МОм, что полностью удовлетворяет требованиям. Сопротивление якорной цепи – 0,0407 Ом, что соответствует паспортным данным [3].



**Рисунок 5 – Выполнение ремонтно-профилактических работ на двигателе МПС-640-700**



**Рисунок 6 – Выполнение ремонтно-профилактических работ на двигателе ДЭ-816**

По двигателю ДЭ-816 (рис. 6) после устранения неисправностей получены следующие экспериментальные данные, которые приемлемы для эксплуатации данной машины: сопротивление изоляции между корпусом и якорем – 3000 МОм, между корпусом и обмотками дополнительных полюсов – вверх обмотки 1000 МОм, низ обмотки 2000 Мом. Между корпусом и независимыми обмотками возбуждения – для первой 5000 МОм, для второй 6000 МОм. Омическое сопротивление якорной цепи – 0,0312 Ом, сопротивление обмоток возбуждения – первой 1,492 Ом, второй 1,497 Ом.

Испытания по допустимому нагреву подшипников и искрению на щетках также показали допустимые величины [4].

Таким образом, сформированные знания в стенах университета и практическая подготовка на действующем современном предприятии позволяют, в соответствии с заданными критериями оценивания и федеральным образовательным стандартом, получить необходимые навыки и умения.

### Библиографический список

1. Рабочая программа практики. Производственная практика: научно-исследовательская работа (4 семестр). Направление подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Профиль подготовки: «Электропривод и автоматика». Утверждена 12.06.2022 г. на заседании кафедры ЭиЭТ, протокол № 12, ИРНИТУ, 2022 – 5 с. [https://int.istu.edu/extranet/worker/rp\\_view/1.43/?file=280692&sig=fffd7a6598592e3bf39554d24510fcab&ft=admfile](https://int.istu.edu/extranet/worker/rp_view/1.43/?file=280692&sig=fffd7a6598592e3bf39554d24510fcab&ft=admfile).
2. ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 144 от «28» февраля 2018 г.
3. Двигатели постоянного тока единичного исполнения. [https://sil mash.nt-rt.ru/images/manuals/eldvigatel\\_edinichnogo.pdf](https://sil mash.nt-rt.ru/images/manuals/eldvigatel_edinichnogo.pdf)
4. ДЭ, ДЭВ, ДПЭ-52, ДПВ-52 электродвигатель экскаваторный. [https://td-automatika.ru/catalog/privodnaya\\_tekhnika/elektrodvigateli\\_postoyannogo\\_toka/de\\_816\\_elektrodvigatel\\_ekskavatornyy\\_150\\_kvт\\_480\\_ob\\_min/](https://td-automatika.ru/catalog/privodnaya_tekhnika/elektrodvigateli_postoyannogo_toka/de_816_elektrodvigatel_ekskavatornyy_150_kvт_480_ob_min/)

---

<sup>1</sup> Коновалов Ю.В., доцент кафедры ЭиЭТ ИЭ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

<sup>2</sup> Прокофьев Д.С., обучающаяся, гр. ЭАПб-20-1ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

Экспертиза статьи выполнена 24.11. 2022 г., протокол № 17

## **ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОЕ ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ВЕСА ДЛЯ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ**

Коновалов Ю.В.<sup>1</sup>, Яровой А.В.<sup>2</sup>, Гурулев Н.А.<sup>3</sup>, Русаков И.Д.<sup>4</sup>  
*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

На предприятиях топливно-энергетического комплекса развиваются технологии, которые позволяют интенсифицировать технологические процессы, повысить точность учета при перемещении горных масс и шире внедрять элементы диспетчеризации при управлении на всех стадиях добычи, транспортировки и переработки полезных ископаемых.

Например, на предприятии ООО «Компания Востсибуголь» работают над проблемой недогруза или перегруза угля в полувагоны экскаваторами ЭКГ (экскаватор карьерный, гусеничный). Наличие недогруза или перегруза на различных этапах технологической цепочки ухудшает технико-экономические показатели, так как при этом требуется дополнительное дозирование другим экскаватором на пункте взвешивания и проводить не запланированные маневровые работы.

В рамках выполнения акселерационной программы «Лаборатория энергетики 2022», реализуемой в ИРНТУ, коллектив авторов этой статьи, в составе команды по решению кейса, разработал предложение для стартапов и промышленных заказчиков, размещенное на платформе развития технологических проектов Projects Университета 20.35. Все элементы платформы объединены сквозной авторизацией под аккаунтами Leader-ID, что позволяет на уровне отчетности четко понимать какие пользователи в каких проектах и на каких мероприятиях принимают участия.

Авторами предлагается для определения веса угля в ковше экскаватора использовать тензометрические датчики. Такой датчик, в соответствии с п.2.1.2 ГОСТ 8.631-2013, представляет собой весоизмерительный элемент, который реагирует на изменение величины физического воздействия (усилия) и переводит его в электрический сигнал. Фактически это резистор, меняющий параметр омического сопротивления, по отношению к прилагаемой силе. На практике широко используются для измерения массы и нагрузки в весоизмерительных системах. В зависимости от сферы применения могут быть различные типы тензодатчиков, отличающихся как принципом действия, так и конструктивными особенностями [1].

Установить тензодатчик можно между вантовыми тросами экскаватора. Это исключает серьезные конструктивные изменения на экскаваторе и отследить сигнал, пропорциональное весу перемещаемой горной массы. Одним из вариантов является использование силопередающего устройства для датчиков растяжения-сжатия С2/ШЗ (рисунок 1), являющимся узлом

встройки со сферическим подшипником. Данное устройство предотвращает появление боковых сил и повышает точность измерений [2]. Датчики этого типа обладают высокой надежностью и точностью измерений и, при необходимости, могут измерять не только вертикальные, но горизонтальные нагрузки, что важно для предлагаемого решения. Степень защиты IP68.



**Рисунок 1 – Силопередающее устройство для датчиков растяжения-сжатия С2/ШЗ**

Массогабаритные параметры датчиков этого типа приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

**Массогабаритные параметры датчиков типа С2/ШЗ**

Наибольший предел измерения, т	Масса датчика, кг	Длина кабеля для соединения с преобразователем
0,5; 1; 2	1,5	3
3, 5, 7	4	10
10	9,3	
20	8	

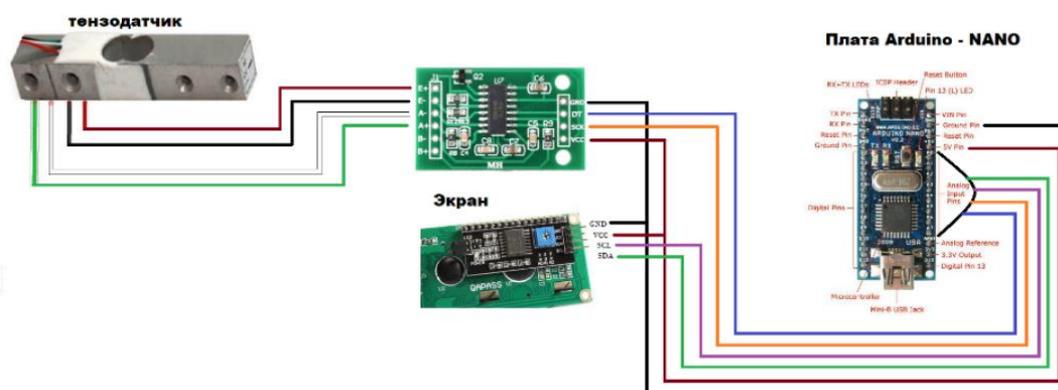
Эти датчики подходят для решения проблемы в сложных горнотехнических и климатических условиях Сибири [2]. Например, для устройства С2/ШЗ-20 диапазон температур эксплуатации и хранения от -50 до +50 С<sup>0</sup>. Наибольший предел измерения (НПИ) 20 тонн, допустимая перегрузка в течении не более 1 часа – 25 % от НПИ, а разрушающая нагрузка – 300 % от НПИ.

Сигнал с весоизмерительного элемента передается на весовой преобразователь-контроллер, изображенный на рисунке 2, который предназначен для использования в системах управления технологическими процессами и имеет функцию суммирующего дозатора [2]. Для их подключения с учетом удаленности, используются специальные соединительные коробки. Прибор ТВ-011 имеет 8 дискретных входа и 8 дискретных выхода RS-232/485, аналоговый выход (0-5 В, 4-20 мА) для возможности построения на его основе поточных весов. Прибор изготовлен в алюминиевом корпусе щитового исполнения с прочным порошковым покрытием. Имеет яркий светодиодный индикатор и кнопочную клавиатуру для работы с прибором и управления настройками. Степень защиты IP65.



**Рисунок 2 – Весоизмерительный преобразователь-контроллер ТВ-011**

С целью проведения предварительных исследований данного варианта решения, разработана лабораторная установка на базе Arduino-модуля НХ711 на основе аналого-цифрового преобразователя (АЦП) со встроенным усилителем НХ711, предназначенным для получения данных с тензодатчиков [3]. Основа модуля – специализированная микросхема НХ711, имеет АЦП с разрешением 24 бит, благодаря чему обеспечивается высокая точность измерений (для сравнения – разрешение АЦП, встроенного в Arduino 10 бит). Модуль имеет 2 канала А и В, к которым можно подключить два тензодатчика. Для канала А коэффициент усиления равен 64 или 128, для канала В коэффициент усиления равен 32. Модуль работает с частотой измерений 80 Гц. Схема лабораторной установки приведена на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Схема лабораторной установки подключения тензодатчика НХ711 к Arduino**

На схеме рисунка 3 датчик веса – это тензодатчик до 5 кг YZC131, Arduino-модуль на основе платы Arduino-NANO [3]. Через контроллер Arduino-NANO можно подключить к жидкокристаллическому экрану или компьютеру.

Поскольку на выходе тензодатчика изменяется напряжение, то именно оно преобразуется в бинарный код. Диапазон контролируемых напряжений зависит от выбранного коэффициента усиления. Если коэф-

коэффициент равен 128, диапазон измеряемых напряжений варьируется от – 20 мВ до + 20 мВ, выбор коэффициента усиления 64 определяет пределы измерения от – 40 мВ до + 40 мВ и при коэффициенте равном 32 пределы измерения определяются величинами – 80 мВ и + 80 мВ. Эти данные будут корректными только при напряжении питания +5 В. Если входное напряжение выйдет за нижнюю границу диапазона, АЦП выдаст код 800000h, а если за верхнюю, то код будет 7FFFFFFh. Перед использованием тензодатчика его необходимо откалибровать.

Таким образом, для увеличения грузооборота и улучшения технико-экономические показатели годно-добывающего предприятия, предложено техническое решение тензометрического весоизмерительного электронного устройства на доступной элементной базе Российских производителей [2, 4]. Устройство позволяет контролировать вес перемещаемой горной массы посредством карьерных экскаваторов. Работа прототипа устройства проверена в лабораторных условиях.

### Библиографический список

1. Тензодатчик: принцип работы, устройство, типы, схемы подключения. [Электронный ресурс] URL: <https://www.asutpp.ru/tenzodatchik.html> (обращение 30.10.2022).
2. Тензо-М. Ведущий разработчик и производитель весоизмерительной техники в России. [Электронный ресурс] URL: <https://www.tenso-m.ru/> (обращение 30.10.2022)..
3. Подключение тензодатчика HX711 к Arduino. [Электронный ресурс] URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/tenzodatchiki-i-vesy-na-arduino-i-nh711/> (обращение 30.10.2022).
4. УРАЛВЕС. Весовая электроника. [Электронный ресурс] URL: [https://tenzo.uralves.com/?utm\\_source=yandex&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=tenzo\\_land\\_rsy\\_ru&utm\\_content=video.yandex.ru&utm\\_term=&yclid=6392480027066295794](https://tenzo.uralves.com/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=tenzo_land_rsy_ru&utm_content=video.yandex.ru&utm_term=&yclid=6392480027066295794) (обращение 30.10.2022).

---

<sup>1</sup> Коновалов Ю.В., доцент кафедры ЭиЭТ ИЭ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

<sup>2</sup> Яровой А.В., обучающийся, гр. ММб-22-1ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

<sup>3</sup> Гурулев Н.А., обучающийся, гр. ЭАПЭб-22-1ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

<sup>4</sup> Русаков И.Д., обучающийся, гр. ЭАПЭб-22-1ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

Экспертиза статьи выполнена 24.11. 2022 г., протокол № 17

## **КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ ПОДЪЕМА ЭКСКАВАТОРА С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕСА ПЕРЕМЕЩАЕМОЙ В КОВШЕ ГОРНОЙ МАССЫ**

Коновалов Ю.В.<sup>1</sup>, Павлов В.Е.<sup>2</sup>, Дубовец М.А.<sup>3</sup>, Азенштейн Д.Б.<sup>4</sup>  
*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Современные средства измерения и обработки сигналов позволяют решить задачу определения нагрузки рабочего органа по режимным параметрам работы электрического привода. Это может быть использовано для решения задачи определения веса перемещаемой экскаваторами серии ЭКГ (экскаватор карьерный гусеничный) горной массы. На этих экскаваторах для привода основных механизмов используются двигатели постоянного тока (ДПТ) [1-3].

Электропривода с ДПТ обеспечивают непрерывное управление скоростью механизма во всех режимах с высокими показателями точности и качества регулирования основных координат движения рабочего органа. Поэтому для индивидуального электропривода основных механизмов одноковшовых экскаваторов с емкостью ковша выше 2 м<sup>3</sup> в настоящее время применяются двигатели постоянного тока с независимым возбуждением, управляемые изменением напряжения в цепи якоря по системе управляемый преобразователь – двигатель (УП-Д). В качестве управляемого преобразователя используют генератор постоянного тока, тогда получается система Г-Д, или тиристорный преобразователь – получается система ТП-Д.

Несмотря на многие преимущества системы ТП-Д (повышенное значение КПД, бесшумность, отсутствие вращающихся частей) в экскаваторном приводе для питания цепей якоря она находит ограниченное применение. Электропривод по системе ТП-Д совместно с фильтрокомпенсирующими устройствами, необходимыми для повышения коэффициента мощности и снижения искажений питающей сети, пока имеет более высокие массогабаритные показатели, стоимость и меньшую эксплуатационную надежность, чем система Г-Д. В настоящее время наибольшее применение находит система Г-Д с питанием обмотки возбуждения генератора от тиристорного возбудителя (ТВ-Г-Д).

Одна из возможных схем электропривода экскаватора по системе ТВ-Г-Д приведена на рисунке 1.

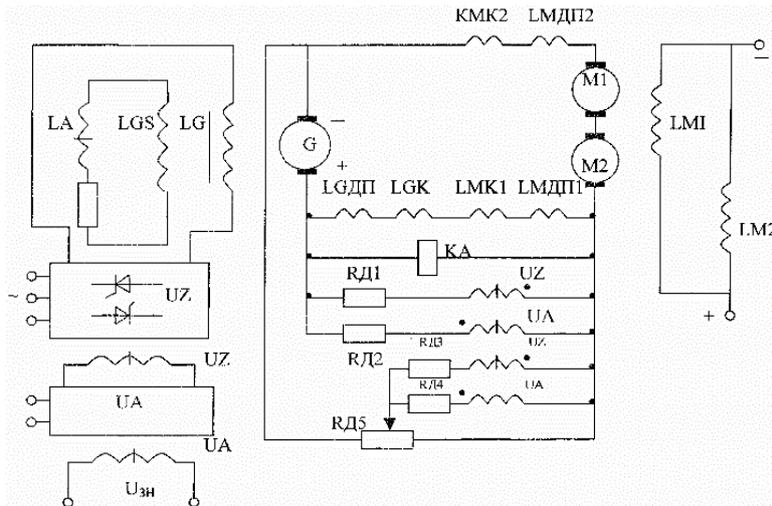


Рисунок 1 – Схема электропривода экскаватора по системе ТВ-Г-Д

С целью определения режимных параметров рассматриваемого электропривода предварительно было выполнено математическое моделирование процессов в электроприводе экскаватора. Математический аппарат базируется на уравнениях электрического и механического равновесия для системы генератор-двигатель. С использованием возможностей структурного и имитационного моделирования программного продукта MathLab, разработана модель двухдвигательного электропривода экскаватора ЭКГ, блочная структура которой приведена на рисунке 2.

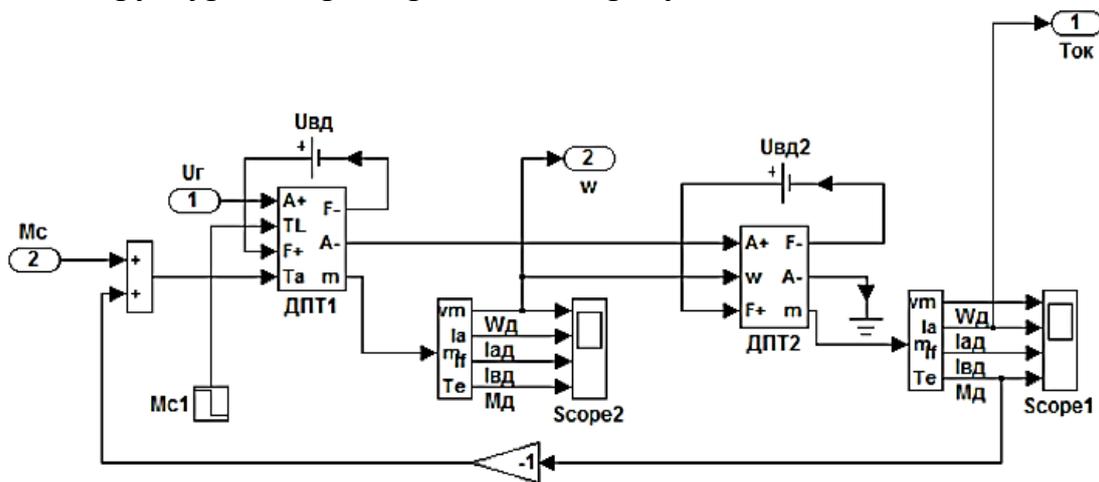
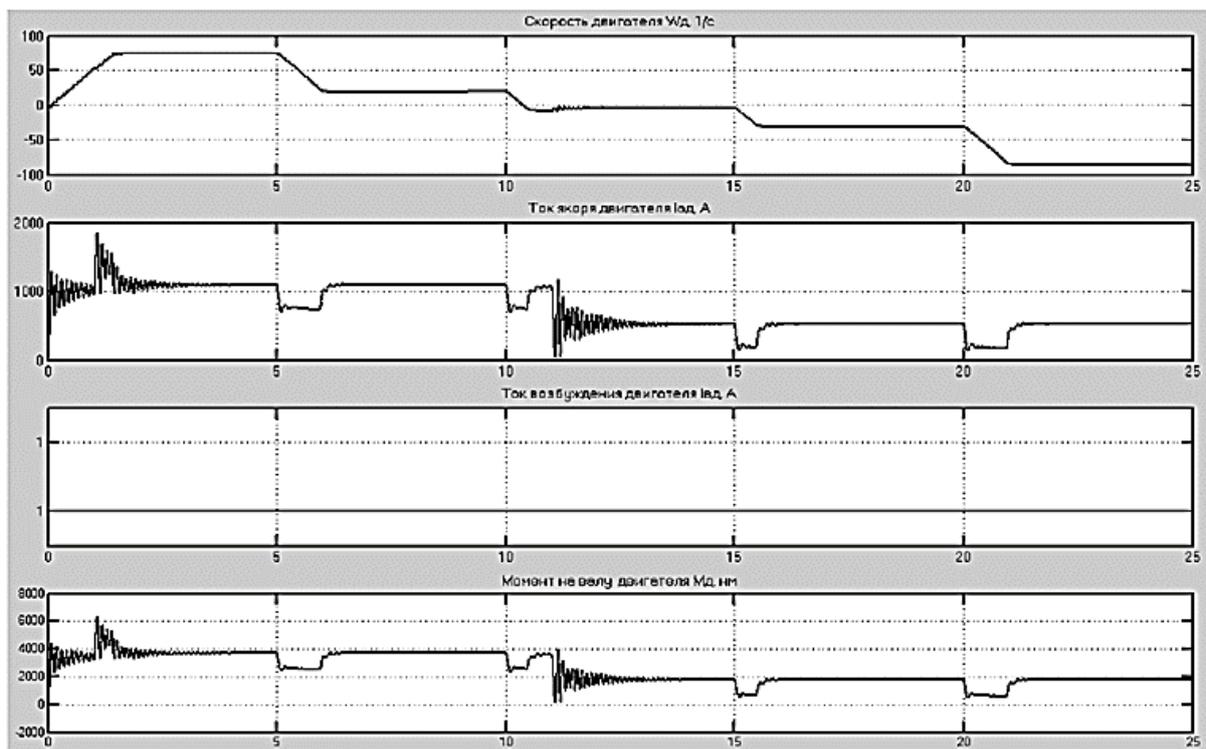


Рисунок 2 – Блочная структура модели двухдвигательного электропривода экскаватора ЭКГ

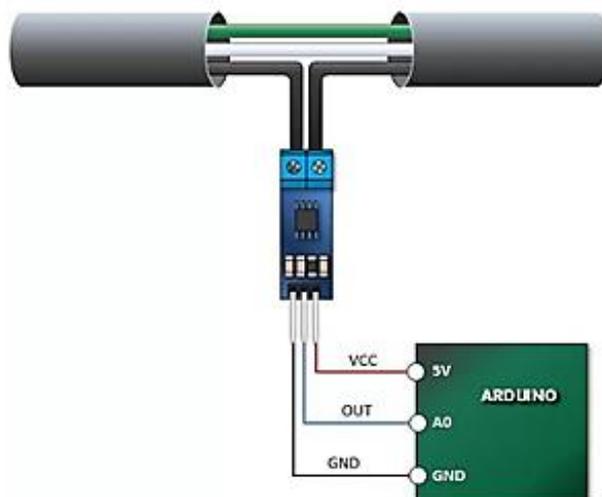
Разработанная математическая модель, применительно к экскаватору серии ЭКГ, позволила смоделировать весь цикл погрузки для электропривода подъема экскаватора. На полученных осциллограммах, представленных на рисунке 3, отражаются скорость электродвигателя, ток якоря, ток возбуждения и момент на валу двигателя.



**Рисунок 3 – Осциллограммы скорости электродвигателя, тока якоря, тока возбуждения и момента на валу двигателя за цикл погрузки-разгрузки**

Для проверки адекватности разработанной математической модели в лаборатории современных систем электроприводов кафедры ЭиЭТ ИРНИТУ проведены исследования на двигателе постоянного тока с независимым возбуждением, как и у экскаватора ЭКГ. Модель позволяет, в соответствии с циклом погрузки экскаватора, нагружать исследуемый электродвигатель и снимать параметры, пропорциональные весу перемещаемого угля. Для выделения тока в рассматриваемом цикле работы, который несет адекватную информацию, определяемую весом перемещаемой горной массы, и преобразования данного тока в сигнал, пропорциональный весу, разработана схема и программа на базе аппаратных средств Arduino [4, 5].

В данной схеме сигнал тока снимается с помощью датчика тока ACS712 и подается на плату Arduino в соответствии с рисунком 4. Датчик тока подключается к нагрузке в разрыв цепи через колодки под винт. Для работы с датчиком используется библиотека TroikaCurrent, которая переводит значения выхода датчика в миллиамперы. Этот ток выводится на индикаторную панель и передается на микроконтроллер. Программа позволяет выделить необходимую токовую нагрузку и, с учетом математически и экспериментально обоснованных коэффициентов, получить сигнал, пропорциональный весу угля в ковше и вывести его на монитор машиниста экскаватора.



**Рисунок 4 – Фрагмент программы, загруженной в контроллер Arduino для измерения постоянного тока**

Таким образом в лабораторных условиях разработана прототипированная модель контроля параметров двигателя подъема экскаватора ЭКГ, которая позволяет с наименьшим вмешательством в систему управления экскаватора получать сигнал тока, пропорциональный весу перемещаемой в ковше горной массы.

### **Библиографический список**

1. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование крьеров. – М.: Недра, 2003. – 591 с.
2. Вуль Ю.Я., Ключев В.И., Седаков Л.В. Наладка электроприводов экскаваторов. Изд. 2, перераб. и доп. М., «Недра», 1975. 312 с.
3. Дроздова Л.Г. Одноковшовые экскаваторы: конструкция, монтаж и ремонт: учеб. Пособие / Л.Г. Дроздова, О.А. Курбатова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 235 с.
4. Плата Arduino Nano v 3.0: распиновка, схемы, драйвер. [Электронный ресурс] URL: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-nano/> (обращение 02.11.2022).
5. Датчик тока ACS712. [Электронный ресурс] URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/datchik-toka-ac712/> (обращение 21.11.2022).

<sup>1</sup> Коновалов Ю.В., доцент кафедры ЭиЭТ ИЭ ФГБОУ ВО «ИРНТУ»

<sup>2</sup> Павлов В.Е., доцент кафедры ЭиЭТ ИЭ ФГБОУ ВО «ИРНТУ»

<sup>3</sup> Дубовец М.А., обучающийся, гр. ЭАПЭБ-22-1ФГБОУ ВО «ИРНТУ»

<sup>4</sup> Азенштейн Д.Б., обучающийся, гр. ЭАПЭБ-22-1ФГБОУ ВО «ИРНТУ»

Экспертиза статьи выполнена 24.11. 2022 г., протокол № 17

## ПРИМЕНЕНИЕ КОНТРОЛЛЕРОВ ARDUINO В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И БЫТУ

Коновалов Ю.В.<sup>1</sup>, Яровой А.В.<sup>2</sup>

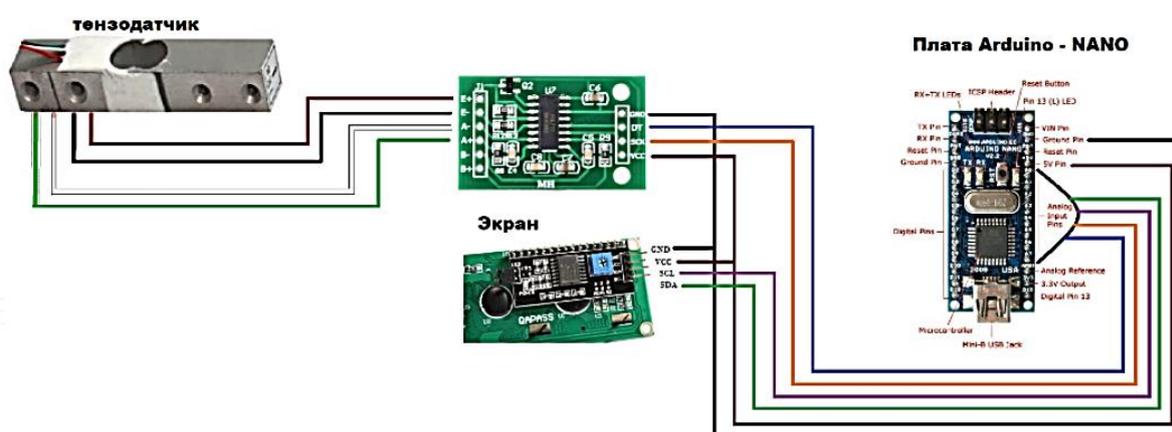
*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

В последние года линейка плат Arduino приобретает популярность среди людей заинтересованных в использование микроконтроллеров в быту и промышленности.

Arduino – торговая марка аппаратно-программных средств построения и прототипирования простых систем, моделей и экспериментов в области электроники, автоматики, автоматизации процессов и робототехники.

Программная часть состоит из бесплатной программной оболочки (IDE) для написания программ, их компиляции и программирования аппаратуры. Аппаратная часть представляет собой набор смонтированных печатных плат, продающихся как официальным производителем, так и сторонними организациями. Полностью открытая архитектура системы позволяет свободно копировать или дополнять линейку продукции Arduino. Благодаря своей простоте и открытости технические решения на базе плат Arduino приобрели популярность для бытового использования и для проекционного этапа на промышленные производства.

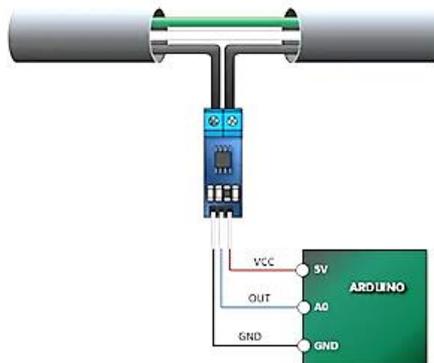
Например, в теплоэнергетике существует проблема непрерывного контроля перемещаемой массы топлива. Открытая архитектура позволяет на базе продукции Arduino создать простое техническое устройство по взвешиванию продукта на базе тензодатчика, схема которого представлено на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема технического устройства по взвешиванию продукта на базе тензодатчика и платы Arduino**

В системах управления электрическими величинами для контроля нагрузки по силе тока возможна схема включения датчика тока и продук-

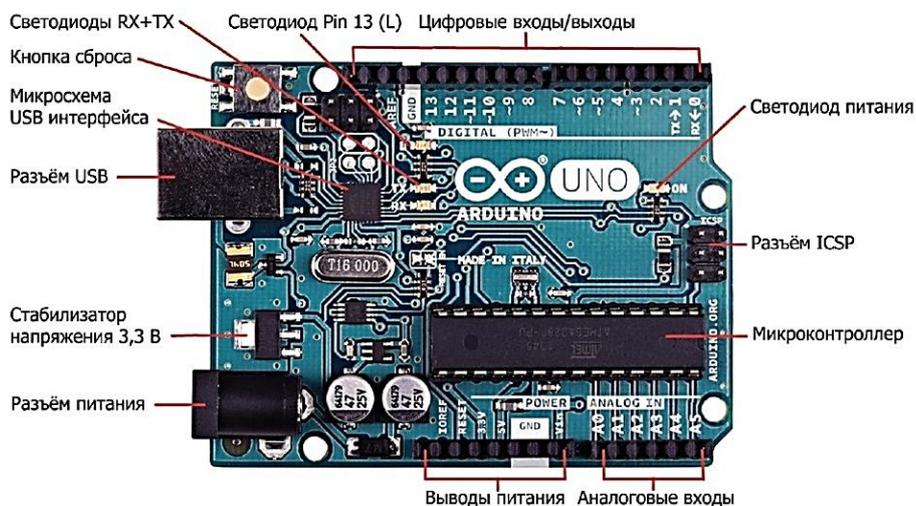
тов Arduino (рисунок 2), которая позволяет в дальнейшем обработать сигнал, провести его калибровку и использовать для автоматизации процесса.



**Рисунок 2 – Подключение датчика тока ACS712 к плате Arduino Uno**

Самая популярная плата из линейки Arduino является Arduino Uno, так как она появилась одной из первых и на ней наглядно видно из чего состоит плата. Arduino Uno представляет из себя несколько основных компонентов расположение которых представлено на рисунке 3:

- Микроконтроллер, чаще всего используется Atmel AVR, позже на некоторых моделях стали использовать процессоры ARM, ESP8266 и Intel x86.
- Микросхема для загрузки программ через USB.
- Разъёмы для подключения датчиков (цифровых и аналоговых).
- Разъём USB.
- Разъём питания.
- Разъём ICSP.
- Кнопка сброса.
- Несколько светодиодов для индикации.
- Стабилизатор напряжения 3,3 В.



**Рисунок 3 – Конфигурация платы Arduino Uno**

Однако в настоящее время эта плата проигрывает по своим габаритам по сравнению с платами Arduino Nano или Arduino Mini практически при тех же характеристиках. Сравнение по габаритам приведено на рисунке 4, технические параметры представлены в таблице 1.

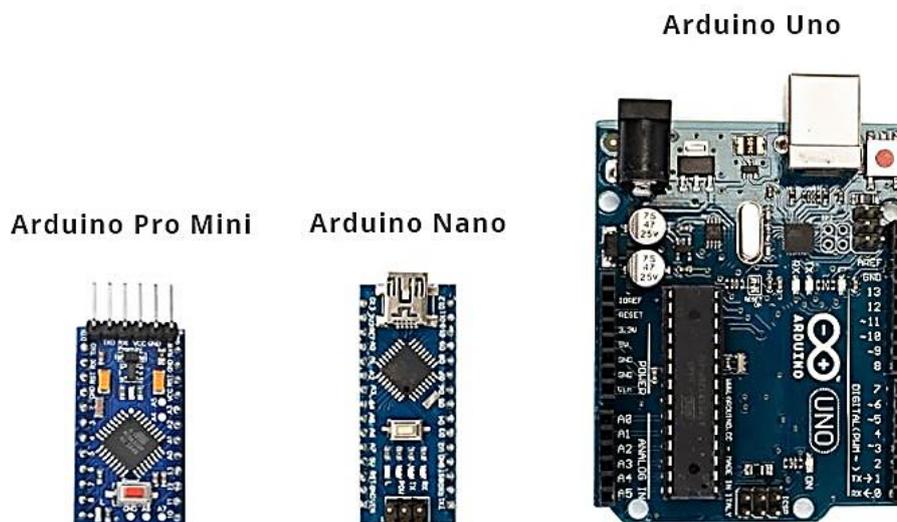


Рисунок 4 – Сравнения трех плат Arduino по их размерам

Таблица 1

**Сравнение плат линейки Arduino**

Название	Обозначение	Тактовая частота, МГц	Рабочее напряжение, В	Объём флэш-памяти, кБ	Объём ЭСППЗУ, кБ	Объём ОЗУ, кБ	Количество пинов	
							цифровых	аналоговых
Arduino Uno	ATmega328P-PU	16	5	31,5	1	2	14	6
Arduino Nano	ATmega328	16	5	16/32	0,5/1	1/2	14	8
Arduino Micro	ATmega328	16	5	32	1	2,5	20	12
Arduino Mega2560	ATmega2560	16	5	256	4	8	54	16
Arduino Leonardo	ATmega32U4	16	5	32	1	2,5	20	12
Arduino Zero	ATSAMD21G18A	48	3,3	256	-	32	14	6
Arduino Due	ATSAM3X8E	84	3,3	512	-	96	54	12

Исходя из данных таблицы 1 можно сделать вывод, что для бытового использования и макетов проектов хорошо подойдет Arduino Nano из-за своих характеристик и не высокой цены, а для использования на крупных бытовых проектах и промышленном производстве подойдет Arduino Due или Arduino Mega2560 из-за большого количества портов и объема флэш-памяти.

Как и у любой другой платы у Arduino есть преимущества и недостатки. Плюсы линейки плат Arduino:

- Малая цена по сравнению с аналогами.
- Простой язык программирования.
- Много полезных модулей и библиотек.
- Малое рабочее напряжение.
- Могут работать при температурах от  $-40\text{ C}^0$  до  $+85\text{ C}^0$ .
- Малое энергопотребление.
- Можно связать несколько плат чтобы работали сообща.

Минусы плат линейки:

- Множество подделок низкого качества.
- Малый объем флэш-памяти и ОЗУ микроконтроллера.
- Малая тактовая частота процессора (не считая Arduino Due).

В быту Arduino часто используют для систем автополива растений или в качестве контролера теплицы, управление светодиодной лентой, небольшими ЧПУ станками, 3D принтерами, лазерными граверами, системами умного дома, роботами пылесосами, шагающими роботами, роботами на колесах, роборуками, мини метеостанциями.

В промышленности Arduino подойдет для автоматизации простых процессов. Например, взвешивании, измерение температуры устройства и включение охлаждения при нагреве, а затем его отключение если не помогает охлаждение, измерение уровня загрязнённости воздуха в производственных цехах, измерения силы тока в цепи и отключения её при превышении его, управление ЧПУ станками и многое другое.

### **Библиографический список**

1. Arduino [Электронный ресурс] Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino>
2. Сравнение Arduino плат и Arduino технологии. [Электронный ресурс] URL: <https://arduino-technology.ru/articles/arduino-boards/>
3. 25 крутых проектов с Arduino / Марк Геддес; [пер. с англ. М.А. Райтмана]. - Москва: Эксмо, 2019. - 272 с.
4. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства: Пер. с англ. - СПб.: БХВ-Петербург, 2015. - 336 с.

<sup>1</sup> Коновалов Ю.В., доцент кафедры ЭиЭТ ИЭ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

<sup>2</sup> Яровой А.В., обучающийся, гр. ММб-22-1 ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

Экспертиза статьи выполнена 07.12.2022 г., протокол № 21

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ 3D ПРОЕКТИРОВАНИИ

Коновалов Ю.В.<sup>1</sup>, Чупановский М.Г.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

### **Введение**

Благодаря возрастанию сложности инженерных изделий приходится менять и стратегию их создания. Сложность заключается не только в увеличении количества деталей в изделии, но также в том, что электроника, программное обеспечение и встроенные системы стали неотъемлемой частью любых высокотехнологичных продуктов, а интеграция этих частей становится отдельной задачей.

Для обеспечения надежности и безопасности многокомпонентного изделия необходимо резкое увеличение числа испытаний, которые, несомненно, быстрее и дешевле делать в виртуальном пространстве на стадии проектирования, чем на более поздней стадии в металле.

Производительность промышленных продуктов зависит от характеристик конструкционных материалов, из которых они изготавливаются. Прочные, легкие материалы помогают уменьшить расход топлива в автомобилях, поездах и самолетах, позволяют реализовать новые решения и снизить стоимость изделия. Испытания материалов требуют специально подготовленных образцов, что затрудняет их проведение, но и здесь многие проблемы удается решить с помощью технологии 3D моделирования.

### **Работа в среде MATLAB**

Использование MATLAB позволяет эффективно решать сложные задачи с помощью библиотеки SimScare. Любая задача моделирования может быть автоматизирована с использованием кода MATLAB.

SimScare предназначен для создания моделей физических систем в среде Simulink. Моделируются такие системы, как электродвигатели, мостовые выпрямители, гидроприводы и системы охлаждения и многое другое.

Компоненты SimScare представляют физические элементы, такие как насосы, двигатели и операционные усилители. Линии в модели, которые соединяют эти компоненты, соответствуют физическим соединениям в реальной системе, которые передают энергию. Этот подход позволяет описать физическую структуру системы, а не лежащую в ее основе математику.

### **Переход от реального объекта к его модели**

Для дальнейшей работы по анализу исследуемого объекта, необходимо осуществить переход от его реального образца к цифровому. Подобный переход проиллюстрируем на примере гидроцилиндра ГЦ 125.50.200.

Вид реального гидроцилиндра представлен на рисунке 1, входные данные для моделирования были взяты из технической документации:

- диаметр цилиндра 125 мм;
- диаметр штока 50 мм;
- давление номинальное 16 мПа;
- давление максимальное 20 мПа;
- расстояние между осями 515 мм;
- толкающее усилие на штоке 186,4 кН.



Рисунок 1 – Гидроцилиндр ГЦ 125.50.200

При создании 3D модели гидроцилиндра по его геометрическим характеристикам получаем модель, представленную на рисунке 2.

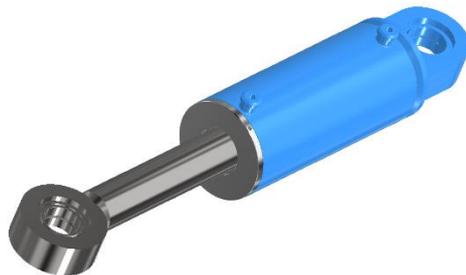


Рисунок 2 – 3D модель гидроцилиндра ГЦ 125.50.200

Физика движения поршня гидроцилиндра описывается следующими математическими формулами уравнения движения поршня дифференциального привода:

$$\frac{dP_2}{dt} = -\frac{k \cdot \mu_2 \cdot f_2 \cdot K \cdot P_2^{\frac{3k-1}{2k}} \cdot \sqrt{R \cdot T_M}}{F_2 \cdot (s + x_{02} - x) \cdot P_M^{\frac{k-1}{2k}}} \cdot \varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right) + \frac{k \cdot P_2}{s + x_{02} - x} \frac{dx}{dt}$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = P_1 \cdot F_1 - P_2 \cdot F_2$$

Представленные формулы и параметры, представленные в них, соответствуют принципиальной схеме работы гидроцилиндра, изображенной

на рисунке 3. Она иллюстрирует физическую структуру системы, без описания процессов, происходящих в объекте.

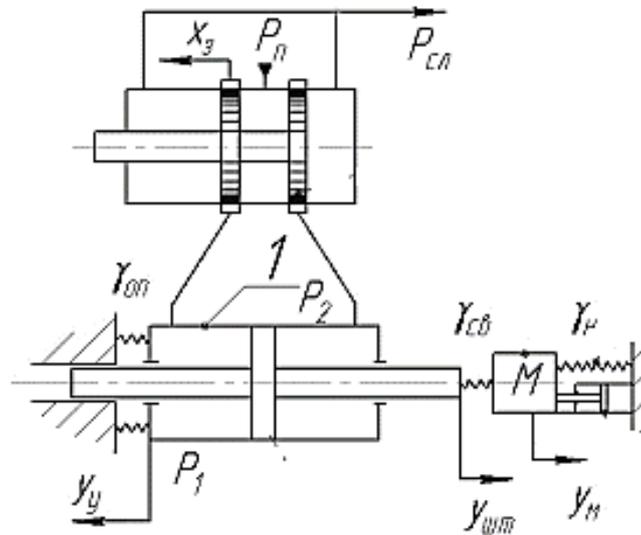


Рисунок 3 – Принципиальная схема работы гидроцилиндра ГЦ 125.50.200

Принципиальную схему работы гидроцилиндра можно представить в виде отдельных компонентов из библиотеки SimScape. Это переход от принципиальной схемы к модели со сосредоточенными параметрами представлен на рисунке 4.

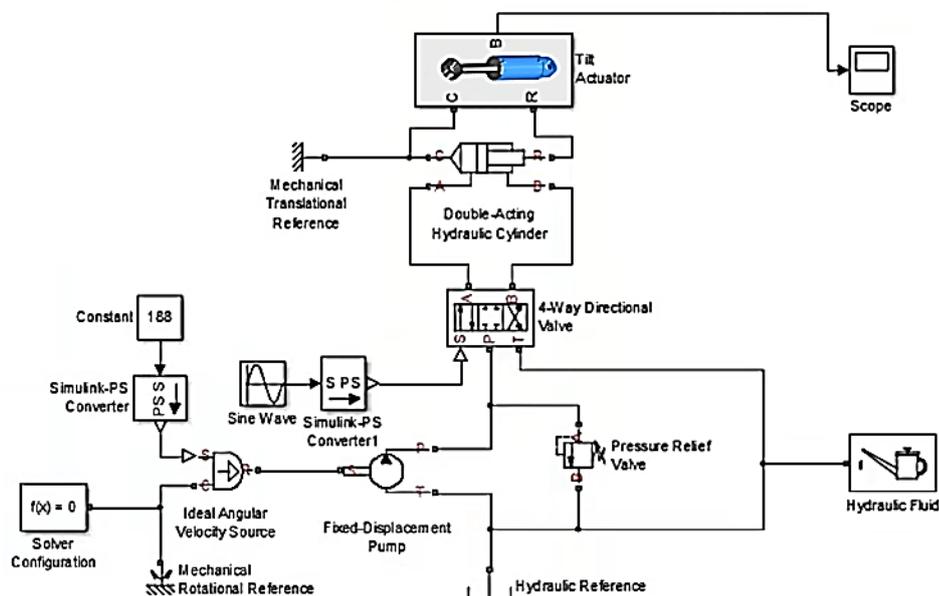
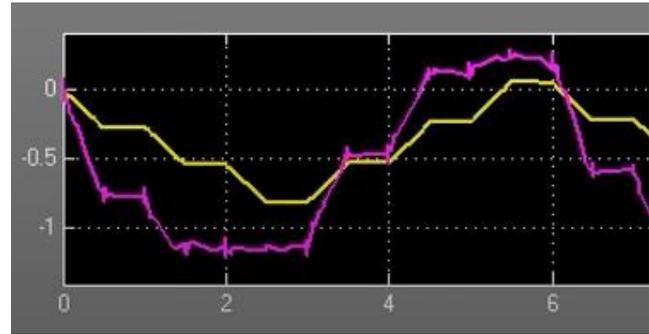
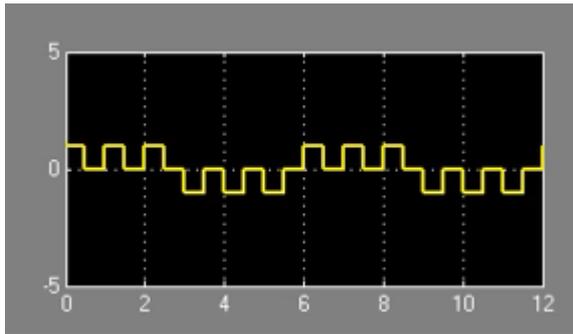


Рисунок 4 – Симуляция работы гидроцилиндра ГЦ 125.50.200

Работа гидроцилиндра продемонстрируем с использованием виртуального осциллографа. График на рисунке 5 был построен на основе работы эталонного (реального) образца, а график на рисунке 6 – на основе симуляции.



**Рисунок 5 – График реального образца    Рисунок 6 – График симуляции**

Для более детального отображения процесса на графике симуляции, на нем выбран масштаб, позволяющий развернуть осциллограмму на всё координатное пространство графика. С учетом того, что масштабы по оси ординат заданы разными, можно судить о достаточном совпадении графиков отображения реального процесса и его симуляции. Так же расхождение объясняется тем, что при моделировании не были указаны входные параметра гидроцилиндра (номинальное и максимальное давление, объем, размер клапанов). После запуска исполнения модели программа сама подстраивает конфигурацию гидроцилиндра для его оптимальной работы и совпадении с реальным объектом.

При дальнейшей работе каждый параметр можно задать вручную, либо запустить систему оптимизации. Подобная функция позволяет оценить правильность выбранных характеристик еще на этапе проектирования, что минимизирует затраты на создание опытных образцов изделия.

Оптимизация десятков тысяч параметров для создания конкурентоспособного изделия невозможна без использования технологий инженерного анализа конструкций. Расширение применения физического моделирования в новых отраслях производства упрощает работу проектировщика, оно дает представление о работе того или иного узла в конструкции, с помощью алгоритмов оптимизации подбирается оптимальный набор параметров или компонентов, что уменьшает количество ошибок на ранних этапах разработки.

### **Библиографический список**

1. SimScape [Электронный ресурс] URL: <https://exponenta.ru/simscape>
2. Прохоров А., Лысачев М. Научный редактор профессор Боровков А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. – М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 с.

<sup>1</sup> Коновалов Ю.В., доцент кафедры ЭиЭТ ИЭ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

<sup>2</sup> Чупановский М.Г., обучающийся, гр. ЭАПЭБ-21-1 ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

Экспертиза статьи выполнена 14.12.2022 г., протокол № 23

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Баиров Г.А.<sup>1</sup>, Сафонова О.М.<sup>2</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Энергетическая отрасль не стоит на месте и стремительно совершенствуется и поддается инновационным изменениям. Совсем недавно единственным способом получения энергии было присоединение к централизованной системе энергоснабжения, то сегодня все больше потребителей делают выбор в пользу собственных генерирующих решений. Так, в России на распределенную энергетику уже приходится 5-10% от общего объема энергоснабжения.

Распределенная генерация это комплекс технологий, которые дают возможность производить электрическую энергию вблизи с зоной ее пользования. В таком случае энергию производят не масштабные электростанции, а незначительные конструкции, из-за чего распределенную генерацию называют малой. Многочисленные российские специалисты причисляют к ней производящие объекты вместе с определенной мощностью меньше 25 МВт.

В России классифицируют 3 вида генерирующих станций:

- Теплоэлектроцентрали разновидность тепловой электростанции, которая никак не производит электрическую энергию, но также считается основой тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения;
- Блок-станция - электростанция, никак не пребывающая в хозяйственном руководстве энергоуправлений (энергообъединений) Минэнерго Российской Федерации, обладающая взаимосвязи согласно электрическим сетям вместе с электроустановками энергоснабжающей компании, а также пребывающая в оперативном руководстве диспетчера энергосистемы. Блок-станции являются выгодными для их владельцев, так как могут функционировать за счет побочных продуктов основного производства (попутный или доменный газ и т.д.);
- объекты малой и средней генерации, строящиеся конечными потребителями.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением развития распределенной генерации в Российской Федерации считается установка объектов малой и средней генерации. Эта группа содержит в себе многочисленные технологические процессы, подобные как возобновляемые источники энергии, ГТУ, топливные элементы, дизель-генераторы, а также многие другие.

Таблица 1

## Положительный вклад распределенной генерации

Элементы влияния РГ	Экономия стоимости энергии	Экономия потерь в сетях и сетевых перегрузок	Отсрочка инвестиций в генерацию	Отсрочка инвестиций в сетевое хозяйство	Повышение надежности	Повышение качества поставляемой электроэнергии	Эффективное использование земельных ресурсов
Срезание пиков нагрузки	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Поставка системных услуг Операционные резервы Регулирование Запуск с нуля Реактивная мощность	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Аварийные резервы	Да	Да	–	–	Да	Да	Да
Срезание пиков нагрузки	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да

Эксплуатация объектов распределенной генерации позволяет:

- снизить стоимость электроэнергии для предприятия;
- повысить надёжность энергоснабжения;
- использовать побочные продукты производства в качестве энергоносителя;
- снизить уровень уязвимости от террористических атак.
- изменение структуры нагрузки за счет увеличения доли возобновляемых источников энергии, в общем объеме позволяет говорить о необходимости учета при прогнозировании потребления дополнительных факторов. Если мы говорим о возобновляемых источниках энергии, то влияющим фактором является особенность среды. Например, температура воздуха, скорость ветра, скорость и направление течения реки.
- необходима установка оборудования, отвечающего требованиям системного оператора единой энергетической системы по управлению режимами работы генераторов

Помимо всех положительных характеристик. Существуют и определенные препятствия на пути к масштабному развитию распределенной генерации:

- высокий уровень таможенных пошлин на ввозимое из-за рубежа оборудование для малой генерации.
- сложности в функционировании технического регулирования и лицензирования при строительстве данных объектов.
- трудности при присоединении к электрическим сетям и оказании услуг по оперативно-диспетчерскому управлению.
- отрицательное и зачастую негативное отношение сетевых и генерирующих компаний.

В связи с тем, что распределенная генерация часто новое техническое оснащение, импортированное из-за границы, вместе с новейшими динамическими характеристиками, а также способностями управления, подключение источников распределенной генерации к распределительной сети повышает токи короткого замыканий, что потребует замены коммутационных аппаратов. Введение распределенной генерации усложняет оперативно-диспетчерское управление, и кроме того концепцию релейной охраны, а также автоматики, противоаварийного управления. Большая часть данных функций переходят к сортировочным сетям, в месте где не имеется персонал, который может с этим совладать.

Перспективы функционирования распределенной энергетики особенно заметны в отдаленных районах России, где невозможно использовать централизованные системы энергоснабжения.

Трансформация компаний в свою генерацию никак не протекает без следа для Единой энергетической системы (ЕЭС), которая при этом лишается наиболее крупных, а также значительных покупателей. Итог - в остальных возлагает содержание всей энергосистемы, то что приводит к увеличению стоимости в электрическую энергию. Именно с этого вытекает, то что стихийность развития распределенной генерации представляет ее основной проблемой.

В России этот процесс проходит не так, как в других странах. Во-первых, в России собственная генерация стала развиваться сравнительно недавно, что уже переводит нашу страну в категорию «догоняющих». Сегодня во многих европейских странах на распределенную генерацию приходится уже 20-30% от общей выработки электроэнергии. В России на настоящий момент насчитывается лишь около 50 тыс. объектов.

Конкретную значимость в проблеме небольшой генерации представляет а также ее законодательное урегулирование. В русском законодательстве вплоть до этих времен не имеется само представление «распределенная энергетика», то что значит абсолютное недостаток законодательного регулирования этой сферы. Задачей, которую следует найти решение в пути

перехода к распределенной генерации, представляет отбор решения каким способом станут сосуществовать классическая и распределенная электроэнергетика в Российской Федерации. Уже после развития законодательства согласно малой расчисленной генерации станет нужна разработка пакета определенных нормативно-законных актов правительства Российской Федерации министерств, а также ведомств, характеризующих определенный порядок, связанный с стоимостью, присоединением и стимулированием формирования распределенной энергетики.

Из-за недоступности утверждений, прикрепленных законодательством, большая часть жителей России принимают распределенную генерацию как обособленный субъект, который может только лишь в энерго-снабжение отдельных объектов. В таком случае период в обществе распределенная генерация в настоящее время является один с основных частей энергетики будущего, включающей, помимо объектов малой мощности, электромобили, накопители, микросети, а также умные сети. Помимо этого, распределенная электроэнергетика изменяет значимость покупателя - он становится потребителем, который в то же время производит и потребляет энергию.

Распределенная генерация имеет способности к уменьшению потерь, а также значительным инновационным потенциалом. Расположение предметов генерации вблизи вместе с пунктами пользования дает возможность уменьшать утраты при передаче, а также распределении, наиболее гибко реагировать в изменение спроса, а кроме того в множества вариантах увеличивает безопасность концепции. Однако, с другой стороны, уход от централизованной энергосистемы потребует высокотехнологичных решений, новейшего оснащения и программного обеспечения. А также регулировать все без исключения приведенные проблемы и трудности нужно комплексно - в таком случае распределенная электроэнергетика сумеет показать наибольшую результативность и отдачу.

Подводя итог, необходимо отметить, что несмотря на очевидные преимущества распределенной генерации, в России на данный момент существует обилие проблем, мешающих развитию. Для того, чтобы распределенная генерация стала неотъемлемым эффективным звеном, надо преодолеть существенные технические, экономические и регуляторные барьеры. Также стоит задуматься над тем, что энергетика для страны является одной из главных статей доходов.

### **Библиографический список**

1. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики. - М.:Инфра-М, 2007.
2. Булатов, Ю. Н. Распределенная генерация и энергетические роутеры в системах электроснабжения железных дорог : монография / Ю. Н. Булатов, А. В. Крюков, Г. О. Арсентьев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. - 171 с..

3. Особенности расчетов режимов в энергорайонах с распределенной генерацией: монография / Ю.Е. Гуревич, П.В. Илюшин. – Н. Новгород: НИУ РАНХиГС, 2018. – 280 с.
4. Основы современной энергетики: В двух частях. / Под общей редакцией Е.В. Аметистова. Часть 2. Современная электроэнергетика / Под ред. профессоров А.П. Бурмана и В.А. Строева. — М.: Издательство МЭИ, 2003.
5. Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года»
6. Ушаков В.Я. Современная и перспективная энергетика: технологические, социально-экономические и экологические аспекты: монография / В.Я.Ушаков. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.
7. Электроэнергетика России 2030: целевое видение/под общ. ред. Б. Ф. Вайнзихера. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. — 360 с.

<sup>1</sup> Баиров Г.А., обучающийся, гр. ИРб-21-1

<sup>2</sup> Сафонова О.М., ассистент каф. автоматизации и управления  
Экспертиза статьи выполнена 08. 12.2022 г., протокол № 44

УДК 621.3

### **ВЫБОР СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ КОНДЕСАТОРОВ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА С УЧЁТОМ РАССТОЯНИЯ ОТ КОНДЕСАТОРОВ ДО РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Иванов Н.С.<sup>1</sup>, Кочетков Д.С.<sup>2</sup> Потапов В.В.<sup>3</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

В электроразрядные установки на основе электрогидравлического эффекта (ЭГЭ) для технологических целей используют импульс давления возникающий при импульсном электрическом разряде в жидкости [1]. В частности такого рода электротехнологические установки используют для штамповки[2], для запрессовки труб в трубных решётках аппаратов химической технологии [3] для очистки литья, для дробления горных пород и других технологических операций. При этом импульсные генераторы являющиеся основным элементом указанных электротехнологических установок могут быть собраны по схеме генератора импульса тока (ГИТ)(Рис1.) или по схеме генератора импульсов напряжения (ГИН)(Рис2).

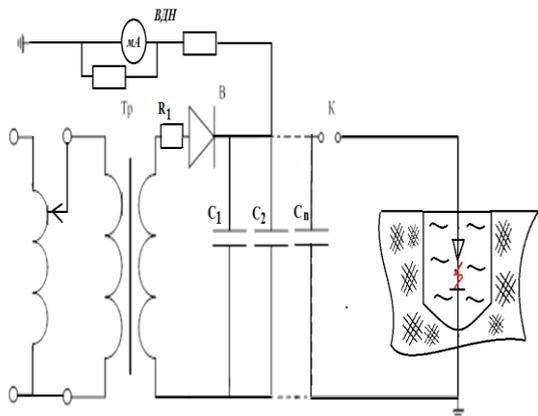


Рис.1 Схема электротехнологической установки

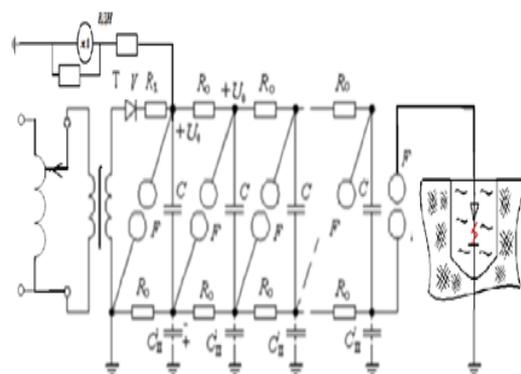


Рис. 2 – Принципиальная электрическая схема ГИН

ГИТ представляет собой батарею параллельно соединённых конденсаторов разряжающихся на низкоомную нагрузку, при этом для получения возможно большей амплитуды импульса тока минимизируется индуктивность разрядного тока за счёт компоновки и расположения конденсаторов в пространстве и конструкции ошиновки. В схеме ГИН высоковольтные конденсаторы заряжаются параллельно, а при разряде через искровые промутки соединяются последовательно, при этом суммарное напряжение умножается.

Компоновка в схеме ГИН осуществляется с учётом обеспечения электрической прочности изоляции между ступенями, разрядный контур, при этом значительно увеличивается индуктивность разрядного контура. Предельное значение амплитуды импульса тока, которое может быть получено с помощью емкостных генераторов не превышает значения

$$I_M < \frac{U}{\sqrt{\frac{L}{C_y}}}$$

Где  $U$ -напряжение на ударной емкости,

$L$ -индуктивность разрядного контура,

$C_y$  - ударная емкость,

$I_m$  - амплитуда импульса.

При этом предельное значение амплитуды импульса тока не зависит от схемы соединения конденсаторов. Однако в случае соединения конденсаторов по схеме ГИН период колебания тока в  $n$ (количество конденсаторов) раз меньше чем период колебания для соединения конденсаторов по

схеме ГИТ. Если емкость отдельного конденсатора  $C$  то ударная емкость по схеме ГИТ  $C=n \cdot C$ , а ударная емкость по схеме ГИН  $C=\frac{C}{n}$ ,

Из условия, что для глубоко колебательных режимов емкостных генераторов период колебания- $T$

$$T \approx 2\pi\sqrt{LC_y},$$

следует, что период колебания по схеме ГИН –  $T_{гин}$  в  $n$  раз меньше чем период колебания по схеме ГИТ -  $T_{гит}$ .

Меньший период колебаний должен обеспечить более высокую скорость нарастания мощности энергии выделяемой в искровом канале и, таким образом, большую амплитуду импульса давления.

Амплитуда импульса волны давления  $P$ . зависит от закона энерговыделения в искровом канале и может быть определена по формуле[4]

$$P = AE(t) \left[ \int_0^t E^{1/2}(t) dt \right]^{-1}$$

где  $A$  – постоянная, определяемая прежде всего плотностью и вязкостью воды;  $E(t)$  – выделившаяся в искровом канале энергия, которую можно оценить, интегрируя выделяемую в канале разряда мощность  $N(t)$ :

$$E(t) = \int_0^t N(t) dt = \int_0^t i^2(t) R_{и}(t) dt$$

где  $i(t)$  – ток в разряде;  $R_{и}$  – сопротивление искрового канала.

Для аппроксимации графика мощности  $N(t)$  искрового канала треугольником оценка средней скорости нарастания мощности может быть выполнена по формуле

$$N' = \frac{4I_m^2 R_{и}}{T}$$

Для такой аппроксимации согласно[5] оценку амплитуды импульса давления можно выполнить по формуле

$$P_m = A\sqrt{2N'}$$

С учётом ранее сделанного заключения, что для емкостного генератора по схеме ГИН период колебаний в  $n$  раз меньше можно сделать

вывод что скорость нарастания мощности выделения энергии в искровом канале будет также в  $n$  раз больше, а амплитуда импульса давления будет больше в  $\sqrt{n}$ .

### Библиографический список

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л. Машиностроение, 1986., 253с.
2. Мазуровский Б.Я., Сизёв А.Н. Электрогидравлический эффект в листовой штамповке 1983., 192с
3. ГОСТ 23692-79\* Соединение труб с трубными решетками и коллекторами теплообменных аппаратов, требования к типовому технологическому процессу закрепления труб энергией электрического взрыва проводников.
4. Драбкина С.И. // ЖЭТФ. – 1951. – Т. 21. – Вып. 4. – С. 473–483.
5. Чеботнягин Л.М., Потапов В.В., Лопатин В.В., Кинетика деформирования сплавов импульсным давлением электрического разряда. Ж: Известия Вузов. Физика., Т58 стр 51-56

<sup>1</sup> Иванов Н.С., обучающийся в гр. ЭУМ-22-1 ИРНИТУ

<sup>1,2</sup> Кочетков Д.С., обучающийся гр. ЭПМЗ-20-1 ИРНИТУ

<sup>1,3</sup> Потапов В.В., доцент кафедры ЭиЭ ИРНИТУ

Экспертиза статьи выполнена 07.12.2022 г., протокол № 21

УДК 519.246.8

### ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ТЕСТОВ СТАЦИОНАРНОСТИ ДЛЯ АНАЛИЗА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЯДА ПРИТОКА ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ ИРКУТСКОЙ ГЭС

Иванова Ю.В.<sup>1</sup>, Карамов Д.Н.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Оценка стационарности гидрологического ряда является одним из необходимых условий объективной статистической обработки многолетних гидрологических характеристик озера Байкал. Это один из важнейших этапов создания современной и качественной автоматизированной системы прогнозирования притока воды к створу Иркутской ГЭС, которая позволила бы более эффективно использовать водно-энергетические ресурсы Иркутского гидроузла.

Зачастую при разработке систем прогнозирования стока водных объектов предполагается, что исходная информация однородна и стационарна. Однако, стационарность временных гидрологических рядов может быть нарушена в результате хозяйственной деятельности человека, а также в случае изменения климата в исследуемом регионе.

Стационарным временным рядом называется ряд, математическое ожидание которого не изменяется во времени, т.е. у временного ряда отсутствует тренд. Существует несколько различных тестов для проверки временного ряда на стационарность. Для исследования гидрологических рядов с большим количеством наблюдений (более ста) применяют параметрические методы, т.к. они имеют большую статистическую мощность. Данная работа призвана проверить возможность применения наиболее популярных в статистике параметрических тестов для определения стационарности гидрологического ряда оз. Байкал, являющегося основной частью водохранилища Иркутской ГЭС.

Для определения стационарности гидрологического ряда воспользуемся дополненным параметрическим тестом Дики-Фуллера [1]. Расширенный тест Дики-Фуллера, он же ADF-тест – это методика, чаще всего используемая в прикладной статистике. Он, как правило, используется при наличии сезонных колебаний. Уравнение тестовой регрессии имеет вид:

$$\Delta y_t = b_1 \cdot y_{t-1} + b_2 \cdot y_{t-2} + \varepsilon_t. \quad (1)$$

где  $y_t$  – временной ряд;  $b$  – коэффициент, необходимый для определения единичного корня;  $\varepsilon_t$  – член ошибки или белый шум.

В отличие от стандартного теста Дики-Фуллера в расширенную версию теста вводятся дополнительные переменные (лаги) переменной разности  $\Delta y_t$ . При этом нужно обязательно учитывать следующий факт: при увеличении числа лагов мощность теста будет снижаться, а значит вероятность совершения ошибки второго рода, когда отвергается верная нулевая гипотеза, будет увеличиваться. Как и во многих параметрических тестах при оценке временного ряда на стационарность принимают во внимание Р-значение, которое отражает вероятность появления экстремального значения временного ряда при дополнении анализируемой выборки. По умолчанию оно равно 0,05. В случае, если полученное в результате теста Р-значение оказывается меньше 0,05, то вероятность отклонения нулевой гипотезы становится выше, а значит ряд будет признан стационарным.

Для проведения ADF-теста используется программный комплекс «RStudio». В него загружаются данные гидрологического ряда оз. Байкал с помощью двух функций «с» - соединяет численные значения и формирует из них вектор, и «vect» - хранит заданный вектор в виде переменных для дальнейшего использования. Для выполнения расширенного теста Дики-Фуллера предварительно была загружена библиотека «tseries», которая предоставила доступ к функции «adf.test». Наглядно вышеописанные процессы расчетов показаны на рисунке 1.

```

1 # Create a data
2 vect <- c(значения временного ряда)
3 # Visualize the created data
4 # using plot()
5 plot(vect, type='l')
6 # Importing library
7 library(tseries)
8
9 # Create a data
10 vect <- c(значения временного ряда)
11 # Conduct the augmented Dickey-Fuller test
12 adf.test(vect)

```

12:15 (Top Level) R Script

Console Terminal Background Jobs

```

R 4.0.4 ~ /
380, 1044, 3600, 5200, 4270, 3030, 2600, 995, -54, -154, 150, 430, 330, 900, 2500, 5000, 3620, 3000, 1530, 456, -115, -348,
210, 370, 312, 750, 2920, 6360, 5220, 3630, 1950, 840, -200, -120, 350, 374, 389, 1080, 2400, 5300, 4120, 2030, 1620, 762, -
270, -250, 190, 380, 280, 690, 2310, 5800, 4520, 4120, 2790, 1260, 110, -90, 200, 360, 350, 1060, 2700, 4600, 4200, 3600, 240
0, 1200, -100, -340, 320, 400, 410, 890, 3020, 4430, 3440, 3320, 2050, 930, -40, -320, 410, 490, 430, 980, 3210, 3970, 3700,
3350, 1860, 640, -390, -360, 150, 420, 420, 740, 2730, 4710, 4590, 4440, 2330, 850, -50, -110, 380, 410, 370, 850, 3110, 410
0, 3750, 3590, 2590, 1190, -90, -280, 350, 390, 360, 810, 2320, 4030, 3560, 2820, 1760, 420, -270, -340, -360, 260, 270, 930,
2280, 3630, 3060, 2030, 1580, 760, -420, -300, 130, 310, 340, 980, 2340, 4210, 3320, 4070, 2370, 890, -150, -290, 110, 300,
360, 1140, 2630, 3630, 3030, 2690, 2030, 910, -170, -300, 240, 380, 290, 1200, 2900, 4800, 4700, 4200, 2900, 2610, 500, -20
0, 420, 425, 350, 980, 2400, 4750, 4180, 3500, 1980, 850, -300, -400, 250, 350, 320, 950, 2500, 4200, 3400, 5050, 4100, 1700,
200, -200)
> adf.test(vect)

```

**Рисунок 1 – Процесс выполнения ADF-теста в ПК «RStudio»**

Результаты расширенного теста для исследуемого гидрологического ряда представлены ниже на рисунке 2.

```

Augmented Dickey-Fuller Test

data: vect
Dickey-Fuller = -7.6283, Lag order = 10, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary

```

**Рисунок 2 – результат ADF-теста**

Из результатов расширенного теста Дики-Фуллера видно, что полученное Р-значение (p-value) менее 0,05. Это означает, что нулевая гипотеза в данном случае отвергнута и ряд может быть признан стационарным.

Для подтверждения гипотезы о стационарности временного ряда, выявленной в результате проведения расширенного DF-теста, используем ещё один параметрический тест – KPSS тест. От дополненного теста Дики-Фуллера KPSS тест главным образом отличает перестановка нулевой и альтернативной гипотез. В данном тесте, аналогично ADF-тесту, для подтверждения или отклонения нулевой гипотезы используется Р-значение. В программе «RStudio» KPSS тест выполняется с помощью уже известной библиотеки «tseries», которая включает в себя функцию kpss.test(). Результаты выполнения теста для исследуемого временного ряда приведены на рисунке 3.

```

KPSS Test for Trend Stationarity

data: vect
KPSS Trend = 0.022889, Truncation lag parameter = 7, p-value = 0.1

warning message:
In kpss.test(vect, null = c("Trend")) :
  p-value greater than printed p-value

```

**Рисунок 3 – результаты KPSS теста**

В связи с тем, что полученное Р-значение более 0,05, нулевая гипотеза KPSS теста не может быть отвергнута, а значит есть все основания полагать, что исследуемый временной ряд является стационарным.

Итак, оба параметрических теста, широко применяемых в современной статистике, но редко применяемых в гидрологии, показали что гидрологический ряд оз. Байкал является стационарным временным рядом. Сравним полученные результаты с результатами ещё одного параметрического теста, который имеет большую популярность в гидрологии – t-критерия Стьюдента [2].

Критерий Стьюдента используется для определения статистической значимости различий средних величин. В данном случае необходимо сравнить две связанные (парные) выборки: первая выборка – гидрологический ряд, наблюдаемый до возведения Иркутской ГЭС, и гидрологический ряд, наблюдаемый после ввода в эксплуатацию Иркутского гидроузла. Это поможет не только определить стационарность исследуемого временного ряда, но и узнать, была ли нарушена стационарность временного ряда в результате хозяйственной деятельности человека. Обобщенные значения классического критерия стационарности Стьюдента, для гидрологического ряда притока воды в водохранилище Иркутской ГЭС представлены на рисунке 4.

Полученное Р-значение оказалось более 0,05. То есть отличия связанных выборок статистически не значимы и исследуемый гидрологический ряд можно назвать стационарным.

```

Paired t-test

data: x and y
t = -0.22153, df = 11, p-value = 0.8287
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -83.83944  68.50610
sample estimates:
mean of the differences
 -7.666667

```

**Рисунок 4 – результат t-теста**

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод о том, что широко используемые в статистике тест Дики-Фуллера и KPSS-тест могут применяться для анализа гидрологических рядов наряду с t-тестом (критерием

Стьюдента), являющимся наиболее популярным методом статистического анализа в гидрологии.

### Библиографический список

1. Дробышевский С., Носко В., Энтов Р., Юдин А. Эконометрический анализ динамических рядов основных макроэкономических показателей // Институт экономики переходного периода. 2001. С. 167-173.
2. Коллектив авторов под редакцией Георгиевского В.Ю. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна верхней Волги. Ливны: Издательство Мухаметова Г.В. 2015. С. 60-61.

---

<sup>1</sup> Иванова Ю.В., обучающаяся, гр. ЭУмз-20-1 ИРНИТУ

<sup>2</sup> Карамов Д.Н., к.т.н., доцент кафедры ЭиЭ ИРНИТУ

Экспертиза статьи выполнена 01. 12. 2022 г., протокол № 19

УДК 519.246.8

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ ВЫБОРА ПЕРИОДА-АНАЛОГА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГНОЗА ПРИТОКА ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ ИРКУТСКОЙ ГЭС

Иванова Ю.В.<sup>1</sup>, Карамов Д.Н.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Водосборная площадь озера Байкал составляет около 580 тысяч квадратных километров. Это в 23 раза больше, чем площадь водосбора Куйбышевского водохранилища – самого крупного искусственно созданного водоёма в России, используемого для работы ГЭС [1]. Размеры бассейна Байкала значительно осложняют процесс прогноза притока воды к створу Иркутской ГЭС, что в свою очередь снижает эффективность планирования режимов работы данного гидроузла.

Колебания водности носят циклический характер и подчиняются определенным закономерностям [2]. Поэтому для повышения качества прогноза притока воды в условиях недостатка актуальной гидрологической информации могут быть использованы накопленные данные гидрометеорологических наблюдений. Одним из наиболее популярных методов прогнозирования является метод, основанный на выборе периода-аналога.

Выбор периода-аналога базируется на принципе подобия. В случае формирования долгосрочного прогноза притока наиболее часто этим периодом является гидрологический год. Из архивных данных выбираются приточности, наиболее близкие к текущему периоду [3]. За основу расчета

прогнозных величин притока для озера Байкал был взят ряд наблюдений  $y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_k)$  за период  $n$ :

$$y_n(t) = \{y(t_{k-p \cdot n}), y(t_{k-p \cdot n-1}), \dots, y(t_{k-p \cdot n-l+1})\} \quad (1)$$

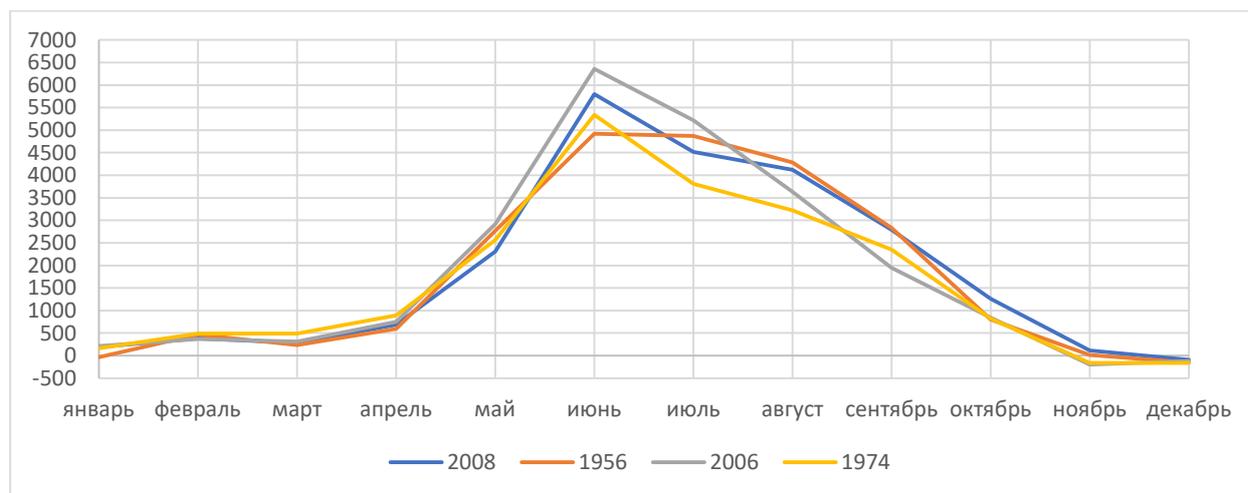
где  $n$  – номер фрагмента ряда наблюдений,  $p$  – период дискретности, равный 12 (количество месяцев в году);  $l$  – длина ряда наблюдений, взятого для выявления года-аналога.

Для того, чтобы найти год-аналог был произведен расчет расстояния Евклида между фрагментом ряда наблюдений, предшествующим прогнозируемому году и значениями предполагаемых лет-аналогов:

$$D_{y_0(t), y_n(t)} = \sqrt{\sum_{m=0}^{l-1} (y(t_{k-m}) - y(t_{k-p \cdot n-m}))^2} \quad (2)$$

В дальнейшем из результатов расчета были выбраны годы с наименьшим значением расстояния Евклида по отношению к прогнозируемому периоду.

Для проведения расчета прогнозных величин притока озера Байкал собран ряд наблюдений с 1933 года по 2017 год, состоящий из среднемесячных значений полезного притока воды. За прогнозируемый период был выбран 2008 год, т.к. он по показателям приточности является средневодным и не содержит в себе данные с аномальными значениями притока. На основе данных за период с 1933 по 2007 г. было выбрано три года-аналога. Результаты выбора отображены на рисунке 1. Для наглядности на нем же отображены фактические данные за 2008 год.



**Рисунок 1 – Выбор года аналога для 2008 года**

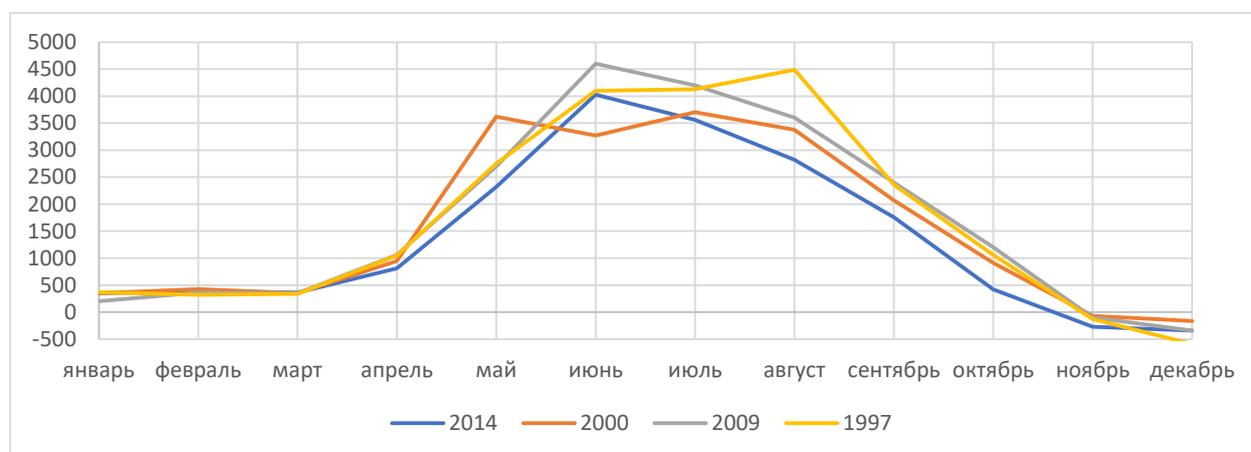
На следующем этапе была произведена оценка оправдываемости прогноза притока воды на основе выбора года-аналога [2]. Результаты для трех выбранных лет сведены в таблицу 1.

**Таблица 1**

**Характеристика качества прогноза на 2008 год**

Год	Средняя относительная ошибка прогноза	Среднеквадратическая ошибка прогноза	Процент оправдываемости прогноза
	$\xi_{п}$	$\sigma_{п}$	%
2006	0,26	447,2	61,42
1956	0,21	345,3	68,85
1974	0,27	423,3	59,95

Для оценки возможности применения рассматриваемого метода при уровнях водности, отличных от средних, дополнительно произведены расчеты для 2014 года. По данным Иркутского гидрометцентра именно с 2014 года на Байкале начался затяжной период маловодья [4]. С помощью меры расстояния Евклида также было выбрано несколько лет-аналогов. Результаты выбора представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Выбор года аналога для 2014 года**

По аналогии с прогнозом на 2008 год произведен анализ полученных результатов. Итог этого анализа представлен ниже в таблице 2.

Таблица 2

## Характеристика качества прогноза на 2014 год

Год	Средняя относительная ошибка прогноза	Среднеквадратическая ошибка прогноза	Процент оправданности прогноза
	$\xi_{п}$	$\sigma_{п}$	%
2000	0,17	258,7	72,11
2009	0,27	467,3	60,51
1997	0,18	592,9	66,53

По результатам оценки качества прогноза на 2014 год оправданность составила около 72%, для 2008 года – 69%. Это показывает, что представленная система прогнозирования может применяться для оз.Байкал как дополнительное средство улучшения качества планирования режимов работы Иркутской ГЭС. Безусловно, данный метод прогноза не лишен недостатков. Минимизировать их проявление возможно путем дополнения представленного алгоритма адаптивными методами, учитывающими аномальные (случайные) отклонения притока.

## Библиографический список

1. Вода России – Байкал [Электронный ресурс] Научно-популярная энциклопедия «Вода России». URL: [https://www.water-f.ru/Водные\\_объекты/5/Байкал](https://www.water-f.ru/Водные_объекты/5/Байкал) (дата обращения 20.12.2021)
2. Богатырев А.А. Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 1 / Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. С. 108-116.
3. Губарев В.В., Альсова О.К. Прогнозирование временных рядов в гидрологических задачах на основе вариативного моделирования. Новосибирск: Автометрия. 2006. Вып. 42. № 6. С.26-44.
4. Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс] ФГБУ Иркутское УГМС. URL: <https://www.irmeteo.ru/index.php?id=400> (дата обращения 28.12.2021)

<sup>1</sup> Иванова Ю.В., обучающаяся, гр. ЭУмз-20-1 ИРНТУ

<sup>2</sup> Карамов Д.Н., к.т.н., доцент кафедры ЭиЭ ИРНТУ

Экспертиза статьи выполнена 01. 12. 2022 г., протокол № 19

## ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОСТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИТОКА ВОДЫ К СТОРУ ИРКУТСКОЙ ГЭС

Иванова Ю.В.<sup>1</sup>, Карамов Д.Н.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Иркутское водохранилище – это уникальный природно-технический комплекс, требующий особого, бережного отношения к использованию водных ресурсов. Одним из условий удовлетворения этого требования является эффективное планирование режима работы Иркутской ГЭС.

Основой планирования водно-энергетического режима является прогноз притока воды к створу гидроэлектростанции. Основную часть водохранилища Иркутской ГЭС составляет озеро Байкал. Гидрологическое наблюдение за его притоками является сложнейшей задачей как с технической, так и с экономической точки зрения. Это значительно усложняет процесс прогнозирования притока воды к створу Иркутской ГЭС. Целью данной работы является рассмотрение существующей системы прогноза притока и оценка её эффективности.

На сегодняшний день источником официального прогноза притока воды к створу ГЭС является Росгидромет. Результатом деятельности данной организации является несколько различных продуктов: прогнозы на долгосрочный период времени (от 30 суток) и краткосрочные гидрологические прогнозы. Одним из важных условий эффективной, успешной и безопасной работы гидроэлектростанции является точность долгосрочного планирования режимов. Особенно наглядно это прослеживается в период половодья. Поэтому для оценки существующей системы прогноза притока были взяты прогнозные и фактические данные прошлых лет, приходящиеся на 2-й квартал [1]. В таблицу 1 сведена официальная гидрологическая информация за II квартал 2016 – 2021 гг.

*Таблица 1*

**Информация о величинах притока воды в озеро Байкал**

Период	Факт. приток, км <sup>3</sup>	Нижняя граница прогноза, км <sup>3</sup>	Отклонение от факта, %	Верхняя граница прогноза, км <sup>3</sup>	Отклонение от факта, %	Разница отклонений, % (4)-(6)
1	2	3	4	5	6	7
II кв. 2016 г.	19,72	18,10	92	22,80	116	24
II кв. 2017 г.	19,40	18,10	93	22,80	118	24

**Продолжение таблицы 1**

Период	Факт. приток, км <sup>3</sup>	Нижняя граница прогноза, км <sup>3</sup>	Отклонение от факта, %	Верхняя граница прогноза, км <sup>3</sup>	Отклонение от факта, %	Разница отклонений, % (4)-(6)
1	2	3	4	5	6	7
II кв. 2018 г.	23,51	19,60	83	24,40	104	20
II кв. 2019 г.	21,60	18,10	84	22,80	106	22
II кв. 2020 г.	20,12	18,90	94	23,60	117	23
II кв. 2021 г.	25,70	25,70	100	30,68	119	19
Ср. знач.	21,68	19,75	91	24,51	113	22

Из таблицы 1 видно, что среднее значение разницы отклонений относительно фактических величин притока (далее – диапазон прогноза) составляет 22%, что соответствует 2019 году. По этой причине основу дальнейших расчетов составят данные за II квартал 2019 года.

Далее было выяснено какое влияние на планирование режима работы Иркутской ГЭС оказывает диапазон прогноза величиной 22%. Для этого были произведены водно-энергетические расчеты [2], результаты которых представлены в таблице 2. Отметки водохранилища на начало и конец периода соответствуют фактическим данным за 2 квартал 2019 г. [3]. Технические характеристики ГЭС взяты из действующих на сегодняшний день правил использования водных ресурсов Иркутского водохранилища [4].

**Таблица 2**

**Водно-энергетический расчет режимов работы Иркутской ГЭС**

Приток		Q <sub>фильтр</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>ГА</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>хс</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>н/б</sub> , м <sup>3</sup> /с	Полезный объем водохранилища, V км <sup>3</sup>		
V <sub>пр</sub> , км <sup>3</sup>	Q <sub>пр</sub> , м <sup>3</sup> /с					V <sub>на начало</sub>	ΔV	V <sub>на конец</sub>
18,1	2302	1	1100	0	1101	39,4	-9,4	48,8
22,8	2900	1	1695	0	1696	39,4	-9,5	48,8

**Продолжение таблицы 2**

Отметка водохранилища Z, м			Z <sub>нб</sub> , м	Напор, м		N <sub>ГЭС</sub> , МВт	Э <sub>за II кв</sub> , кВт·ч	Кол-во ГА в работе n, шт
Z <sub>нач</sub>	Z <sub>кон</sub>	Z <sub>ср</sub>		N <sub>брутто</sub>	N <sub>нетто</sub>			
456,25	456,55	456,40	425,08	31,32	30,82	299,32	653,72	4
456,25	456,55	456,40	426,05	30,35	29,85	446,71	975,61	6

Из таблицы видно, что при оправданности прогноза притока на уровне нижней границы (18,1 км<sup>3</sup>) на Иркутской ГЭС будет работать 4 ГА. При оправданности верхней границы прогноза (22,8 км<sup>3</sup>) - 6 ГА.

При планировании режима работы ГЭС такая разница в количестве работающих гидроагрегатов является существенной. Период половодья в наших широтах совпадает с началом периода проведения ремонтов энергетического оборудования. Это связано с уменьшением потребления в энергосистеме и увеличением на электростанциях холодного резерва мощности. Отсутствие более точного долгосрочного прогноза притока к створу Иркутского гидроузла может повлечь за собой снижение качества формирования ремонтной программы. Это в дальнейшем может привести к отмене части запланированных ремонтов основного энергетического оборудования, что в свою очередь может вызвать дополнительные финансовые затраты, увеличить износ оборудования и риск возникновения аварий. Эта проблема особенно остро проявляется с наступлением многоводных лет, когда необходимо обеспечивать плановое обслуживание и ремонт основного оборудования станции в условиях пропуска высоких расходов через гидроузел для выполнения требований ПИВР озера Байкал.

На основании расчетов, приведенных в таблице 2, можно утверждать, что для улучшения технико-экономических показателей работы Иркутской ГЭС необходимо стремиться к уменьшению диапазона прогноза притока. Для реализации этого улучшения существующая система прогнозирования должна быть усовершенствована и дополнена другими методами формирования прогноза притока воды в озеро Байкал.

### Библиографический список

1. Департамент Росгидромета по СФО [Электронный ресурс] Росгидромет – Федеральная служба. URL: <https://www.meteorf.ru/press/news/13552/> (Дата обращения 17.01.2022)
2. Секретарёв Ю.А., Жданович А.А., Затева Е.Ю., Митрофанов С.В. Использование водной энергии: учебное пособие в задачах и упражнениях. В 2 ч. Ч. 1. Водно-энергетические расчёты режимов ГЭС. Саяногорск, Черёмушки: Издательство СФУ. 2014. С. 32-46.
3. Енисейское БВУ. Водохозяйственная обстановка [Электронный ресурс] Росводресурсы. URL: [http://enbv.ru/i03\\_deyatelnost/i03.07\\_vdho.php](http://enbv.ru/i03_deyatelnost/i03.07_vdho.php) (Дата обращения 22.01.2022)
4. Правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС [Электронный ресурс] Росводресурсы. URL: <http://pivr.enbv.ru/> (Дата обращения 22.01.2022)

<sup>1</sup> Иванова Ю.В., обучающаяся, гр. ЭУмз-20-1 ИРНИТУ

<sup>2</sup> Карамов Д.Н., к.т.н., доцент кафедры ЭиЭ ИРНИТУ

Экспертиза статьи выполнена 01. 12. 2022 г., протокол № 19

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

Галков А.А.<sup>1</sup>, Худоногов И.А.<sup>2</sup>

*Иркутский государственный университет путей сообщения*

Одним из перспективных направлений повышения эффективности функционирования силовых масляных трансформаторов, установленных на тяговых подстанциях, является совершенствование системы их технического обслуживания и ремонта. В настоящее время имеет место разделение эксплуатационных и ремонтных подразделений. Снижение объемов и стоимости технического обслуживания силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций (СМТ ТП), уменьшение численности обслуживающего и ремонтного персонала осуществляется переходом от предупредительного принципа и жесткой регламентации ремонтного цикла и периодичности проведения ремонтов к обслуживанию на основе нормативов планово–предупредительных ремонтов (от обслуживания «по регламенту» к обслуживанию «по состоянию»). Разработке концепции эксплуатации электротехнического оборудования по техническому состоянию путем более глубокого подхода назначению периодичности и объемов технических обслуживаний и ремонтов по результатам диагностических обследований и мониторинга ЭО уделяется большое внимание [1].

Дальнейшее развитие и совершенствование системы должно осуществляться на основе научных исследований о надежности силовых трансформаторов с применением современных форм и методов планирования и организации эксплуатации.

Все технические характеристики и номинальные параметры трансформатора устанавливают его возможности, которые могут быть реализованы лишь в определенных условиях эксплуатации. Способность сохранять свои первоначальные технические характеристики в течение регламентированного срока эксплуатации определяется надежностью трансформатора. Надежность – это комплексное или интегральное свойство объекта, которое характеризуется безотказностью, ремонтпригодностью, долговечностью и сохраняемостью. Таким образом, трансформатор может считаться надежным, если он обладает этими четырьмя свойствами.

Как показывают исследования [1,2], в результате изменения погодно-климатических факторов могут происходить изменения в изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций, следовательно, изменение фактических сроков их

эксплуатации от нормативных сроков, согласно ГОСТ. Наибольшее значение среди всех климатических факторов, влияющих на эксплуатацию силовых трансформаторов тяговых подстанций, увлажнение их изоляции, имеют количество выпавших осадков, перепады температуры за период работ, в сутки перепады температуры в осенне-зимний и зимне-весенний периоды могут составлять от минус 35 до плюс 15 °С (до 50 °С) [1,2].

Поэтому негативные условия эксплуатации реализуются при резких перепадах температуры воздуха, при переходе значений температуры через 0 °С, при низких и высоких температурах, длительном их воздействии, при выпадении осадков в виде дождей и снега, при грозовых явлениях и др.

Для оценки влияния климатических факторов на техническое состояние объекта исследования Осяев А.Т. предлагает использовать два показателя, учитывающие воздействие климатических факторов региона эксплуатации (температуру окружающей среды, ее перепады, скорость ветра, туман и метель, пыльные бури), значения которых определяются в баллах «технической жесткости»:  $N_{тж}$  – «техническая жесткость» холодного климата,  $S_{тж}$  – «техническая жесткость» жаркого сухого климата [3].

Территория Российской Федерации расположена в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом и ее разделение на климатические зоны и климатические условия эксплуатации в этих зонах определены ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70. Для технических целей осуществлено районирование территории страны с использованием среднемесячной температуры и относительной влажности воздуха на пять зон «технической жесткости» климата (зоны климатической адаптивности) (табл.1).

*Таблица 1*

***Зоны климатической адаптивности***

Характеристика климата	Влияние климата («техническая жесткость»)	
	холодного $N_{тж}$	жаркого $S_{тж}$
Маложесткий (М)	0 - 30	0 - 15
Умеренно жесткий (УЖ)	31 - 60	16 - 25
Жесткий (Ж)	61 - 90	26 - 35
Очень жесткий	91 - 120	36 - 45
Наиболее жесткий	121 - 170	46 - 60

Однако данных показателей недостаточно для сравнения климатических особенностей в разных условиях эксплуатации силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций. В исследованиях [4] предлагается ввести коэффициент благоприятности климата (табл. 2).



Установленные баллы влияния климата Красноярского края на техническое состояние объекта исследования находятся в пределах 2 – 97, выделены зоны климатической адаптивности технического объекта исследования на территории края.

Для того чтобы перейти от системы обслуживания по «регламентным графикам» к альтернативной системе обслуживания по реальному техническому состоянию, необходимо иметь комплекс методов и средств для объективной оценки изоляции СМТ ТП. Несмотря на имеющуюся в этой области обширную литературу таких ученых, как В.Г. Аракелян, В.П. Вдовико, А.Г. Овсянников, Ю.Н. Львов, М.Ю. Львов, А.В. Крюков, В.Д. Бардушко, Б.А. Алексеев, В.Б. Комаров и многих других, до сих пор отсутствует систематическое рассмотрение основных физических явлений, происходящих в процессе перегрева, переувлажнения и переохлаждения в изоляционной системе силовых маслонаполненных трансформаторов.

### **Библиографический список**

1. Пузина Е.Ю., Туйгунова А.Г., Худоногов И.А. Системы мониторинга силовых трансформаторов тяговых подстанций. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2020. 184 с.
2. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Анализ времени наработки до отказа измерительных трансформаторов // Транспорт-2010. Ч. 2. 2010. С. 307-309.
3. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Регрессионный анализ повреждаемости измерительных трансформаторов // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Иркутск, 2010. С. 421- 423.
4. Алексеенко В.А., Пузина Е.Ю. Анализ повреждений измерительных трансформаторов на тяговых подстанциях ВСЖД//Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск. Т. 2. 2009. С. 4-9.
5. Худоногов И.А., Иванов В.Н, Смирнов В.П. Восстановление изоляционных свойств обмоток тягового электродвигателя // Вестник иркутского государственного технического университета. – 2006. – № 4-1(28). – С. 60-62.

---

<sup>1</sup> Галков А.А., студент группы СОД-1-19-1 ИрГУПС

<sup>2</sup> Худоногов И.А., профессор каф. ЭТ ИрГУПС

Экспертиза статьи выполнена 29.11.2022 г., протокол № 18

## **ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ СИЛОВЫХ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

Худоногов И.А.<sup>1</sup>

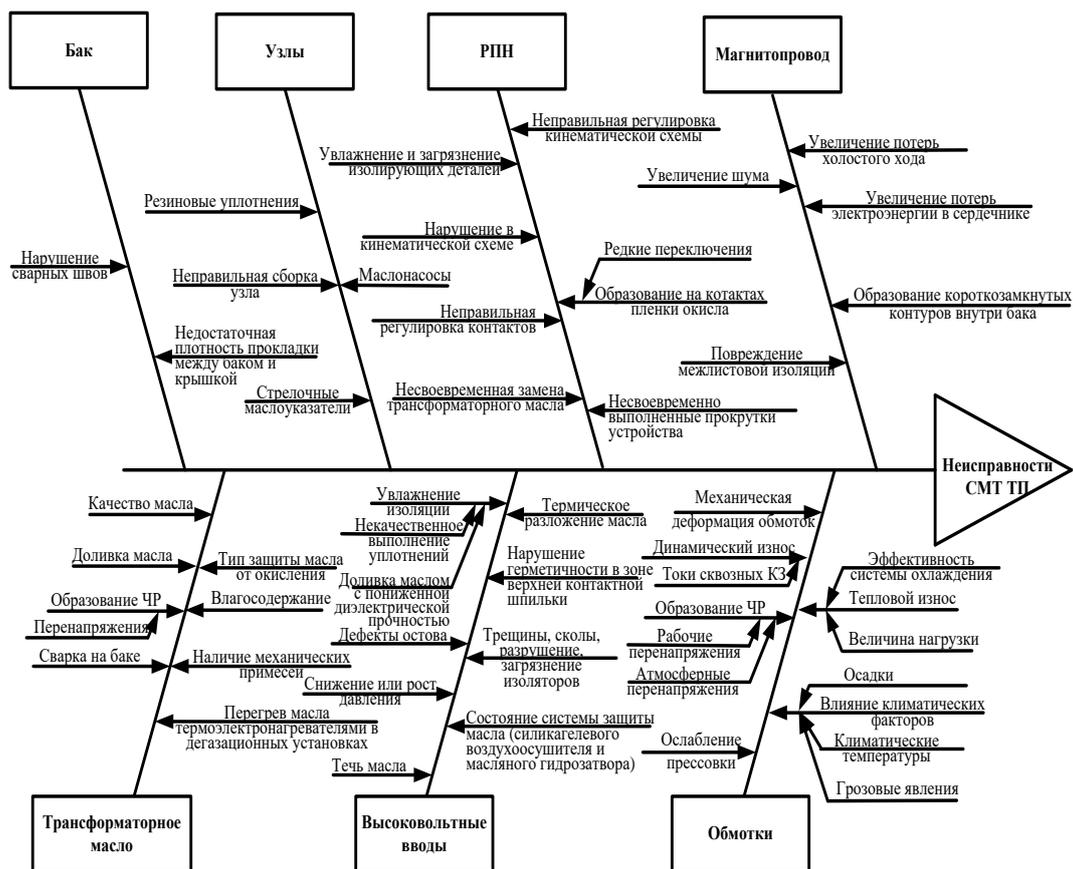
*Иркутский государственный университет путей сообщения*

Требования к надежности силового трансформатора в большой мере зависят от степени его влияния на работу конкретной электростанции или электрической сети, энергосистемы в целом [1].

Повреждения силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций (СМТ ТП) классифицируются по узлам и системам трансформатора: повреждения магнитопровода, обмоток, устройств регулирования напряжения под нагрузкой (РПН), высоковольтных вводов, вспомогательных узлов и устройств (неисправности стрелочного маслоуказателя, резиновых уплотнений, в маслонасосах), ухудшение свойств трансформаторного масла и др. [2]. Классификация неисправностей СМТ ТП по узлам и системам представлена на диаграмме Исикавы (рисунок 1).

Наиболее распространенным видом повреждения силовых трансформаторов тяговых подстанций напряжением 110, 220 кВ является повреждение высоковольтных вводов: течь масла между фланцем ввода с резиновой прокладкой и крышкой в армировке или в местах выхода стержня, загрязнение изоляторов, некачественная армировка и уплотнение, срыв резьбы их стержней при неправильном навинчивании и затягивании гайки, трещины, сколы и разрушения изоляторов в результате атмосферных перенапряжений.

Другим распространенным видом повреждения трансформаторов является повреждение устройств регулирования напряжения под нагрузкой. Нарушения в контактной системе избирателя могут возникать от неправильной регулировки контактов (недостаточное или чрезмерное нажатие, перекосы и др.), вследствие образования на контактах пленки окисла при редких переключениях и несвоевременно выполненных прокрутках устройства, при нарушениях в кинематической схеме, загрязнение и увлажнение изолирующих деталей, а так же изготовление этих деталей из материалов, не предусмотренных технической документацией, ослабление креплений, а также вследствие несвоевременной замены трансформаторного масла.



**Рисунок 1 - Классификация неисправностей СМТ ТП по узлам и системам**

Нередки отказы вследствие нарушений в работе приводов, разбухание слабо намотанной изоляции, нарушения в работе системы охлаждения, чрезмерные перегрузки трансформатора по току и напряжению и др.

Повреждения в активной стали силового трансформатора связаны, как правило, с образованием короткозамкнутых контуров внутри бака. Контур может образоваться как внутри пакета магнитопровода, так и через конструктивную металлическую деталь, например, через элементы заземления сердечника или прессующее кольцо.

Существенное влияние на общую работоспособность трансформатора оказывают вспомогательные узлы и устройства. При нарушении резиновых и других уплотнений увлажняется трансформаторное масло. Неисправность стрелочного маслоуказателя приводит к недопустимому снижению или превышению уровня масла. Повреждение маслососа приводит к попаданию металлических частиц и других примесей в трансформаторное масло, что может привести к аварии.

Повреждения трансформаторов могут быть вызваны естественными факторами: рабочими токами, токами короткого замыкания, рабочими напряжениями, воздействиями окружающей среды, в том числе атмосферными перенапряжениями, технологическим фактором – повреждения, обусловленные наличием скрытых дефектов при изготовлении, недостатками

при сборке и монтаже трансформатора, недоработкой конструкции и развивающиеся под действием внутренних и внешних факторов (рисунок 2).

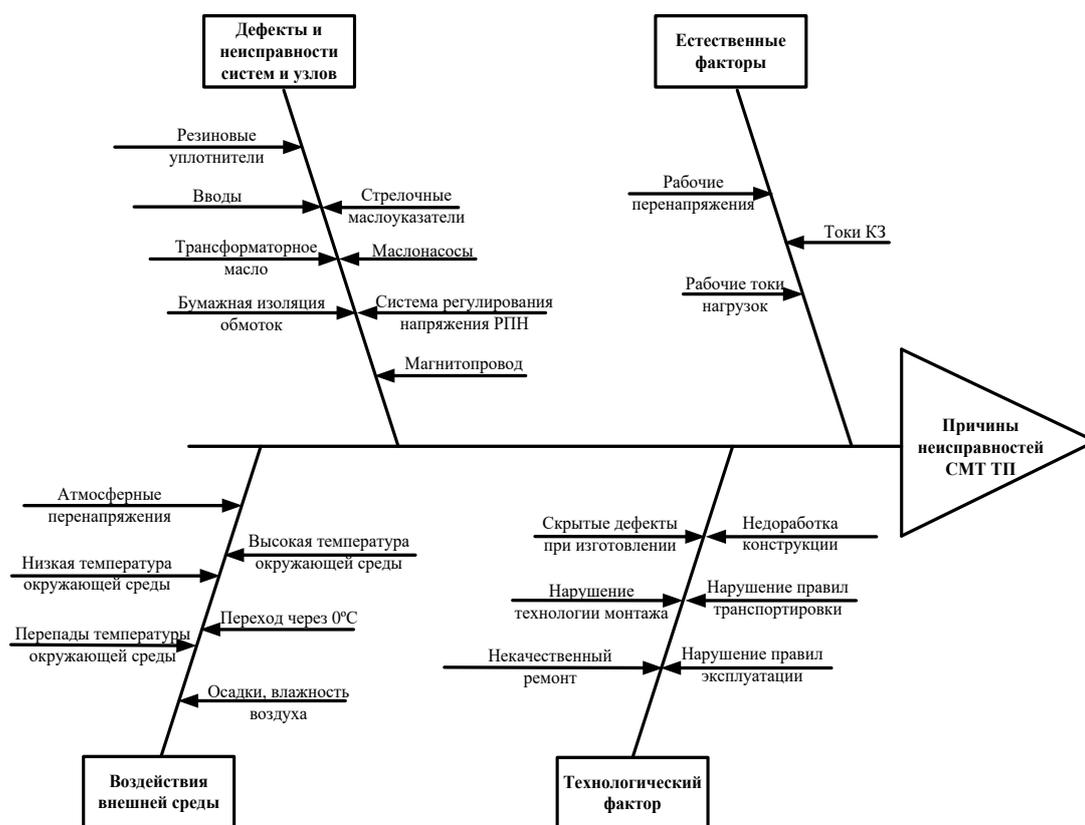


Рисунок 2 - Диаграмма Исикавы причин неисправностей СМТ ТП

Величина срока службы, равная 25 годам, установлена в соответствии с [3] в связи с тем, что за этот период может произойти тепловой износ витковой бумажной изоляции обмоток. Значительное влияние на нее оказывают величина нагрузки трансформатора, эффективность системы охлаждения трансформатора, качество масла, тип защиты масла от окисления, наличие термосифонных фильтров, особенности конструкции, качество самой изоляции, климатические условия работы СМТ ТП [4]. Согласно [3, 4] «...нормальный срок службы – это некоторая условная величина, принимаемая для непрерывной постоянной нагрузки при нормальной температуре охлаждающей среды и номинальных условиях эксплуатации. Нагрузка и (или) температура охлаждающей среды, превышающие нормальную, вызывают ускоренный износ и заключают в себе некоторую степень риска.»

При нормальном режиме работы силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций процессы старения изоляции обмоток протекают достаточно медленно. При появлении дефектов и неисправностей в трансформаторе процесс старения изоляции может быть значительно ускорен.

Исследования [4] показывают, что на ресурс СМТ ТП значительное влияние оказывают режим нагрузок, климатические условия региона экс-

плуатации, качество выполнения ремонтных работ, квалификация исполнителей.

Среди причин повреждения изоляции силовых трансформаторов тяговых подстанций немалую долю занимает увлажнение [1]. Оно не только снижает электрическую прочность в первую очередь, жидкой изоляции, но и сильно ускоряет процесс старения. На ухудшение электрических свойств изоляции в условиях эксплуатации существенное влияние могут оказывать следующие факторы внешней среды: низкие и высокие температуры атмосферного воздуха, перепады температуры, осадки, атмосферные перенапряжения, переход значений температуры через 0 С (рисунок 3).

Высокая температура охлаждающей среды может привести к повышенному нагреву, в первую очередь, жидкой изоляции – трансформаторного масла, а согласно теории тепломассопереноса – и к нагреву бумажной изоляции обмоток [3].

Причины увлажнения изоляции: осадки, значительные перепады температуры и переход температуры окружающей среды через 0 °С; несовершенство конструкции трансформатора (системы охлаждения, вентиляции) или изменение свойств резиновых уплотнителей в конструкции трансформатора. Процесс увлажнения изоляции зависит от динамики влагообмена в среде «масло-бумажная изоляция» [5].

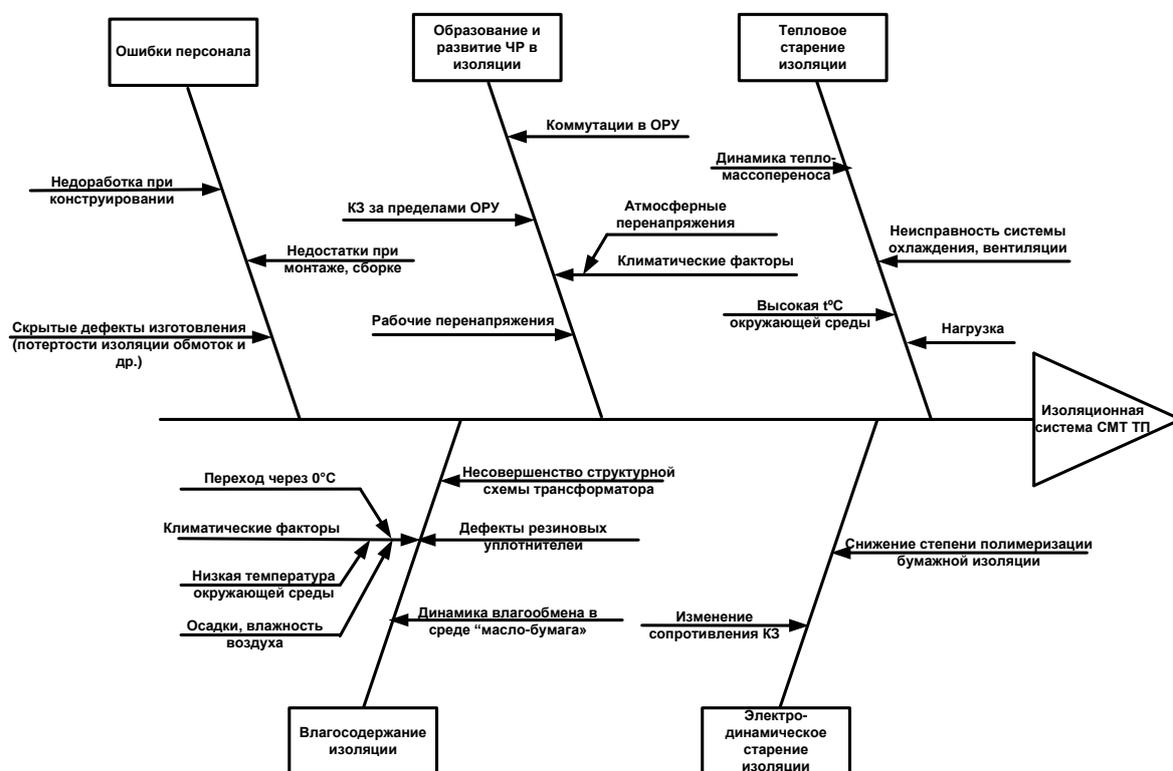


Рисунок 3 - Виды повреждений изоляционной системы СМТ ТП

Повреждаемость силового масляного трансформатора существенно зависит от срока эксплуатации. Повышенная повреждаемость отмечается в первые 5-10 лет эксплуатации. В этот период проявляются дефекты изго-

товления оборудования. В течение следующих 10-15 лет отмечается некоторая стабильность работы трансформатора, что обусловлено небольшой интенсивностью процессов его старения. Повреждаемость трансформаторов начинает возрастать при их эксплуатации более 25-30 лет, что связано с ускорением процесса их старения сверх нормативного срока службы.

### **Библиографический список**

1. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Анализ времени наработки до отказа измерительных трансформаторов // Транспорт-2010. Ч. 2. 2010. С. 307-309.
2. Алексеенко В.А., Пузина Е.Ю. Анализ повреждений измерительных трансформаторов на тяговых подстанциях ВСЖД//Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск. Т. 2. 2009. С. 4-9.
3. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Регрессионный анализ повреждаемости измерительных трансформаторов // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Иркутск, 2010. С. 421-423.
4. Пузина Е.Ю., Туйгунова А.Г., Худоногов И.А. Системы мониторинга силовых трансформаторов тяговых подстанций. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2020. 184 с.
5. Худоногов И.А., Иванов В.Н, Смирнов В.П. Восстановление изоляционных свойств обмоток тягового электродвигателя // Вестник иркутского государственного технического университета. – 2006. – № 4-1(28). – С. 60-62.

---

<sup>1</sup> Худоногов И.А., профессор каф. ЭТ ИрГУПС

Экспертиза статьи выполнена 29.11.2022 г., протокол № 18

УДК 621.331

## **РАЗРАБОТКА СПОСОБА ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПУТЕМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРОВ ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ**

Степанов А.Д.<sup>1</sup>

*Иркутский государственный университет путей сообщения*

Железнодорожный транспорт с каждым годом укрепляет свои позиции в транспортной системе страны. Железные дороги связывают большое количество регионов нашей страны, объединяя их в единую транспортную систему. По грузообороту среди видов транспорта перевозка грузов железными дорогами занимает второе место и составляет примерно 43%.

На сегодняшний день на Восточном полигоне сети железных дорог происходит интенсивное увеличение объемов грузоперевозок [1]. С каждым годом увеличивается значение транспортной системы Восточной Сибири, а именно, Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД) отведена

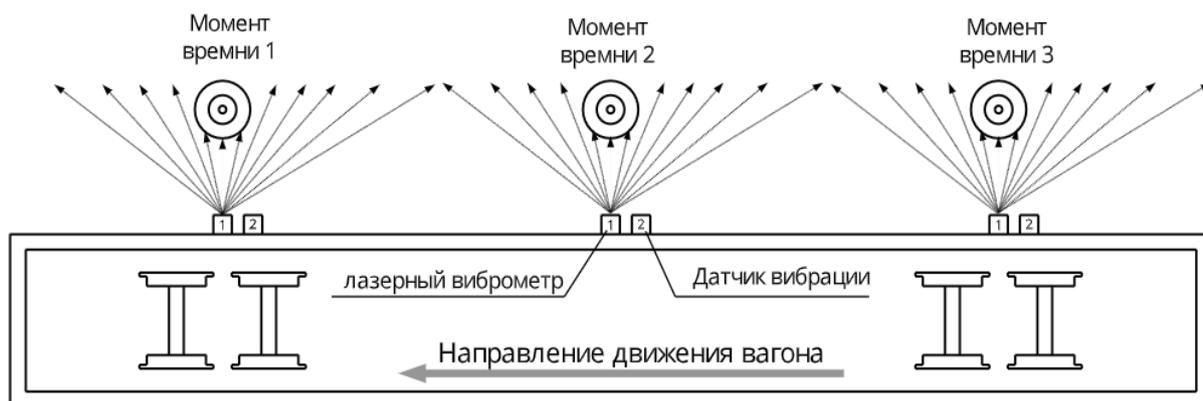
решающая роль в перевозке грузов. Магистраль напрямую обеспечивает транзит грузов в порты дальнего Востока, а также принимает участие в грузообороте с Китаем и Монголией.

Увеличение объемов перевозок и стремительно растущий грузопоток приводят к увеличению нагрузок на все звенья системы тягового электро-снабжения, требуя от них надежной и безопасной работы [2]. Поскольку оборудование тяговых подстанций и узлы контактной сети (КС) на многих электрифицированных участках ВСЖД имеют к настоящему времени продолжительный срок эксплуатации и, соответственно, значительный износ [4-6], то существует острая необходимость в своевременном выявлении развивающихся дефектов в этих устройствах [6-8].

Железнодорожные опоры являются наиболее ответственными устройствами на КС. От их состояния во многом зависит безопасность и бесперебойность движения поездов. Выход из строя даже одной опоры может привести к длительным перерывам в движении поездов или даже к серьезной аварии. В настоящее время на электрифицированных железных дорогах Российской Федерации эксплуатируют более 10 миллионов опор.

В настоящее время известно множество методов диагностики металлических конструкций. Применяемые методы диагностирования опор КС и жестких поперечин не обеспечивают высокий уровень безопасности и надежности. Кроме того, анализ этих методов показал, что большинство из них не может быть использовано для диагностики несущей способности опор и оценки их остаточного ресурса. Исключение составляет один из методов, требующий минимального контакта с опорой, или вообще не требующий непосредственного контакта с конструкцией, который основан на анализе собственных колебаний конструкций и известен как вибрационный метод [9-11].

Предлагается для уменьшения трудоемкости вибрационного метода диагностирования железобетонных опор использовать корпус вагона-лаборатории контактной сети в качестве носителя датчиков измерения и корректировки. Лазерные датчики на его поверхности и акселерометры позволят измерить колебания опор и убрать возможную погрешность измерений соответственно. Предлагаемая в данной работе схема расположения датчиков регистрации колебаний опор на вагоне-лаборатории КС показана на рис. 1.



**Рисунок 1 - Схема установки датчиков вибрации и лазерных виброметров на кузов вагона-лаборатории, вид сверху**

Предлагаемый метод диагностирования состояния опорного хозяйства превосходит по скорости существующие методики минимум в десятки раз и объемнее по информации и, если его проводить на регулярной основе 3-4 раза в год, то это даст качественный анализ колебания в ретроспективе всех опор и наглядную картину изменения состояния поддерживающих устройств по сезонам года. Если данный процесс автоматизировать при помощи программного обеспечения, то сводный анализ, дефектировку опор КС и рекомендации по устранению их дефектов можно будет получать в автоматическом режиме. Это снизит рутинность работы по диагностике опор КС и ускорит получение результатов. Опираясь на полученные результаты, можно будет строить прогнозы по состоянию опорного хозяйства в целом и обновлять устройства не по регламенту, а по состоянию.

Таким образом, применение предложенного нового способа диагностирования состояния опор контактной сети и жестких поперечин электрифицированного транспорта в процессе ее эксплуатации приведет к снижению эксплуатационных расходов, повышению надежности работы системы тягового электроснабжения и повышению безопасности перевозочного процесса в целом.

### **Библиографический список**

1. Пузина Е.Ю., Перелыгин В.М. Усиление системы тягового электроснабжения участка Якурим-Звездная ВСЖД. Транспорт-2013: труды международной научно-практической конференции. 2013. - С. 176-178.
2. Лундалин А.А., Пузина Е.Ю., Худоногов И.А. Направления развития релейной защиты и автоматики в Российских электрических сетях. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 2 (62). - С.77-85.
3. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Анализ времени наработки до отказа измерительных трансформаторов // Транспорт-2010. Ч. 2. 2010. С. 307-309.

4. Алексеенко В.А., Пузина Е.Ю. Анализ повреждений измерительных трансформаторов на тяговых подстанциях ВСЖД//Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск. Т. 2. 2009. С. 4-9.
  5. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Регрессионный анализ повреждаемости измерительных трансформаторов // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Иркутск, 2010. С. 421-423.
  6. Ли В.Н. Организация контроля состояния опорного хозяйства системы тягового электроснабжения /В.Н. Ли, Электроэнергетические комплексы и системы: история, опыт, перспектива: сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной электроснабжения» и 100-летию плана ГОЭЛРО. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2020 – С. 36-41.
  7. Бурнышева Т.В. Методика оценки технического состояния опор воздушных линий электропередачи с учетом типовых эксплуатационных дефектов / Т.В. Бурнышева, А.Н. Кожевников // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2021 – № 2 (110). – С. 2-13.
  8. Пузина Е.Ю., Туйгунова А.Г., Худоногов И.А. Системы мониторинга силовых трансформаторов тяговых подстанций. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2020. 184 с.
  9. Павлов В.П. Анализ спектра частот собственных колебаний стержня методом сплайнов / В.П. Павлов // Вестник УГАТУ. – 2016 – № 4 (74). – С. 16-22.
  10. Акуленко Л.Д. Исследование влияния дефектов на спектры собственных частот и формы колебаний стержней / Л.Д. Акуленко, С.В. Нестеров // Вестник ННГУ. – 2011 – № 4-2. – С. 32-33.
  11. Белоусов М.Г. Экспериментальные исследования спектра собственных и частот колебаний лопаток авиадвигателя / М.Г. Белоусов, О.Ф. Машонин // Научный вестник МГТУ ГА. – 2018 – № 4 – С. 60-72.
- Степанов А.Д., доцент каф. каф. Электроэнергетика транспорта ИРГУПС  
 Экспертиза статьи выполнена 07.12.2022 г., протокол № 21

УДК 338.012

## **ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

Клепикова Т.В.<sup>1</sup>, Попыловский П.Э.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Энергетическая основа автоматизации производственных процессов зависит от степени развития автоматизированного электропривода. Современный электропривод широко используется в промышленной индустрии во всех областях мировой экономики.

Внедрение новых инновационных технологий, способствующих энергосбережению сокращению загрязнению окружающей среды, привело к тому, что системы управления электроприводом стали более экологичными, функциональными, надежными универсальными. Современный электропривод создается для управления различными электрическими системами.

Современная индустрия связана с разработкой и использованием все большего количества различных автоматизированных процессов. Электропривод используется при внедрении технологических процессов на основе преобразования и движения механической энергии[1]. Согласно анализу промышленной индустрии и развития автоматизированных систем управления XXI века наиболее востребованным является регулируемый электрический привод, применяемый во всех сферах жизнедеятельности.

Автоматизированный электрический привод является основным потребителем электрической энергии и развивается в двух направлениях:

- Одно из основных направлений электротехнической промышленности;
- Раздел электротехнической науки.

Использование новейших экологических материалов, инновационных технологий, компьютеризации и автоматизации большинства технологических процессов позволяет выделить особенности, связанные с расширением потребностей внедрения все более качественных моделей регулируемого электропривода:

- Рост частотно-регулируемых электроприводов переменного тока для создания новейших тиристорных и транзисторных преобразователей частоты в регулируемых электроприводах на основе асинхронных двигателей взамен двигателей постоянного тока.
- Разработка электроприводов с повышенными требованиями к динамическим и статическим показателям, расширением и усложнением функций электроприводов по управлению технологическими установками и процессами с использованием микропроцессорных контроллеров.
- Унификация элементной базы для проектирования комплексных электроприводов на основе инновационной микроэлектроники и использования блочно-модульного принципа.
- Автоматизированный электропривод широко внедряется при реализации энергосберегающих технологий управления производственными процессами.
- Переход на использование безредукторных электроприводов для упрощения кинематических цепей машин и механизмов посредством создания и совершенствования систем регулируемого электропривода[2].

Современный электрический привод представляет собой совокупность электрических машин аппаратов выполняемых из инновационных материалов, и систем управления, входящих в комплекс систем электроприводов. Электрический привод потребляет до 60% производимой электрической энергии и считается основным источником механической энергии в индустрии России [3].

Основным путем сбережения энергии систем электропривода является все большее использование регулируемого электропривода вместо нерегулируемого. Над усовершенствованием регулируемого электропривода работают как ученые, так и практики-исследователи. Особое внимание уделяется современным эффективным электродвигателям, применению инверторов для внедрения двигателей переменного тока вместо двигателей постоянного тока[4].

До сих пор около 80% энергии, используемой электроприводами, приходилось на электродвигатели среднего стандарта, имеющими крупногабаритные размеры, что вело к излишнему потреблению энергии. Стоимость электроэнергии, используемой двигателями в течение эксплуатационного срока службы составляет 97% от общих эксплуатационных расходов. Следовательно, для уменьшения потребляемой энергии и повышения эффективности необходимо использовать новые технологические методы и экологические материалы, По статистическим данным на мировую промышленную индустрию приходится более одной трети всей потребляемой электроэнергии, в том числе около 70% из этой электроэнергии приходится на электродвигатели. Разработка энергосберегающих двигателей приводит к тому, что купив новый электропривод, можно сэкономить до 30% расходов в течение эксплуатационного срока. Рост энергоэффективности является главным направлением реализации Парижского климатического соглашения 2015 года. 196 стран подтвердили стремление по сокращению выбросов и и замедлению глобального потепления.

Использование современных инверторов (частотных преобразователей) и высокоэффективных двигателей, созданных по инновационным технологиям, дают около 30% экономии энергии в промышленных установках. В промышленных приложениях, таких как насосы, компрессоры, выбираются системы, учитывающие взаимодействия с синергическими эффектами и оптимальной гармонизацией. В настоящее время широко внедряются интеллектуальные датчики, с помощью которых анализируется подключение электродвигателя. Высокотехнологичные инверторы имеют функцию прямой оценки и передачи определенных параметров системы. Согласно исследованиям на производстве, до 10% электроэнергии экономится при применении интеллектуальных датчиков и приложения, анализирующего данные сложных процессов[5]. Ключевую роль в сокращении энергопотребления играют высокоэнергетические электро-

двигатели, используемые в системах электроприводов. Тенденции развития индустриально развитых стран ведут к увеличению спроса на приводные системы, которые работают на основе электродвигателей. Электродвигатели появились в нашей жизни 150 лет назад, и с течением времени они постоянно совершенствуются. В XXI веке 70 процентов электроэнергии, потребляемой в промышленности, приходится на электродвигатели. Примерно 75% промышленных электродвигателей, используемых в системах электроприводов, применяются для работы насосов, вентиляторов, компрессоров, где осуществляется значительное повышение энергоэффективности [6].

В настоящее время постоянно расширяется выбор высокоэффективных электродвигателей (класса IE3 или выше) и частотно-регулируемых приводов (преобразователей частоты или приводов переменного тока), используемых для управления электродвигателями [7]. Таким образом, современные двигатели, используемые с частотно-регулируемыми системами приводов, отличаются гибкостью и надежностью.

### Библиографический список

1. Горбунов А.В. Современный электропривод – универсальное решение задачи управления электродвигателями. Санкт-Петербург; Издательство «ИСУП». 2009 №1. 23-27.
2. Особенности развития современного электрического привода. [Электронный ресурс]. URL: [https://electricalschool.info/elprivod/1238\(28.11.22\)](https://electricalschool.info/elprivod/1238(28.11.22)).
3. Электрический привод. [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрический\\_привод](https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрический_привод). (25.11.2022)
4. Регулируемый электропривод как средство энергосбережения. [Электронный ресурс]. URL: [https://electricalschoolinfo/economy/1283\(29.11.2022\)/](https://electricalschoolinfo/economy/1283(29.11.2022)/)
5. Современные энергоэффективные электроприводы тенденции и перспективы. [Электронный ресурс]. URL: [https://electroprivod/2475\(20.11.2022\)/](https://electroprivod/2475(20.11.2022)/)
6. Москаленко В. В. Электрический привод. Издательство: ИНФРА-М, 2019. С. 264.
7. Ключевая роль высокоэнергоэффективных электродвигателей и приводов в сокращении электропотребления. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.elec.ru/files/2021/03/25/ABB\\_MotionEnergy\(01.12.2022\)](https://www.elec.ru/files/2021/03/25/ABB_MotionEnergy(01.12.2022)).

<sup>1</sup> Клепикова Т.В., доцент каф. ЭЭТ

<sup>2</sup> Попыловский П.Э., обучающийся, гр. ЭГНм-21-1

Экспертиза статьи выполнена 15.12.2022 г., протокол №24

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Клепикова Т.В.<sup>1</sup>, Самбилов С.А.<sup>2</sup>

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Нефтегазовая промышленность России является одной из основных индустриальных отраслей России. Российская Федерация занимает 6 место в мире по добычи нефти, а по газовым ресурсам Россия на первом месте с большим отрывом от других стран[1].

Нефтегазовые комплексы активно взаимодействуют с другими промышленными отраслями Российской промышленности. В современном мире газ и нефть являются наиболее востребованными энергетическими ресурсами недр нашей страны. Нефтегазовые предприятия России вносят наибольший вклад в добычу нефти и газ продолжают оставаться наиболее востребованными энергоносителями во всем мире. Техническое оснащение электрооборудования нефтегазового комплекса должно соответствовать современному уровню развития промышленности. Для повышения эффективности использования электрической энергии в комплексе оборудования буровых установок необходимо осуществлять технологическое переоснащение буровых установок. В настоящее время все технологические процессы, обуславливающие добычу, транспортировку и переработку нефти осуществляются с использованием регулируемого электропривода. Существуют 5 основных принципов, позволяющих эффективно использовать электропривод. Требования к системам электропривода:

- Пусковой момент не должен превышать номинальный момент в 1,5-2,5 раза.
- Устранение колебательного электромагнитного момента при пуске для устранения гидравлических ударов.
- Пусковой ток не должен превышать номинальный ток в 3-4 раза.
- Энергетический КПД установки не должен значительно отличаться от номинального КПД во время регулирования.
- Электропривод должен регулироваться в диапазоне 1:20.
- Сложные геолого-климатические условия не должны влиять на работу системы электропривода.
- Стоимость системы электропривода должна быть приемлемой.

Наиболее часто в системах электропривода используются асинхронные и синхронные приводы двигатели переменного тока с управляемыми преобразователями частоты[3]. Недостатком асинхронных двигатели являются узкие пределы регулирования частоты вращения, поэтому обслуживающий персонал должен иметь соответствующую квалификацию обслуживания систем электропривода. Однако основным недостатком, вли-

яющим на надежность короткозамкнутых асинхронных двигателей, используемых в системах электропривода, является небольшой воздушный зазор между статором и ротором.

Использование синхронных приводов с частотным управлением осуществляется в системах электропривода с номинальной мощностью не меньше 300кВт. Основное назначение синхронных приводов – обеспечение заданных параметров работы и обеспечение соответствующего давления в трубопроводах.

Современные погружные вентильные двигатели широко внедряются в системах электропривода в нефтегазовой промышленности. Принцип действия вентильного двигателя зависит от позиционирования постоянных магнитов на роторе относительно создаваемого пика электромагнитного импульса на обмотках статора. В вентильных двигателях для управления процессом вращения не используется скользящий контакт, так как пространственное положение движущихся магнитов определяется с помощью датчика Холла. Система электронного управления способствует синхронизации вращения ротора с вращающимся электромагнитным полем. Вентильный электродвигатель - это бесколлекторный двигатель постоянного тока в комплексе с системой управления. Ротор вентильного двигателя состоит из вала с электромагнитом или с постоянными магнитами. Количество полюсов определяется количеством магнитов в поперечном сечении ротора.

Таким образом, основным отличием вентильного двигателя является то, что по сравнению с общепринятыми классическими электрическими машинами вентильный двигатель не работает без электронной системы управления. Система управления подает ток на обмотки статора в зависимости от положения ротора для того, чтобы создаваемое электромагнитное поле притягивало полюса ротора, поворачивая магнитное поле на определенный угол. Ток с помощью системы управления питает соседние обмотки, при этом ротор продолжает вращение за счет притягивания к этим обмоткам. Обмотки статора вентильного двигателя создают вращающееся магнитное поле и ротор синхронно следует за ним[4]. Обмотка статора трехфазная, так как трехфазная структура обеспечивает эффективную работу. В зависимости от поставленной задачи в отношении вентильных двигателей выбирается либо соединение обмоток «звездой», либо «треугольником». Соединение «звездой» для управления осями, требующими больших моментов, а соединение «треугольником» используется для обеспечения высоких скоростей[5].

Погружные вентильные двигатели, используемые в нефтяной промышленности, имеют конструкцию ротора с постоянными магнитами и специальной схемой подачи питающего напряжения на обмотку статора. Обычно число полюсов погружных вентильных двигателей равно четырем или восьми полюсам. Погружные вентильные двигатели из-за спе-

цифики эксплуатации применяют бездатчиковый метод определения положения ротора, обеспечивающий протекание в обмотках статора ток по форме близкий к трапецеидальному. Бездатчиковый метод управления обладает простотой и надежностью, поэтому используется как на коротких расстояниях, так и на длинных линиях.

Вентильные двигатели обладают надежностью машин переменного тока и регулированием частоты вращения в широких пределах машин постоянного тока. Преимущество, в отличие от машин постоянного тока, отсутствие коллекторно-щеточного узла, являющегося самым уязвимым узлом машин постоянного тока в процессе коммутации.

Достоинствами погружных вентильных машин в нефтяной промышленности являются:

- Широкий диапазон изменения частоты вращения;
- Отсутствие коллекторно-щеточного узла;
- Возможность использования во взрывоопасной и агрессивной среде;
- Большая перегрузочная способность по моменту;
- Увеличенный КПД (88-94% в зависимости от диаметра), чем обусловлено уменьшение удельного тепловыделения на единицу мощности и низкое электропотребление;
- Большой срок службы и высокая надежность.

Недостатками погружных вентильных двигателей в нефтяной отрасли являются:

- Высокая стоимость из-за дорогостоящих магнитов для роторов;
- Сложная структура двигателя и системы управления[6].

Таким образом, вентильные электродвигатели обладают рядом технических и эксплуатационных преимуществ, способствующих их внедрению в буровых установках.

### **Библиографический список**

1. Москвитин А.Н., Клепикова Т.В. Перспективы развития предприятий нефтегазового комплекса // Техничко-экономические проблемы развития регионов. Г. Иркутск: Издательство ИРННТУ. 2021. С. 66-68.
2. Токмаков Е. А. Вклад нефтегазового комплекса в развитие экономики Российской Федерации// Молодой ученый №17, 2016. С479-482.
3. Колдаев А.И., Любицкий М.В.,Чебанов К.А., Вдовин С.А. Применение регулируемых электроприводов в нефтегазовой отрасли/// East European Scientific Journal №4(44), 2019. С.31-33.
4. Элементы теории вентильного привода. [Электронный ресурс]. URL: <https://lukoil-epu.ru/BLDC/theory> (01/12/2022).
5. Основные технические особенности вентильных двигателей. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.elec.ru/publications/2225\(29.11.2022\)](https://www.elec.ru/publications/2225(29.11.2022)).

6. Вентильный двигатель. [Электронный ресурс]. URL:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/ Вентильный \\_двигатель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Вентильный_двигатель)(25.11.2022).

<sup>1</sup> Клепикова Т.В., доцент каф.ЭЭТ

<sup>2</sup> Самбилов С.А., обучающийся, гр КТЭМ-21-1

Экспертиза статьи выполнена 15.12.2022 г., протокол №24

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Коновалов Ю.В., Гурулев Н.А.</i> Тенденции развития малой энергетики в регионах .....	3
<i>Сажин Р.В., Сафонова О.М.</i> «Умные» энергосистемы, особенности и развитие .....	6
<i>Анфиногенов А.Ю., Горожанкин П.А., Вац В.М., Вац О.В., Сизов А.П., Федосов Д.С., Федчишин В.В., Фискин Е.М.</i> Разработка интеллектуальной системы определения аварийных участков на ВЛ 35 кВ филиала «Мамско-чуйские электрические сети» ОГУЭП «ОБЛКОММУНЭНЕРГО» .....	13
<i>Костылева Н.Л.</i> Эффективность применения источников бесперебойного питания в системах электроснабжения офисных зданий промышленных предприятий .....	21
<i>Корнилов В.Н., Федчишин В.В., Занкович А.А.</i> Вопросы определения величины мощности устройств для майнинга криптовалют в категории потребителей «население и приравненные к нему группы потребителей» .....	26
<i>Павлычева Ю. М., Свеженцева О. В., Умнова М. О.</i> Влияние электромагнитных излучений на человека в зоне действия железной дороги .....	33
<i>Кауров А.А., Пузина Е.Ю.</i> Повышение энергетической эффективности сети наружного освещения на территории Марковского муниципального образования .....	36
<i>Иванов М.В., Чумаков В.Г.</i> Диагностика кабелей со сшитой изоляцией .....	41
<i>Харитонов С.Д., Чумаков В.Г.</i> Современные методы определения повреждений на кабельных линиях .....	47
<i>Пузина Е.Ю.</i> Эффективность установки частотных преобразователей на насосных станциях оборотного водоснабжения.....	52
<i>Ободенко Е.Ю., Селиванов Д.В., Федорова З.А.</i> Исследование способов построения переходных процессов в цифровых системах .....	58
<i>Сорокин Д.Е., Федорова З.А.</i> Автоматизированная система централизованного управления освещением промышленного предприятия .....	63
<i>Валиулин М.В., Рябинова К.О., Фискин Е.М.</i> Особенности ремонта электронного оборудования в ИРНИТУ .....	68
<i>Полуянов Р.М., Дмитриев А.А.</i> Применение элементов системы сетевой передачи, записи и хранения материала в области учета ресурсов .....	73

<i>Дунаев М.П., Матвеев Е.Л.</i> Тенденции развития токосъёма монорельсового транспорта .....	77
<i>Дунаев М.П., Левков Ю.А., Ведров Д.А.</i> Шаговые двигатели в электроэнергетике .....	80
<i>Дунаев М.П., Кокин П.Д.</i> Безопасность труда в электроэнергетике .....	83
<i>Мосейчук Н.С., Ковригин Д.А., Павлов В.Е.</i> Исследование процессов пуска электропривода центробежного насоса .....	88
<i>Белых Д.Ю., Акимов В.С., Павлов В.Е.</i> Модель системы электропривода подкачивающей насосной станции .....	91
<i>Дияров Д.У., Ходжаев И.Ш., Павлов В.Е.</i> Сравнение процессов самопуска при различных способах моделирования асинхронного двигателя .....	95
<i>Дияров Д.У.</i> Организация транспортного обслуживания нефтегазодобывающих предприятий .....	99
<i>Дунаев А.М., Дунаева Я.О.</i> Характеристики электропривода в режиме энергосбережения .....	104
<i>Нурматов З.А., Арсентьев О.В.</i> Режимы работы электрического привода буровой лебедки .....	108
<i>Арсентьев О.В., Дедловский К.Д., Оглоблин С.Э.</i> Способы защиты от коррозии магистральных нефтепроводов .....	112
<i>Арсентьев О.В., Абгалдаев А.Л., Сибирцев В.Е.</i> Способы защиты от коррозии вертикальных стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов .....	116
<i>Арсентьев О.В., Алексеев А.С., Черкасова Ю.В.</i> Автоматизация технологического процесса работы станции катодной защиты .....	120
<i>Арсентьев О.В., Арсланбеков А.Т., Кривошеин А.А.</i> Повышение эффективности работы станции катодной защиты вертикальных стальных резервуаров для хранения нефтепроводов .....	125
<i>Арсентьев О.В., Лобза Е.С.</i> Система смазки подшипниковых узлов шагающего экскаватора ЭШ-20/90 .....	129
<i>Арсентьев О.В., Ващенко А.О., Цимбалова Е.А.</i> Способ модернизации шахтной подъёмной установки 2ц5х2,8 .....	133
<i>Арсентьев М.О., Портяной А.А.</i> Система контроля и измерения уровня, объёма и массы нефтепродукта в емкостях .....	136
<i>Сбитнев К.Д., Арсентьев М.О.</i> Дистанционная диагностика проводов воздушных линий электропередачи .....	140
<i>Заколотный Д.В., Арсентьев М.О.</i> Система альтернативного энергоснабжения в сфере обслуживания магистральных трубопроводов .....	143

<b>Белякин В.С., Арсентьев О.В.</b> Централизованная смазка подшипников на шагающем экскаваторе ЭШ 20/90 .....	147
<b>Шушпанов И.Н., Чинцов Д.В.</b> Стратегия модернизации распределительных устройств .....	150
<b>Коверникова Л.И., Буй Х.Н.</b> Дополнительные потери активной мощности при несинусоидальном режиме в воздушной линии электропередачи .....	154
<b>Коновалов Ю.В., Прокофьев Д.С.</b> Решение технических проблем на ремонтном предприятии при практическом обучении студентов.....	160
<b>Коновалов Ю.В., Яровой А.В., Гурулев Н.А., Русаков И.Д.</b> Тензометрическое весоизмерительное электронное устройства контроля веса для карьерных экскаваторов.....	165
<b>Коновалов Ю.В., Павлов В.Е., Дубовец М.А., Азеништейн Д.Б.</b> Контроль параметров двигателя подъема экскаватора с целью определения веса перемещаемой в ковше горной массы .....	169
<b>Коновалов Ю.В., Яровой А.В.</b> Применение контроллеров ARDUINO в промышленности и быту .....	173
<b>Коновалов Ю.В., Чупановский М.Г.</b> Моделирование технических изделий при 3d проектировании .....	177
<b>Баиров Г.А., Сафонова О.М.</b> Перспективы развития распределенной генерации .....	181
<b>Иванов Н.С., Кочетков Д.С., Потапов В.В.</b> Выбор схемы соединения конденсаторов электроразрядных установок на основе электрогидравлического эффекта с учётом расстояния от конденсаторов до рабочего инструмента .....	185
<b>Иванова Ю.В., Карамов Д.Н.</b> Применение различных параметрических тестов стационарности для анализа гидрологического ряда притока воды в водохранилище Иркутской ГЭС .....	188
<b>Иванова Ю.В., Карамов Д.Н.</b> Применение метода прогнозирования временных рядов на основе выбора периода-аналога для формирования прогноза притока воды в водохранилище Иркутской ГЭС .....	192
<b>Иванова Ю.В., Карамов Д.Н.</b> Оценка необходимости усовершенствования существующей системы прогнозирования притока воды к створу Иркутской ГЭС .....	196
<b>Галков А.А., Худонов И.А.</b> Современные тенденции совершенствования содержания изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов с учетом климатических условий .....	199
<b>Худонов И.А.</b> Причины повреждаемости силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций .....	203

<b><i>Степанов А.Д.</i></b> Разработка способа исследования состояния опор контактной сети путем определения спектров частот собственных колебаний .....	207
<b><i>Клепикова Т.В., Попыловский П.Э.</i></b> Тенденции и перспективы развития современных энергоэффективных электроприводов .....	210
<b><i>Клепикова Т.В., Самбилов С.А.</i></b> Применение электропривода в нефтегазовой промышленности .....	214

Научное издание

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ**

**Материалы научно-практической конференции  
с международным участием**

**Выпуск 25**

**(г. Иркутск, 26 декабря 2022 г.)**

Сборник материалов

Компьютерный набор и верстка Ю.В. Михайлова  
Подписано в печать 31.12.2022. Формат 60 х 90 / 16.  
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 14.  
Тираж 300 экз. Зак. 174. Поз. плана 34.

Отпечатано в Издательстве  
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный  
исследовательский технический университет»  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83