

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Энергосбережение и энергоэффективность
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка интеллектуальной системы управления эффективным распределением
электроэнергетических ресурсов на химическом предприятии

Обучающийся

О.А. Кислер

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Состояние вопроса.....	5
Глава 2 Возможные решения для достижения поставленной цели.....	19
2.1 Характеристика и анализ результатов деятельности предприятия.....	20
2.2 Анализ надежности работы и действующего процесса обслуживания энергетического оборудования.....	27
2.3 Выявление организационных проблем и путей повышения надежности работы электрооборудования подстанций.....	34
Глава 3 Разработка системы энергоэффективности.....	38
3.1 Анализ надежности и энергоэффективности.....	38
3.2 Предлагаемое решение, применительно к цеху № 18 АО «ТОАЗ»	39
3.3 Алгоритм предлагаемого решения.....	56
Заключение.....	69
Список используемой литературы и используемых источников.....	71

Введение

На сегодняшний день одно из важнейших мест занимает проблема энергосбережения.

В новых экономических условиях развития страны, а также согласно требованиям Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ и «ГОСТ Р ИСО 50001-2023, концепция энергетической политики России предполагает повышенное внимание к вопросам энергосбережения в связи со следующими факторами:

- необходимостью проведения активных энергосберегающих и ресурсосберегающих мероприятий,
- неоправданно высоким потреблением топливных и энергетических ресурсов; потребностью в реконструкции российской экономики; решением экологических проблем, которые связаны с затратами водных и энергетических ресурсов.

Реализация идеи создания энергосберегающих теплотехнологических систем предприятий может происходить посредством использования современных научных достижений.

Однако такой подход требует больших капиталовложений, которые не каждое промышленное предприятие может позволить.

Модернизация предполагает проработку большого числа альтернатив» [7] использования вторичных энергетических ресурсов и выбор оптимального варианта.

Такой комплексный анализ не может быть проведен без применения методов математического моделирования, программного и алгоритмического обеспечения.

В настоящее время АО «ТОАЗ» ведет работу по оптимизации технологических процессов, необходимых для выпуска продукции. При

неправильной оптимизации технологических процессов в УпОЭ Общества возможны простои технологического оборудования, в результате чего предприятие может понести убыток.

Актуальность выбранной темы выпускной квалификационной работы обусловлена тем, что при повышении эффективности работы подразделения, отвечающего за бесперебойное обеспечение энергетическими ресурсами при проведении общей оптимизации предприятия, будут уменьшены затраты на энергию посредством систематического управления энергетическими ресурсами.

Это приведет к более эффективному использованию имеющихся энергетических ресурсов, повышению конкурентоспособности промышленного предприятия.

Таким образом, установив требования, на основе которых УпОЭ может разработать и внедрить энергетическую политику, осуществить постановку целей, задач и разработку планов мероприятий с учетом законодательных требований и информации, относящейся к аспектам, связанным со значительным использованием энергии.

Целью выпускной аттестационной работы является повышение эффективности распределения и потребления электрической энергии на химическом предприятии.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать мировую практику и опыт смежных предприятий химической отрасли в области управления энергетическими ресурсами;
- выполнить анализ результатов деятельности предприятия в области распределения и потребления электрической энергии на предприятии;
- разработать рекомендации по повышению эффективности распределения и потребления использования электрической энергии на химическом предприятии.

Глава 1 Состояние вопроса

Электрооборудование предприятий химической промышленности в системах управления технологическими процессами чаще всего описывают как «черный ящик», в котором с определенной периодичностью или случайным образом происходят к сбоям, приводящие к остановкам технологических процессов. История развития химической промышленности показывает, что подход к проблеме обеспечения эксплуатационной готовности оборудования менялся на разных этапах. Сегодня в разных отраслях химической промышленности формируются индивидуальные подходы к стратегии технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Производственный опыт показывает, что безотказная работа электрооборудования обеспечивается своевременным и качественным техническим обслуживанием в соответствии с реальными условиями. В то же время ремонт - это обязательное и подготовительное мероприятие, выполняемое «для восстановления первоначальных характеристик, а деятельность по ТОиР осуществляется в рамках выбранных стратегий и подходов к обслуживанию электрооборудования. Каждая стратегия исторически обоснована, соответствует определенному уровню развития науки и техники, отвечает принципам организации управления производством и представлениям об «идеальных» результатах. В истории эксплуатации электрооборудования существовало три основных подхода к ремонту. Рассмотрим их подробнее на примере химического предприятия.

Принудительный ремонт и ремонт после отказа. Этот подход характерен для 20-30-х годов прошлого века. Обоснованием такого подхода является небольшой объем эксплуатируемого электрооборудования, низкий уровень квалификации обслуживающего и ремонтного персонала, отсутствие ремонтной базы и опыта ремонта» [13]. Главная задача - остановить эксплуатируемое электрооборудование при первых признаках повреждения и не допустить его серьезного разрушения.

Планово-предупредительные и периодические ремонты Увеличение количества химических предприятий, рост парков электрооборудования и использование одних и тех же технологий и оборудования в 50-60-е годы потребовали повышения безотказности работы электрооборудования, основанной на научно-технических достижениях того времени.

Вопрос надежности электрооборудования как неотъемлемой части технического процесса в химической промышленности представлял особый интерес в 60-70-е годы прошлого века. Это было связано с технологическим перевооружением, появлением новых технологий и разработкой уникального оборудования для реализации технологических процессов.

Рост цен на энергоресурсы, подорожание строительства и модернизации, что вызвано технологическим отставанием, а также внутренними противоречиями, связанными с модернизацией и управлением предприятиями, являются актуальными проблемами энергетики и промышленности нашей страны.

Выпускаемое тяжелое электрооборудование было особенным, а отсутствие практического опыта использования и эксплуатации оборудования с индивидуальными характеристиками обусловило необходимость изучения показателей надежности и определения способов обеспечения безаварийной работы.

На основе алгоритмов обработки полученной информации определяются обобщенные показатели надежности компонентов и рассчитываются законы распределения вероятностей потоков отказов. Основной задачей является определение рациональной продолжительности ремонта оборудования, используя равномерную загрузку ремонтной службы в качестве основного критерия при выполнении текущего ремонта оборудования. «Системный подход в учете и анализе отказов позволяет повысить уровень безотказной работы оборудования, а разработанная система ППР в настоящее время используется предприятиями при проведении ремонтов. Проведены многочисленные теоретические и

экспериментальные исследования рабочих процессов оборудования с целью оценки оптимальной долговечности деталей на основе законов распределения параметров надежности» [14], показывающие большие колебания ресурсов, обусловленные различными качествами изготовления и эксплуатации.

В рамках системы ППР появилась возможность корректировки условий замены путем ревизии деталей и узлов (ревизий) с неполной разборкой механизма, выполняемой в ходе текущего ремонта. Известно, что излишняя разборка даже ремонтируемого оборудования ухудшает общее техническое состояние механизма. Для выявления фактического состояния электрооборудования необходимо было использовать неразборные (неразрушающие) методы контроля.

Первые ремонты по состоянию были проведены в конце 80-х - начале 90-х годов. Основой для проведения ремонтов по состоянию служили результаты технического диагностирования, полученные отделами и диагностическими станциями, входящими в состав ремонтной службы.

Подводя итоги «анализа подходов к организации технического обслуживания и ремонта электрооборудования, следует отметить, что необходимо техническое и технологическое обоснование ремонта или реконструкции электрооборудования с учетом фактического состояния, стоимости и количества ремонтов, интенсивности и последствий отказа. Следующим этапом технического обслуживания и ремонта является переход от функций контроля и защиты к управлению техническим состоянием на основе фактических характеристик контрольных параметров оборудования и технических процессов во времени и далее к прогнозированию, т.е. выявлению и управлению явлениями до появления диагностических признаков развившегося повреждения. Основой для реализации этого этапа является внедрение программного обеспечения для организации эффективных стратегий» [8] технического обслуживания и ремонта.

От архитектуры и функциональности СПА (Системы предиктивной аналитики) зависит качество прогнозирования технического состояния электрооборудования и эффективность функционирования других систем химических предприятий, использующих данные прогнозирования. Процессы обработки данных, реализованные в современных СПА технологического оборудования для энергетических предприятий, представлены на рисунке 1.

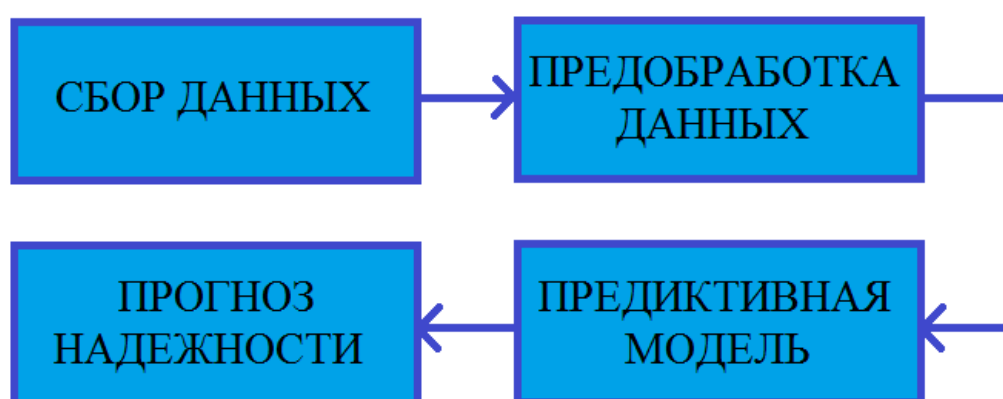


Рисунок 1 - Процессы обработки больших данных в СПА

Для реализации СПА, одной из ключевых концепций Индустрии 4.0, была разработана структура, включающая основные модули для реализации киберфизических объектов (рисунок 2).

Использование современных первичных устройств, внедрение цифровых устройств релейной защиты и автоматики, устройств телемеханики и диспетчеризации с современными цифровыми технологиями передачи данных и оснащение оборудования устройствами постоянного мониторинга технического состояния позволит повысить надежность электроснабжения подключенных потребителей, упростить процессы управления, обеспечив максимальную наблюдаемость и визуализацию процессов.

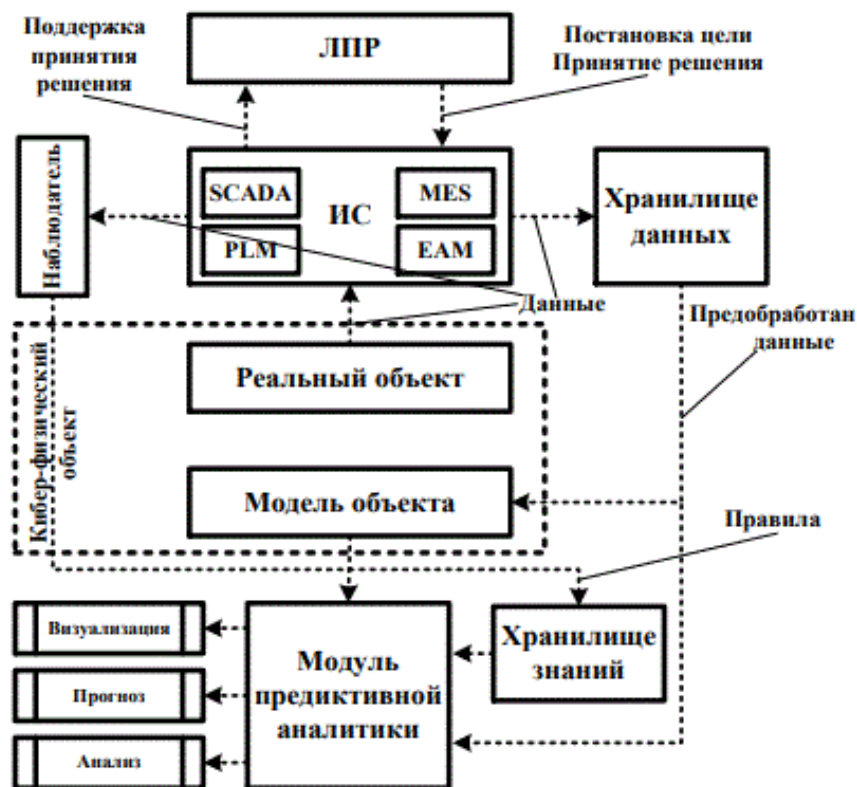


Рисунок 2 - Структура СПА

Структурная схема сбора данных системы предиктивной аналитики представлена на рисунке 3.

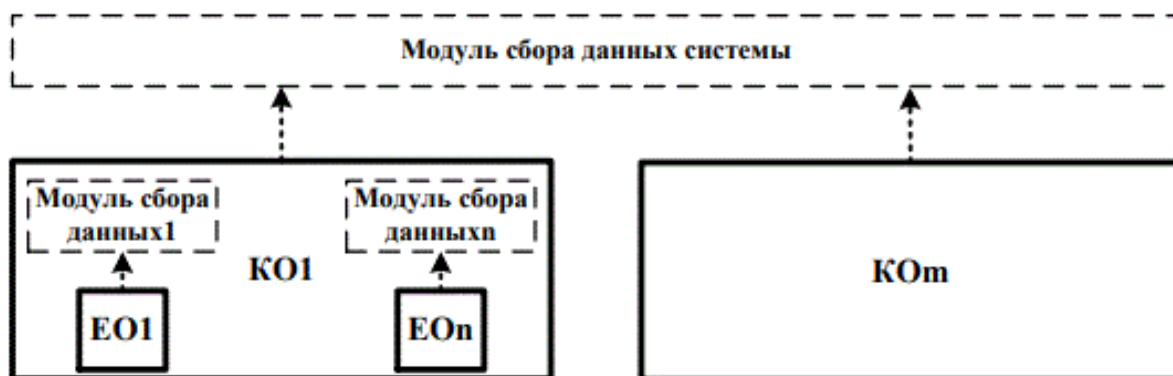


Рисунок 3 - Сбор данных СПА

В настоящее время большое количество силового оборудования из основных фондов электрооборудования уже исчерпало нормативный ресурс эксплуатации. Так, например, около 46% установленных мощностей в России были введены до 1980 года, то есть имеют возраст более 39 лет (Рисунок 4).

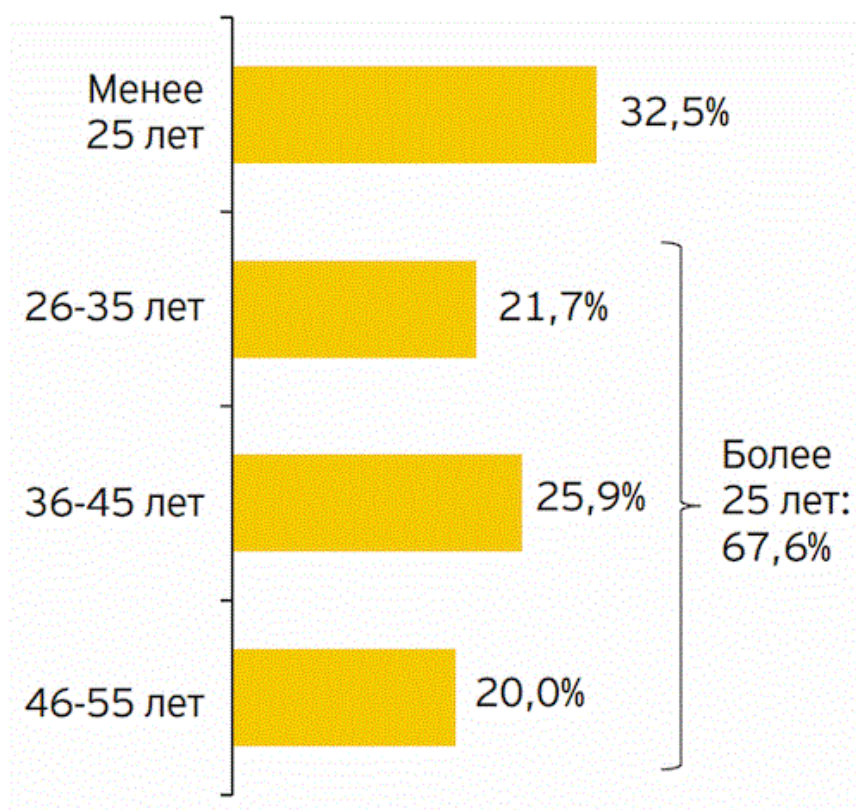


Рисунок 4 - Возрастная структура генерирующего оборудования на 2017 г.

Несмотря на программы по договорам о предоставлении мощности для традиционных и возобновляемых источников энергии, доля вновь введенного энергетического оборудования в России за последние годы остается невысокой (Рисунок 5).

Благодаря современным системам диагностики можно вычислить индекс ТС (Рисунок 6) практически любого оборудования и в зависимости от его значения принять решение о необходимости использования соответствующих экономических и технических ресурсов, столь ограниченных в настоящее время.



Рисунок 5 - Степень износа основных фондов коммерческих организаций в РФ на конец года за последние 14 лет, в процентах

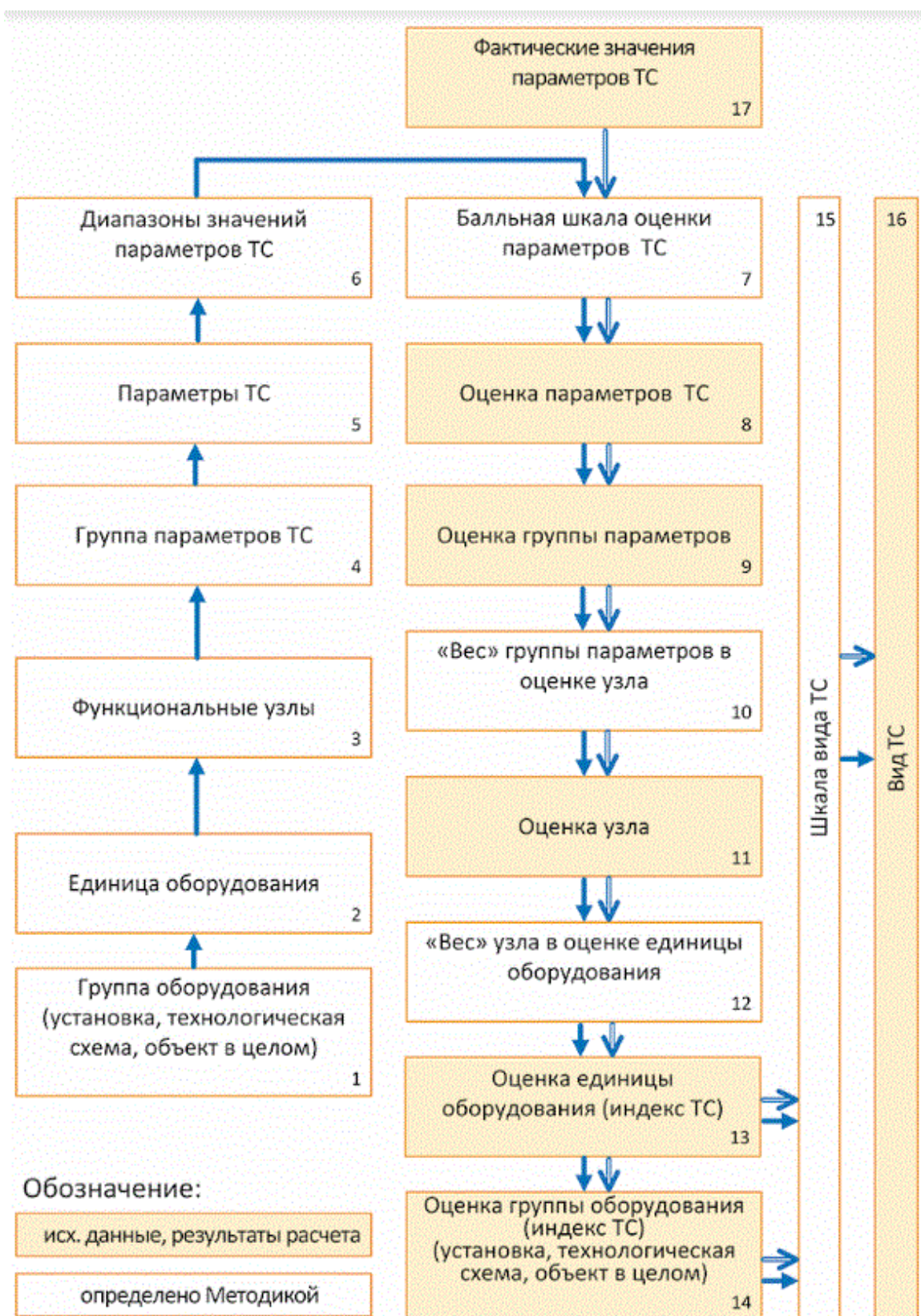


Рисунок 6 - Порядок расчета оценки технического состояния оборудования

В соответствии с концепцией развития системы технического диагностирования ПАО «Россети» предполагается, что данная система должна строиться на трех основных уровнях диагностического контроля (Рисунок 7).



Рисунок 7 - Уровни диагностического контроля в соответствии с концепцией развития системы технического диагностирования ПАО «Россети»

ТС оборудования описывается совокупностью диагностических параметров, число которых отличается для различного оборудования. Например, количество измеряемых параметров для силовых трансформаторов (Рисунок 8) и шунтирующих реакторов может достигать 38, масляных выключателей - 29, элегазовых выключателей - 25, ограничителей перенапряжения и разрядников - 10, разъединителей (с приводом) - 14, маслонаполненных измерительных трансформаторов и

конденсаторов связи – 9. «При таком многообразии параметров всегда встает вопрос выбора наиболее эффективных методов и здравых компромиссов при построении систем. Решение об установке и выборе вида и состава систем мониторинга оборудования целесообразно применять по результатам оценки экономической эффективности от их применения (см. выше преимущества внедрения систем мониторинга)» [30].



Рисунок 8 - Пример параметров силового трансформатора, контролируемых системой мониторинга

Наличие комплексной информации по контролируемому оборудованию, как на уровне объекта, так и на уровне сетевой компании, позволяет более эффективно планировать инвестиции, оперативно выявлять оборудование, требующее организации работ по техническому обслуживанию и ремонту, определять очередность технического перевооружения объектов, имеющих выработавшее свой нормативный ресурс оборудование (Рисунок 9).

Непрерывное повышение цен на энергетические ресурсы, а также существенное подорожание строительства и реновации, что объясняется международными технологическими санкциями, техническим отставанием, сложностью доступа инвесторов к зарубежным финансовым рынкам, внутренними противоречиями стремления к модернизации систем электроснабжения предприятий характеризует современные проблемы развития энергетического и промышленного комплекса страны [38].

Организационная структура управления энергетическим хозяйством представляет собой разветвленную подразделений, обеспечивающих эффективное управление энергетическими и технологическими процессами. В составе предприятия функционируют специализированные службы и отделы, занимающиеся техническим обслуживанием оборудования, мониторингом его состояния и внедрением инновационных технологий. Решение в настоящее время видится через «внедрение систем мониторинга, позволяющих выполнять автоматическую оценку технического состояния электрооборудования в режиме online. Такая оценка технического состояния позволяет выявлять «слабое звено» в транзите электроэнергии конечному потребителю, распределять соответствующие ресурсы на проведение ТОиР, поддерживая при этом высокий уровень надежности электроснабжения» [22].

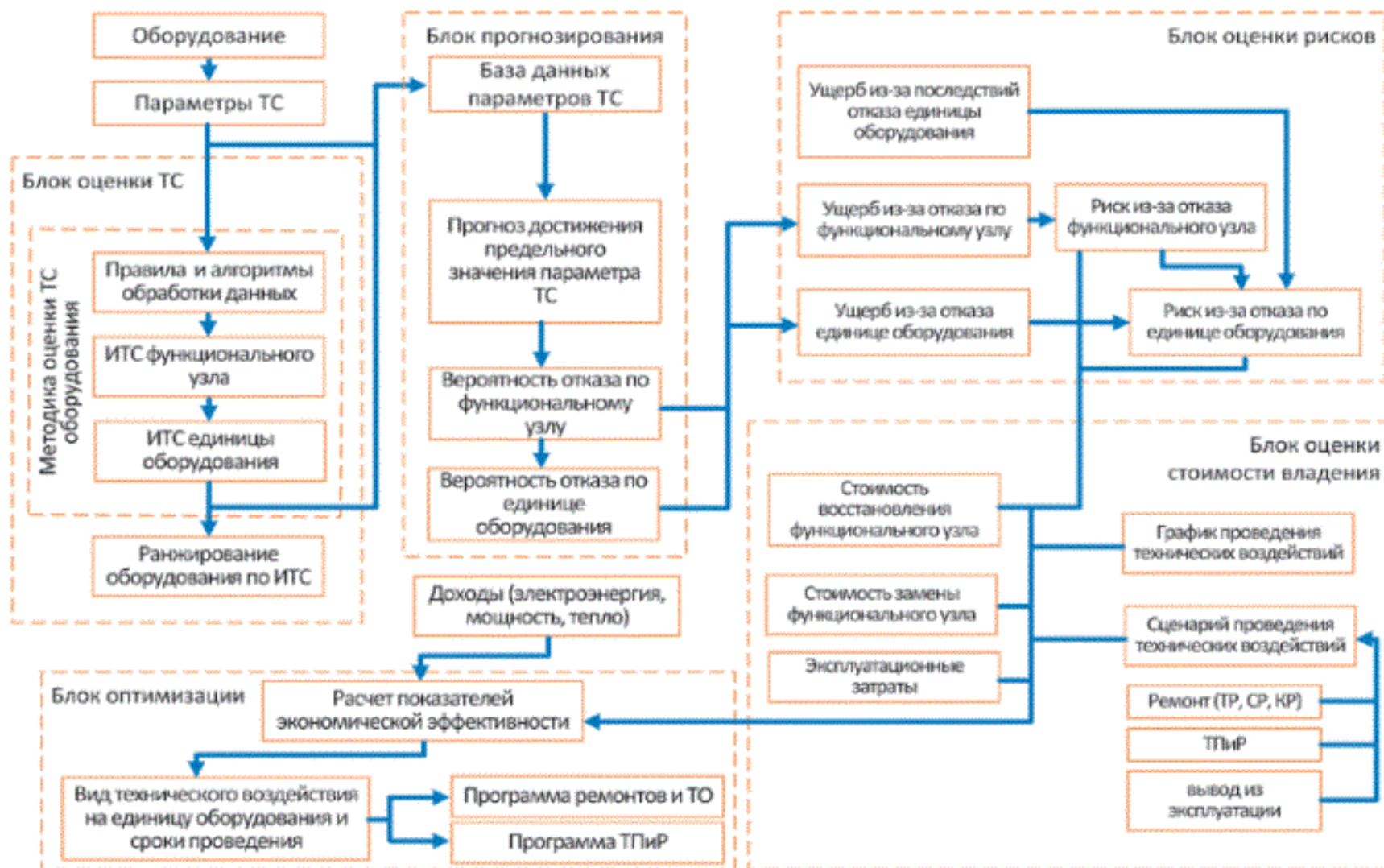


Рисунок 9 - Схема принятия решения о виде технического воздействия на оборудование

«Усилия, предпринимаемые в развитых странах на государственном уровне, позволили добиться значительного улучшения энергоэффективности. Так, согласно отчету Международного энергетического агентства (МЭА), меры, предпринимаемые основными странами – основателями МЭА, позволили в 2011 году добиться снижения потребления энергетических ресурсов на 56 эксаджоулей ($56 \cdot 10^{18}$ Дж), или 1 337 млн тонн условного топлива. Это больше общего ежегодного потребления энергоресурсов Европейским союзом или, например, Азией, за исключением Китая (Рисунок 10). Целенаправленная государственная политика, проводимая в странах МЭА, несомненно, обеспечивает результаты в виде снижения энергоемкости ВВП и повышения конкурентоспособности экономики» [1].

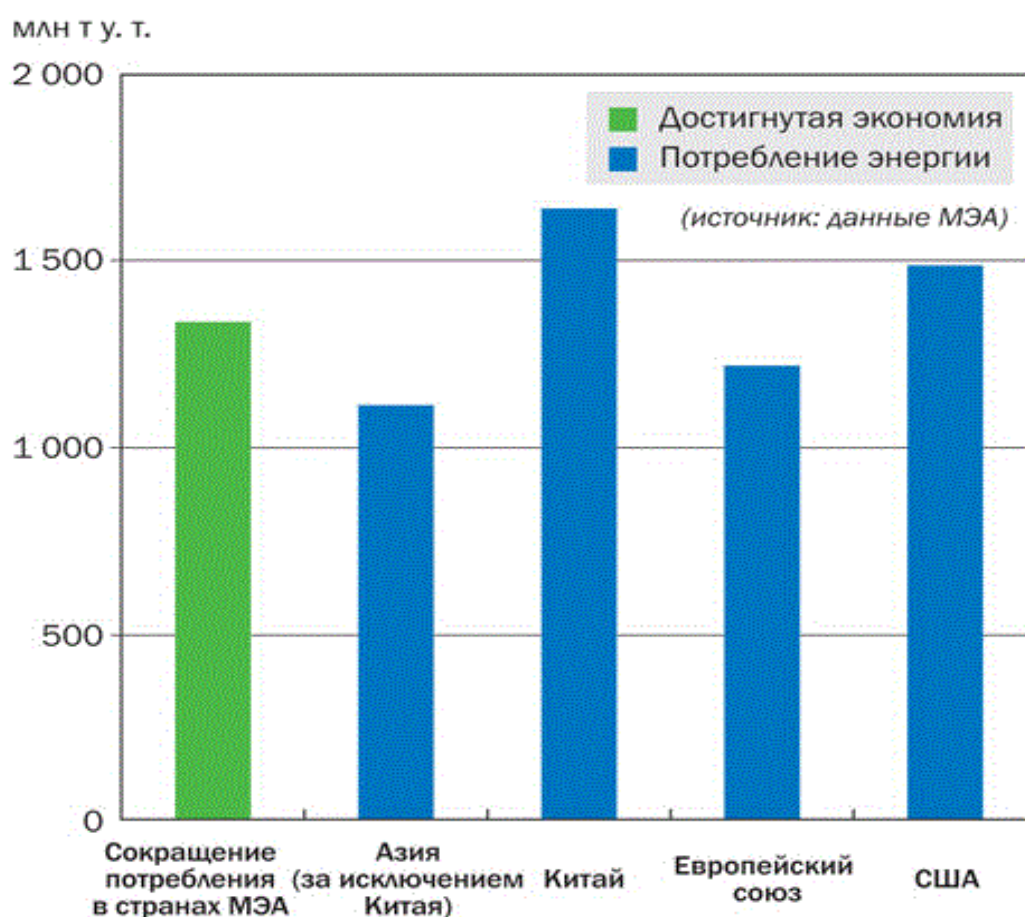


Рисунок 10 - Эффект, полученный от реализации энергоэффективных мероприятий, в сравнении с потреблением в различных регионах [24]

Система превентивной диагностики на основе искусственного интеллекта позволяет в будущем отказаться от системы ППР и перейти к обслуживанию по фактическому состоянию (ОФС), что по оценке экспертов приведет к снижению затрат на обслуживание на 75%, количества обслуживаний - больше чем на 50%, снижению числа отказов - на 70% за первый год работы.

Предприятие, созданное в прошлом столетии, имеет структуру той эпохи. Современный мир не стоит на месте, развитие той или иной области происходит на больших скоростях. Современные технологии проникают во все сферы деятельности [42]. Не исключением является энергооборудование. Новые технологии и процессы позволяют организовать более эффективную работу, что увеличивает производительность основного производства. При четко отлаженных процессах предприятие уменьшит время простоя технологического оборудования и повысит экономический эффект.[4]

Выводы по 1 главе

Приведены примеры предиктивной аналитики технического состояния энергетического и промышленного оборудования, и их эффективность, проведен анализ существующих подходов к прогнозированию технического состояния электрооборудования, систем превентивной диагностики на основе искусственного интеллекта, которые используются для этих целей, а также методов и алгоритмов обработки больших объемов данных. Рассмотрена возможность постоянного контроля в режиме реального времени большого объема данных силового трансформатора (характеристики основной изоляции вводов, система охлаждения, электрические показатели и т.д.). Был обоснован экономический эффект от внедрения мониторинга разрабатываемой системы.

Глава 2 Возможные решения для достижения поставленной цели

Основной деятельностью ТООЗ является выпуск минеральных удобрений и химической продукции. Сегодня ТООЗ - это 7 агрегатов по производству аммиака и 3 агрегата карбамида.

С «самого своего основания Тольяттиазот играл значимую роль в развитии химической отрасли страны и в обеспечении благополучия города Тольятти и Самарской области. ТООЗ входит в пятерку крупнейших налогоплательщиков региона, а также обеспечивает работой более 6000 человек» [5].

Заказчики продукции ТООЗ расположены в десятках стран на 5 континентах. Производственные мощности позволяют обеспечить 20% спроса на российском рынке и 11% объема мирового экспорта аммиака. Бесперебойность поставок гарантируется за счет развитой инфраструктуры - собственный железнодорожный парк, состоящий из 1500 вагонов. ТООЗ имеет доступ к уникальному аммиакопроводу «Тольятти-Одесса» протяженностью более 2000 км.

«Одним из важнейших инвестиционных проектов ТООЗ является строительство порта по перевалке аммиака на полуострове Тамань Темрюкского района Краснодарского края. В реализацию портового проекта компания инвестировала огромные средства, часть объектов, необходимых для запуска» [15] порта, готова.

Модернизация, технологии, экология, человеческий капитал – все это приоритеты развития Тольяттиазота. Постоянное движение вперед позволило нам достичь серьезных высот, став крупнейшим производителем аммиака в России.

С 2011 года ТООЗ приступил к реализации программы модернизации производственных мощностей, которая была рассчитана до 2022 года. Модернизация, технологии, экология, человеческий капитал – все это приоритеты развития «Тольяттиазота».

В рамках программы модернизации производственных мощностей проводится полный ремонт и модернизация всех инфраструктурных производственных объектов, в том числе семи агрегатов аммиака и двух агрегатов карбамида, двух уникальных изотермических резервуаров емкостью 30 000 тонн каждый для жидкого аммиака, биологических очистных сооружений и железнодорожной инфраструктуры. В настоящее время компания ведет работы по ремонту и модернизации существующих объектов.

В 2017 году ТОАЗ приступил к строительству третьего агрегата по производству карбамида. Проект, разработанный совместно с Casale S.A. и НИИК, предусматривает строительство установки со значительно сниженным уровнем выбросов в атмосферу и степенью очистки карбамида 93 % благодаря применению новейших технологий.

Доля ТОАЗа на российском рынке минеральных удобрений составляет 20 %. В настоящее время продукция ТОАЗа экспортируется в 120 стран мира.

2.1 Характеристика и анализ результатов деятельности предприятия

Основной вид деятельности ТОАЗа - производство аммиака, карбамида, КФК и аммиачной воды.

Производственные мощности, эксплуатируемые АО «ТОАЗ», позволяют ежегодно производить:

- более 3 млн тонн жидкого аммиака на 7 крупнотоннажных агрегатах;
- 960 тыс. тонн карбамида на 2-х агрегатах;
- 47 тыс. тонн КФК на 2-х установках;
- 109 тыс. тонн аммиачной воды.

В таблице 1 и на рисунках 11 и 12 приведены сведения о динамике производства продукции за период с 2015-2019 гг.

Таблица 1 - Динамика производства продукции ТООЗ

Производство продукции	ед. изм.	Отчетный период				
		2015	2016	2017	2018	2019
Аммиак	т	2,85 млн.	2,85 млн.	2,64 млн.	2,75 млн.	3,01 млн.
Карбамид	т	0,59 млн.	0,55 млн.	0,72 млн.	0,65 млн.	0,78 млн.
КФК	т	0,15 млн.	0,12 млн.	0,09 млн.	0,05 млн.	0,04 млн.
Аммиачная вода	т	0,05 млн.	0,06 млн.	0,05 млн.	0,04 млн.	0,02 млн.

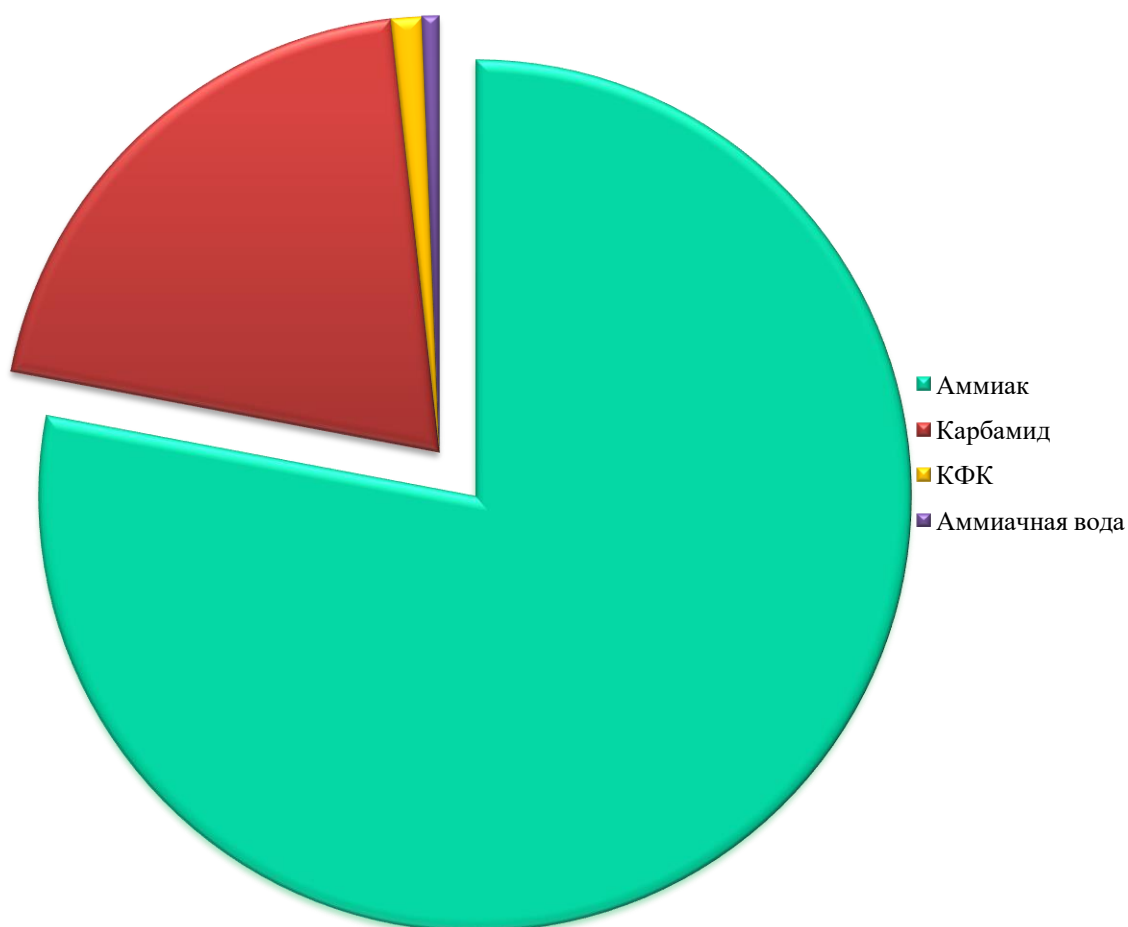


Рисунок 11 - Производство продукции АО «ТООЗ»

Из таблицы 1 и рисунка 11 видно, что основной деятельностью АО «ТООЗ» является производство аммиака и карбамида. Аммиак реализуется как готовый продукт и используется как сырье для производства карбамида, а карбамид, в свою очередь, как сырье для производства КФК.

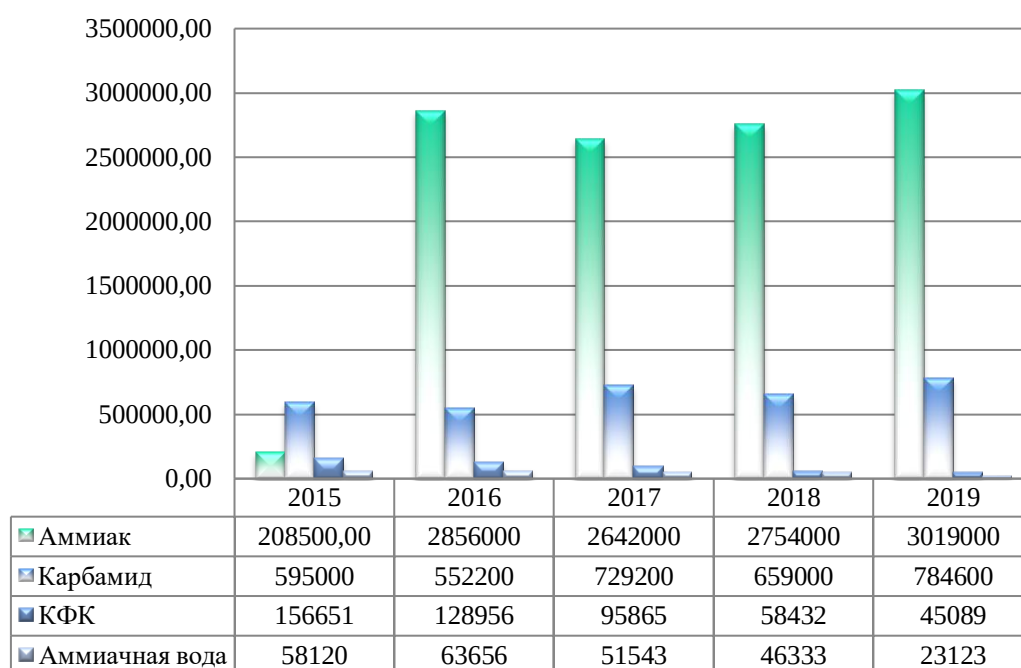


Рисунок 12 - Анализ производства аммиака и карбамида АО «ТОАЗ»

Из проведенного анализа (рисунок 12) видно значительное увеличение производства основного продукта АО «ТОАЗ».

Основными странами-потребителями аммиака являются Бельгия, Тунис, Турция, США, Индия, Марокко [40]. Наибольший рост поставок аммиака был зафиксирован в направлении США. Карбамид экспортируется, прежде всего, в Турцию, Польшу и Францию. В 2015 году список стран, закупающих карбамид, дополнили ЮАР и Перу.

В таблице 2 представлен анализ результатов финансово-хозяйственной деятельности АО «ТОАЗ» за 6 месяцев 2020 года.

Таблица 2 - Финансовые результаты за 6 месяцев 2020 года

Наименование показателя	За 6 месяцев 2020 г.	За 6 месяцев 2019 г.
Выручка	26,8 млрд. р.	29,2 млрд. р.
Себестоимость продаж	12,09 млрд. р.	12,59 млрд. р.
Чистая прибыль	0,7 млрд. р.	3, 44 млрд. р.

Финансовые результаты компании за период с января по июнь 2020 года показали значительный рост. В условиях распространения нового коронавируса обеспечение бесперебойной работы компании и безопасности и численности персонала (таблица 3, рисунок 13) стало ключевым вопросом. Несмотря на необходимость работать в новых чрезвычайных обстоятельствах, компания сохранила уровень производства и продолжила работу, что позволило заводу сохранить объемы производства и продолжить реализацию инвестиционной программы. В частности, для сохранения объемов производства ТООЗу необходимо было завершить строительство третьего агрегат карбамида.

Общий объем инвестиций в 2020 году превысил 1 млрд рублей. Это позволит ТООЗу. Это позволило сохранить стабильность и конкурентоспособность на мировом рынке и добиться прогресса в достижении целей и достигнуть к 2025 стратегий развития.

Таблица 3 - Среднесписочная численность работников АО «ТООЗ»

Среднесписочная численность работников	2015	2016	2017	2018	2019
	4 993	5 271	5 199	4 756	4 166

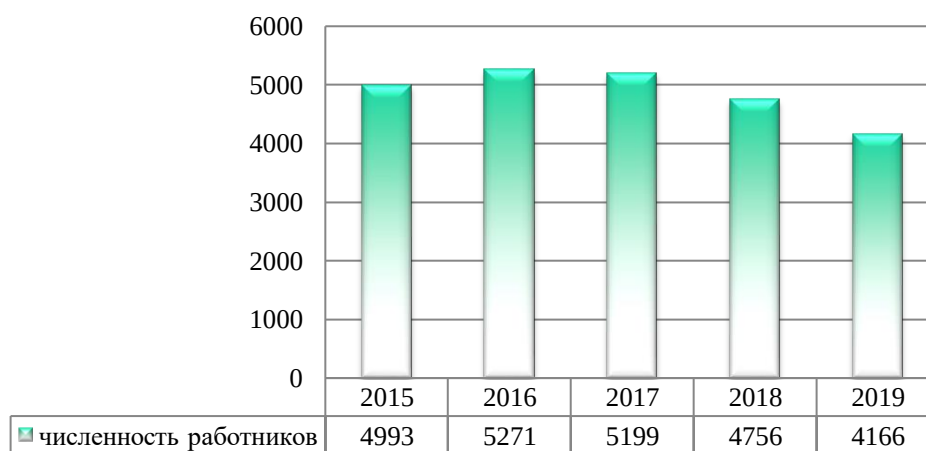


Рисунок 13 - Среднесписочная численность работников АО «ТООЗ»

Основным направлением кадровой политики является создание и поддержание целостной скоординированной системы по управлению персоналом, включающей подбор, обучение и переподготовку всех категорий сотрудников.

ОАО «ТОАЗ» осуществляет свою деятельность в соответствии с нормативными документами, утвержденными постановлением об охране окружающей среды. При проектировании расположения «ТольяттиАзота» учитывалось направление ветра и климатические особенности региона. Благодаря удаленности от центра города деятельность предприятия не окажет негативного влияния на качество воздуха в муниципалитете Тольятти.

В условиях цифровизации выбор силового оборудования является важной составляющей проектирования систем электроснабжения. Требованиями для выбора оборудования является соответствие условий эксплуатации этого оборудования его паспортным характеристикам.

Контроль за соблюдением экологических норм осуществляется Институтом санитарной промышленности и Институтом биологических очистных сооружений. Мониторинг воздуха в санитарно-защитной зоне предприятия и на промышленной площадке ТОАЗа осуществляется передвижной экологической автоматизированной лабораторией, соответствующей требованиям Росгидромета и сертифицированной Госстандартом.

Управление ТОАЗ состоит из процессов, обеспечивающих управление деятельностью предприятия в интересах акционеров и работников. Интересы акционеров представляет Совет директоров. Совет директоров взаимодействует с высшим руководством компании (управляющей компанией) и уделяет особое внимание поддержанию эффективной системы корпоративного управления. Организационная структура представлена на рисунке 14.

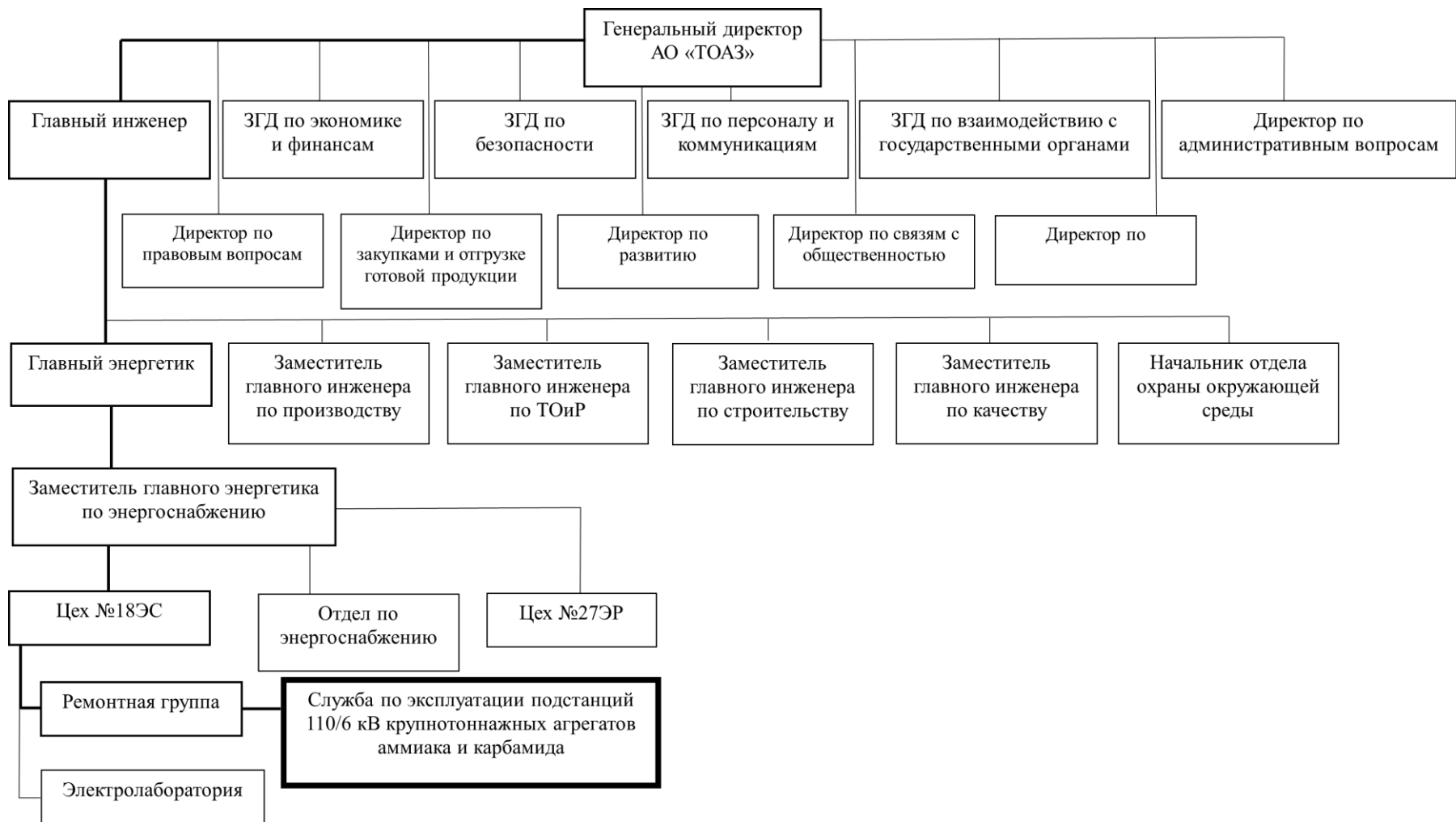


Рисунок 14 - Организационная структура управления

Основные причины внеплановых остановок технологического процесса:

- снижение сбыта продукции, как правило, остановка аммиакопровода «Тольятти-Одесса»;
- выход из строя оборудования;
- перебои с подачей внешних ресурсов для поддержания технологических процессов.

Также при плановых остановках технологического оборудования возникают простои по причине задержек в выполнении работ ремонтными службами оборудования. Данные простои возникают в результате выявленных неисправностей во время проведения ремонтных работ, внештатных ситуаций на работающем оборудовании, неточной технологической карты ремонта и т.д. На производственной площадке АО «ТОАЗ» в течение пяти лет было 19 внеплановых и 28 плановых остановок технологического оборудования. Проведем анализ простоя технологического оборудования, связанного с действиями электротехнического персонала.

За данный период причинами остановок производственного процесса из-за неисправности энергетического оборудования послужили:

- внештатные ситуации во внешних сетях электроснабжения;
- выход из строя энергетического оборудования в результате действия сторонних организаций и смежных производств;
- увеличение времени ремонта оборудования;
- неправильные действия электротехнического персонала.

Снизить влияние перечисленных причин, воздействующих на энергетическое оборудование невозможно. Поэтому в рамках данной аттестационной работы рассмотрим возможности уменьшения простоев технологического процесса за счет применения системы превентивной диагностики на основе искусственного интеллекта при организации ТОиР энергетического оборудования Службы эксплуатации подстанций 110/6 кВ

крупнотоннажных агрегатов аммиака и карбамида при плановых и внеплановых ситуациях в сетях электроснабжения.

2.2 Анализ надежности работы и действующего процесса обслуживания энергетического оборудования

Согласно Федеральному закону "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ, также согласно ГОСТ Р ИСО 50001-2012, на предприятии активно внедряются технологические процессы, и совершенствуются производства, что в свою очередь требует от системы электроснабжения надежности, стабильности и простоты. Обеспечение бесперебойного электроснабжения на опасных производственных объектах, к которым относится ТОАЗ, должно вестись в круглосуточном режиме.

Цех №18ЭС один из первых созданных цехов АО «ТОАЗ» (в первые годы цех электроснабжения имел порядковый номер 8), день начала работы цеха исчисляется от того момента, когда в цехе №18ЭС было подано напряжение на первую подстанцию предприятия.

Цех №18ЭС является самостоятельным структурным подразделением АО «ТОАЗ». Основной целью деятельности цеха является организация эффективного производства работ по бесперебойному обеспечению предприятия электроэнергией требуемых параметров, предупреждению возникновения аварий и неполадок, осуществлению постоянного надзора за надлежащей эксплуатацией и техническим состоянием электрооборудования с соблюдением требований промышленной, пожарной и экологической безопасности, производственного контроля и охраны труда.

За время деятельности цеха электроснабжения АО «ТОАЗ», структура цеха неоднократно корректировалась, в связи с тем, что внедрялось новое

оборудование, требующее новых компетенций от работников, а также интегрировались новые процессы управления на АО «ТОАЗ».

Цех возглавляет Начальник цеха №18 электроснабжения, в административном подчинении у которого находится 91 человек.

В цех входят следующие структурные подразделения (Рисунок 15):

а) ремонтная группа:

- 1) служба эксплуатации подстанций 110/6 кВ крупнотоннажных агрегатов аммиака и карбамида, состоящая из 4-х смен, под руководством старших мастеров смены. (А, Б, В, Г). Смены работают круглосуточно, согласно утвержденному графику;
- 2) служба по ремонту подстанций 110/6 кВ крупнотоннажных агрегатов аммиака и карбамида под руководством ст. мастера выполняет и организует капитальный и текущий ремонты электрооборудования подстанций в технологических цехах;
- 3) служба по ремонту и обслуживанию кабельных сетей, возглавляемая ст. мастером, выполняет и организует текущее обслуживание и ремонт кабельных линий 110/6 кВ;
- 4) служба по ремонту и обслуживанию электрооборудования объектов общезаводского назначения, возглавляемая старшим мастером, выполняет и организует ремонт и оперативное техническое обслуживание электрооборудования зданий общезаводского назначения;
- 5) служба по ремонту и обслуживанию вспомогательных цехов, возглавляемая энергетиком, выполняет и организует ремонт и оперативное техническое обслуживание электрооборудования вспомогательных цехов за пределами производственной площадки.

б) Электролаборатория:

- 1) служба по ремонту и обслуживанию релейной защиты и автоматики крупнотоннажных агрегатов аммиака и карбамида,

возглавляемая ст. мастером, выполняет и организует техническое обслуживание и ремонт релейной защиты и автоматики;

- 2) служба высоковольтных испытаний оборудования крупнотоннажных агрегатов аммиака и карбамида, возглавляемая ст. мастером, выполняет и организует профилактические испытания электрооборудования и кабельных линий 6 кВ;
- 3) служба телемеханики, возглавляемая ст. мастером, выполняет и организует проверку и наладку устройств телемеханики, эксплуатацию автоматических устройств учета электроэнергии и формирование данных по потребляемой электроэнергии и мощности для ОГЭ и диспетчерской службы Общества информации по потребляемой электроэнергии и мощности;
- 4) служба по ремонту и обслуживанию электроники и автоматики крупнотоннажных агрегатов аммиака и карбамида, возглавляемая ст. мастером, выполняет и организует ремонтные работы в технологических цехах на устройствах бесперебойного питания, тиристорных возбудителей синхронных двигателей, зарядных устройств, стационарных аккумуляторных батарей, преобразователей частоты, регуляторов напряжения, электронных блоков автоматов 0,4 кВ.

Основной целью деятельности старшего мастера смены является обеспечение качественного и бесперебойного снабжения электроэнергией всех подстанций и подразделений предприятия, организация правильной эксплуатации электрооборудования, предупреждение возникновения аварий и неполадок.

Основными задачами старшего мастера смены являются:

- обеспечение надежного, бесперебойного и качественного электроснабжения всех подстанций и подразделений;

- обеспечение исправного состояния электрооборудования, электрических коммуникаций, а также их сохранность;
- обеспечение безопасного обслуживания электрооборудования подчиненным персоналом, осуществление регулярного контроля над соблюдением работниками производственной и трудовой дисциплины.

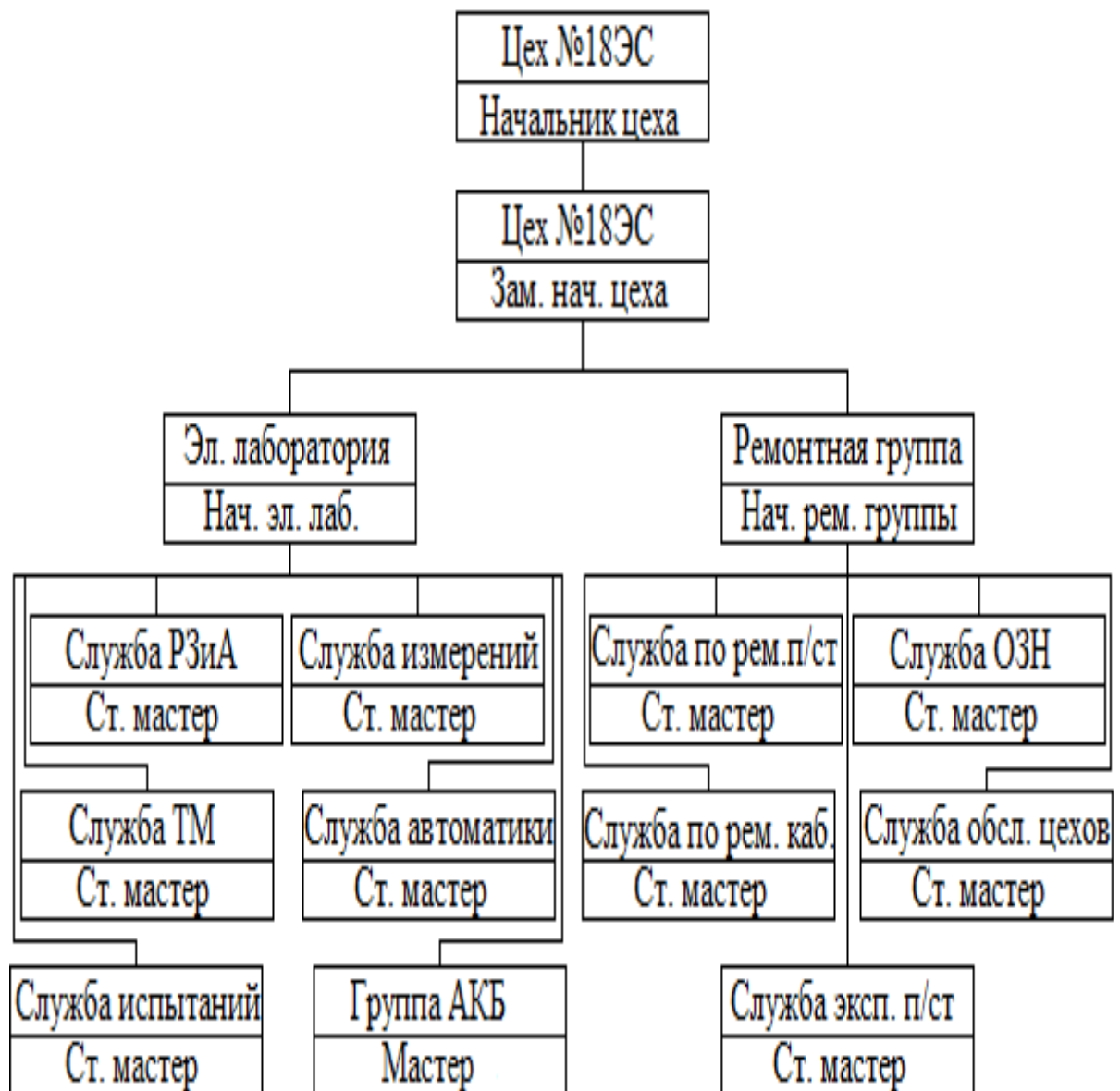


Рисунок 15 - Организационная структура Цеха №18ЭС

Основными задачами цеха электроснабжения являются:

- обеспечение надежной и безопасной работы энергетического оборудования Общества;
- обеспечение своевременного и качественного выполнения работ по текущему обслуживанию и ремонту энергетического оборудования, закрепленного за цехом, монтажу и наладке электрооборудования, осуществляемых персоналом цеха электроснабжения;
- оборудования, приспособлений, приборов, инструмента и прочей техники.

Электрооборудование находящиеся в зоне обслуживания цеха электроснабжения расположено как на территории технологических цехов, так и на производственной площадке, а также за ее пределами. Для выполнения ТОиР электрооборудования необходимо согласовать заявку на вывод в ремонт с технологическим персоналом данного подразделения и с электротехническим персоналом Службы заказчика ремонтов, обслуживающим данное подразделение.

Порядок согласования заявки на вывод в ремонт и ремонт электрооборудования:

- персоналом цеха №18ЭС (электролаборатория или ремонтная группа) подаётся заявка (плановая/внеплановая) на вывод в ремонт оборудования;
- ст. мастер службы эксплуатации подстанций 110/6 кВ крупнотоннажных агрегатов аммиака и карбамида согласовывает заявку с ответственными лицами согласно утверждённому перечню вывода в ремонт основного оборудования;
- оперативным персоналом службы эксплуатации подстанций 110/6 кВ крупнотоннажных агрегатов аммиака и карбамида выполняются организационно-технические мероприятия для выполнения работ;

- персоналом цеха №18ЭС (электролаборатория или ремонтная группа) выполняется техническое обслуживание или ремонт выведенного оборудования;
- оперативным персоналом службы эксплуатации подстанций 110/6 кВ крупнотоннажных агрегатов аммиака и карбамида выполняются организационно-технические мероприятия для ввода оборудования в работу.

Поскольку электрооборудования находится в технологических цехах, и технологическому персоналу данного подразделения совместно с электротехническим персоналом Службы заказчика ремонтов, обслуживающим данное подразделение, необходимо выполнить определенные операции, чтобы персонал цеха электроснабжения смог приступить к выполнению запланированных работ, увеличивается время на проведение самих работ.

При возникновении нештатной или аварийной ситуации в системе электроснабжения Общества, может произойти ситуация, в которой цех электроснабжения будет не проинформирован об обстановке технологического оборудования.

При устранении нештатной или аварийной ситуации могут возникнуть препятствующие сложности при вводе в работу резервной линии или оборудования [41]. Это приведет к увеличению времени при устранении возникшей нештатной или аварийной ситуации. А также к увеличению времени на включение резервного технологического оборудования, тем самым уменьшится выпуск основной продукции.

Процессы для выполнения ремонта электрооборудования отображены на рисунке 16.

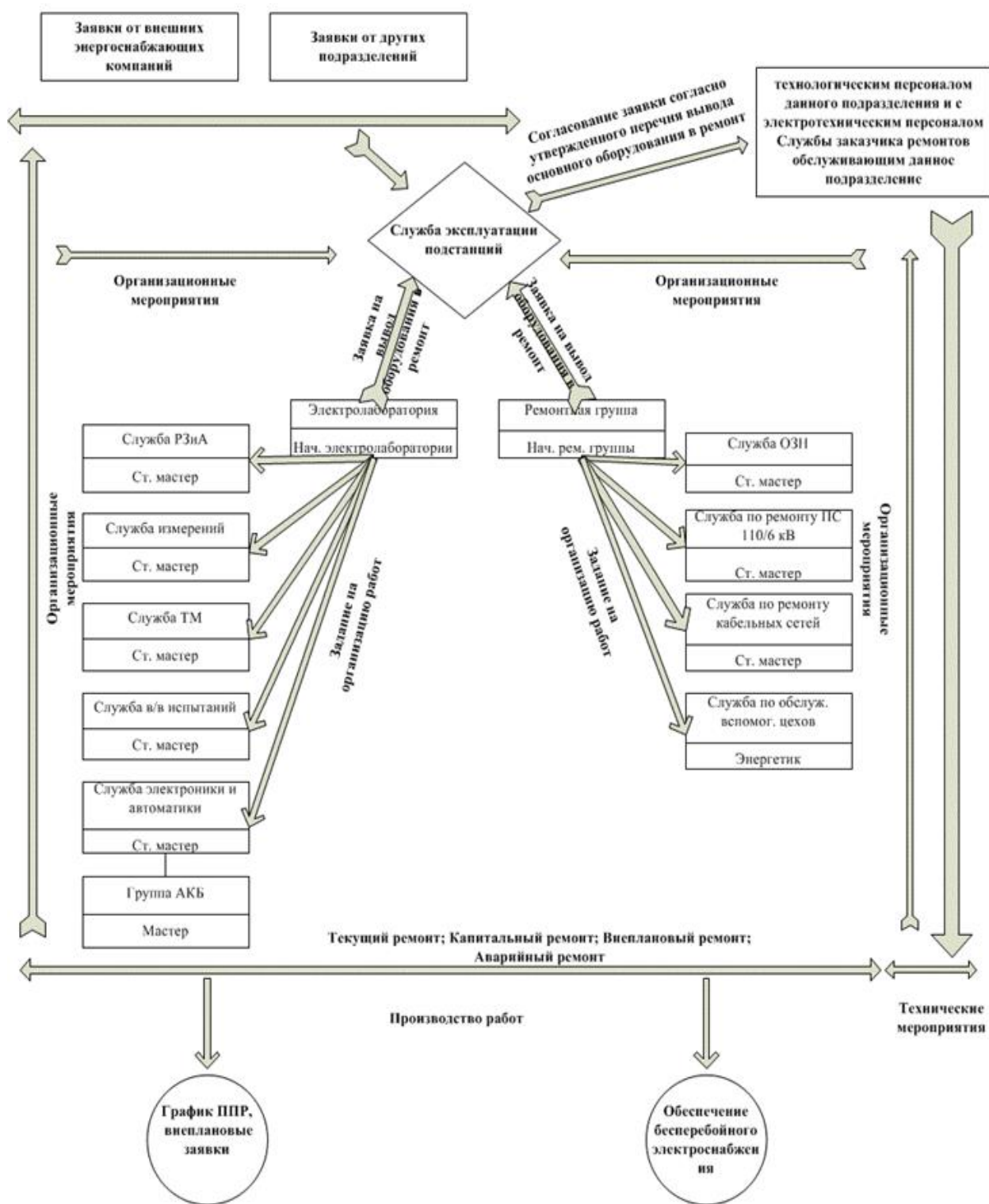


Рисунок 16 - Процессы для выполнения ремонта электрооборудования

В настоящее время процессы для выполнения ремонта отлажены, соответствуют всем инструкциям и нормативно техническим документам.

Тем не менее, имеют место случаи аварийной остановки производства из-за:

- изношенности силового электрооборудования, срок эксплуатации которого составляет более 40 лет;
- разбросанности электрооборудования по всей территории производственной площадки, так и за ее пределами;
- влияния внешних факторов на подготовку к ремонту и ремонт электрооборудования;
- человеческого фактора;
- возникновения внештатной ситуации в системе электроснабжения, при которой ст. мастеру необходимо оперативно оценить масштаб произошедшего, принять соответствующее решение и дать задание оперативному персоналу на восстановление нормального режима, с последующим заполнением большого объема технической и эксплуатационной документации собственноручно.

Все перечисленное, требует анализа организационных проблем и определения путей повышения надежности работы электрооборудования.

2.3 Выявление организационных проблем и путей повышения работы электрооборудования подстанций

Поскольку ТООЗ в настоящее время ориентируется на долгосрочную программу развития, компания ставит перед собой цель - постоянный рост капитализации, достижение максимальной эффективности и лидерства в производстве удобрений для обеспечения устойчивого развития Общества в интересах акционеров, партнеров, персонала и потребителей.

Соответственно, задача повышения надежности работы электрооборудования для обеспечения бесперебойного энергоснабжения основного производства является приоритетной.

Перебои в электроснабжении предприятий имеют гораздо более серьезные последствия, связанные недовыпуском продукции, остановкой производства и многомиллионными убытками [39].

В процессе эксплуатации электрооборудования должен поддерживаться нормальный режим работы оборудования, при котором параметры не отклоняются от номинальных за допустимые пределы. Обеспечение надежного электроснабжения и качества электрической энергии является задачей службы эксплуатации подстанций согласно приказу № 811 811 (Об утверждении правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии), в котором указано, что электросетевая организация должна обеспечивать стабильное электроснабжение потребителей, «технически присоединенных к электрическим сетям, что гарантирует стабильное электроснабжение. Однако в связи с существующими техническими проблемами необходимо внимательно изучить и другие аспекты. Необходимо разработать и внедрить методы диагностики оборудования и оценки его ремонтпригодности, выпустить новые формы технического обслуживания и ремонта изношенного электрооборудования, а также автоматизировать и информатизировать процесс управления» [21].

Текущая экономическая ситуация в электроэнергетике характеризуется рядом факторов, повышающих риск возникновения аварийных режимов в электросетях:

- высокий % старого оборудования в эксплуатации (более 60% старого оборудования находится в эксплуатации);
- переход от регулярного профилактического ремонта оборудования к обслуживанию по состоянию;
- низкая квалификация обслуживающего персонала по обслуживанию и ремонту оборудования.

Складывается следующая картина: осмотр и обслуживание изношенного оборудования осуществляется персоналом, который не

проводит регулярный профилактический осмотр и профилактическое обслуживание.

Своевременное выявление неисправностей и предотвращение аварийных ситуаций становится возможным благодаря интеграции современных технологий сбора и обработки данных. Кроме того, обеспечивается оперативный доступ к информации о потреблении электроэнергии. Это способствует рациональному управлению энергоресурсами и повышению энергетической эффективности.

Для своевременного предотвращения аварийных ситуаций в электросетях и повышения надежности электроустановок на подстанциях необходимо внедрять современные системы дистанционного мониторинга рабочего состояния электросетей.

В части цифровизации к типовым требованиям добавляются максимальное быстродействие, наличие возможности мониторинга положения контактов, наличие возможности мониторинга технического состояния.

Подстанции 6/0,4 кВ не подвергаются дистанционному мониторингу и обслуживаются только по факту возникновения аварийного режима. Таким образом, износ с каждым годом увеличивается и неизбежно ухудшает ситуацию.

«Известно, что для элементов с высокой интенсивностью отказов (характерной для изношенного оборудования) частота профилактического обслуживания обратно пропорциональна частоте аварийных ремонтов. Согласно этому положению, частота профилактических осмотров оказывает прямое влияние на снижение частоты аварийных ремонтов, если они проводятся квалифицированным персоналом, который может косвенно обнаружить ранние признаки отказов в оборудовании до того, как произойдет окончательный отказ» [17].

Учет скрытых неисправностей (дефектов) позволяет точно оценить работоспособность электрооборудования за пределами его срока службы и,

соответственно, определить оптимальные интервалы технического обслуживания.

По результатам анализа работы службы эксплуатации подстанций АО «ТОАЗ» и мировой практики управления энергетическими организациями, а также руководствуясь процессами, проводимыми в Обществе по трансформации ремонтного персонала, - предлагается внедрение электронной системы поддержки эксплуатации электрооборудования подстанций. Это позволит увеличить компетенции эксплуатационного персонала, улучшить эффективность работы при выполнении организационно-технических мероприятий, обеспечит мониторинг параметров электрооборудования и контроль коммутационного ресурса и скорости срабатывания автоматики и защит.

Выводы по 2 главе

Рассмотрена история химического предприятия АО «ТОАЗ», в том числе цеха №18 ЭС (электроснабжения), модернизация производственных мощностей, характеристика и анализ деятельности предприятия. Представлена информация о продукции выпускаемая химическим предприятием. Произведена подробная статистика по годам производимой продукцией (аммиак, карбамид, КФК и т.д.), численности работников и объему инвестиций. Представлена организационная структура управления предприятием. Разобрана организационная структура цеха электроснабжения (количество служб, их зоны ответственности, количество персонала), порядок согласования вывода в ремонт электрооборудования (организационные мероприятия). Проведен анализ надежности работы электрооборудования и действующие процессы по обслуживанию. Выявлены организационные проблемы и пути повышения работ электрооборудования подстанций. Представлены факторы, повышающие риски возникновения аварийных режимов в электросетях, а также ряд решений способствующих их устранению.

Глава 3 Разработка системы эффективности

3.1 Анализ надежности и энергоэффективности

Эффективная организация энергетического хозяйства в значительной степени зависит от корректного планирования производственно-хозяйственной деятельности, а также от нормирования и учета потребления энергетических ресурсов.

Методика расчета части субсидии, которая будет покрывать расходы на коммунальные услуги, а также зафиксировать фактическое потребление энергетических ресурсов на определенную дату в виде нормативного акта. Затем, при расчете субсидии на протяжении установленного периода, размер субсидии на оплату коммунальных услуг и содержание здания будет корректироваться только в случае изменения соответствующих тарифов. В то же время государственное (муниципальное) учреждение обязуется за счет собственных средств осуществить определенные мероприятия по энергосбережению, связанные с текущим ремонтом здания и оборудования. К таким мероприятиям могут относиться замена ламп накаливания, обновление определенного сантехнического оборудования и другие подобные действия. Для внедрения данного механизма необходимо заключение отдельного соглашения между учредителем и бюджетным учреждением, которое будет регулировать вопросы учета потребления ресурсов и определять перечень мероприятий по энергосбережению. Преимуществом предложенного механизма является то, что не требуется проводить специализированные конкурсные процедуры для привлечения профильной организации. Однако объем финансирования мероприятий по энергосбережению в этом случае будет довольно ограниченным, что может привести к относительно небольшой экономии энергетических ресурсов.

3.2 Предлагаемое решение, применительно к цеху №18ЭС ОА «ТОАЗ»

Для повышения надежности электроустановок в условиях эксплуатации был реализован ряд мероприятий, которые можно разделить на следующие группы

- разработка научных методов работы
- сбор, анализ и обобщение производственного опыта
- связанного с производством и проектированием изделий электрооборудования;
- повышение квалификации эксплуатационного персонала.

«Научные методы работы имеют подгруппы:

- Научно обоснованные методы подготовки изделий к эксплуатации;
- Техническое обслуживание, ремонт и другие мероприятия по повышению надежности работы энергетического оборудования.

Процедуры и методы реализации этих мероприятий изложены в соответствующих руководствах и инструкциях по эксплуатации конкретных изделий. Эффективность эксплуатационных мероприятий, направленных на обеспечение работы энергоустановок, повышается благодаря статистическим исследованиям их надежности. Накопленный опыт эксплуатации играет ключевую роль в этом процессе. Значительная часть этого опыта применяется для решения конкретных организационно-технических задач. Тем не менее, собранные данные должны использоваться не только для устранения текущих проблем, но и для обеспечения высокой надежности функционирования электростанции в целом» [27].

Правильная организация сбора данных о неисправностях имеет большое значение. Содержание мероприятий по сбору данных зависит от типа изделия и особенностей его эксплуатации. Источником статистической информации служат результаты различных испытаний и операций, которые регулярно оформляются в виде отчетов. Эффективность эксплуатационных

мероприятий во многом определяется квалификацией ответственных за эксплуатацию. Однако влияние этого фактора варьируется. Например, при выполнении простых операций в процессе обслуживания высокая квалификация сотрудников имеет незначительное значение, тогда как при проведении сложных операций, требующих субъективных решений, квалификация обслуживающего персонала становится ключевым фактором.

Нормативные документы и технические регламенты предусматривают проведение технического обслуживания энергетического оборудования, а также его ремонтов (текущих, среднесрочных и капитальных). В процессе эксплуатации энергетического оборудования низкая надежность может привести к технико-экономическим последствиям, таким как простой, расходы на устранение неисправностей и закупку запасных частей. Для обеспечения необходимого уровня надежности оборудования в ходе его эксплуатации требуется осуществить ряд мероприятий:

- меры по обеспечению соблюдения правил эксплуатации и режимов работы;
- мероприятия по возврату изделия в работоспособное состояние.

Оборудование должно являться наиболее современным из выпускающихся в настоящее время и обладать возможностью использования его в условиях цифровизации.

К первой группе мероприятий относятся:

- обучение обслуживающего персонала;
- соблюдение требований эксплуатационной документации; последовательность и правильность выполнения работ при техническом обслуживании энергетического оборудования;
- диагностический контроль параметров; обеспечение запасными частями;
- авторский надзор и др.

К основным видам деятельности второй группы относятся:

- координация системы технического обслуживания энергетического оборудования;
- регулярное управление состоянием энергетического оборудования; выявление остаточных ресурсов и предельного состояния путем технической диагностики;
- внедрение новейших технологий ремонта энергетического оборудования;
- анализ причин отказов и обеспечение обратной связи с разработчиками и производителями продукции.

«Некоторое энергетическое оборудование большую часть времени находится в состоянии хранения, что означает, что оно не выполняет свои основные функции. Большинство отказов такого оборудования обусловлено воздействием коррозии, пыли, грязи, а также температурными и влажностными условиями. В силовом оборудовании, которое чаще всего используется для выполнения своих задач, основными причинами отказов являются износ, усталость, механические повреждения и человеческий фактор в компонентах и узлах. В условиях простоя интенсивность отказов элементов значительно ниже, чем в рабочем режиме» [20]. Например, для электромеханических устройств это соотношение составляет 1:10, а для механических элементов - 1:30.

Системы мониторинга технического состояния силового электроэнергетического оборудования необходимы для заблаговременного предупреждения аварийных ситуаций путем постоянного анализа протекающих явлений.

Техническая политика АО «ТоАЗ» ориентирована на уменьшение объемов и времени, затрачиваемого на техническое обслуживание и ремонт, путем повышения надежности и долговечности ключевых компонентов. Для обеспечения необходимого уровня надежности энергетического оборудования в процессе эксплуатации запас запасных частей должен составлять 25-30% от стоимости машины. К основным методам повышения

работоспособности и долговечности узлов и агрегатов энергетического оборудования следует также отнести мероприятия, направленные на улучшение надежности на этапах проектирования, производства, сборки и монтажа [3].

Конструктивные мероприятия по повышению надежности можно условно разделить на следующие группы:

- конструктивные изменения;
- применение дополнительных устройств;
- улучшение свойств материалов;
- улучшение смазки, в том числе обеспечение жидкостного трения.

Технические мероприятия по повышению надежности условно можно разделить на следующие группы:

- поверхностное пластическое деформирование (наклеп);
- термическая обработка;
- химико-термическая обработка;
- напыление и термическое напыление;
- цинкование, хромирование, никелирование, боратное покрытие, эмалирование, фосфатирование и т. д.

Повышение надежности работы электростанций требует выполнения следующих организационно-технических мероприятий по техническому обслуживанию и профилактическим ремонтам:

- проверка состояния и работы энергоустановок
- планово-предупредительный ремонт;
- техническое обслуживание поверхностей трения и систем смазки;
- повышение квалификации и ответственности операторов и т.д;
- создание систем мониторинга состояния электроустановок;
- внедрение системы энергетических и сервисных контрактов на техническое обслуживание и ремонт электроустановок.

В 2017 году на Петербургском международном экономическом форуме президент РФ Владимир Путин призвал сформировать принципиально

новую, гибкую нормативную базу для внедрения цифровых технологий во все сферы жизни. Появились такие понятия как «Цифровая подстанция», «Цифровой питающий центр», «Цифровая электрическая сеть» [37].

После такого обращения наблюдается активное внедрение «цифровых технологий во всех аспектах человеческой жизни. В преддверии Четвертой промышленной революции процесс цифровизации рабочих процессов затронул и сферу электроэнергетики. Хотя идеи использования цифровых технологий в системах сбора и обработки данных, а также в управлении и автоматизации подстанций начали развиваться еще 15 лет назад, их стремительное развитие стало заметным лишь недавно. Практически все ведущие компании в электроэнергетической отрасли активно занимаются этой темой. Увеличивается количество теоретических и практических исследований, разрабатываются новые международные стандарты, образцы оборудования и опытные полигоны. Это создает возможности для внедрения инновационных подходов к автоматизации и управлению энергетическими объектами, что позволяет реализовать концепцию подстанции нового типа — цифровой подстанции» [36]. АО «ТОАЗ» не стал исключением и активно проводит улучшение процессов управления. Для реализации стратегических и масштабных целей, снижения дублирующих функций персонала и для улучшения эффективности работы руководители Компании проводят централизацию процессов.

В концепцию цифровой подстанции входят следующие понятия [31].

Цифровая подстанция (ЦПС) представляет собой автоматизированное устройство, которое оборудовано взаимодействующими цифровыми информационными и управляющими системами, работающими в режиме реального времени, и не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала.

Цифровой питающий центр – это цифровая подстанция, работающая на высоком напряжении, от которой электрическая энергия распределяется по распределительным устройствам потребителей.

Цифровая электрическая сеть – это организационно-техническое объединение объектов электросетевой инфраструктуры, оснащенных цифровыми системами для измерения параметров сетевого режима, мониторинга состояния оборудования и линий электропередачи, защиты и противоаварийной автоматики, а также управления сетевыми и объектными процессами. Информационный обмен между этими системами осуществляется по единым протоколам с обеспечением временной синхронизации.

Локальная вычислительная сеть (ЛВС) – это интегрированная, иерархическая распределенная система человеко-машинного взаимодействия, которая включает средства управления и измерения.

ПТК (Программно-технический комплекс) представляет собой единую, интегрированную иерархическую распределенную человеко-машинную систему, которая оборудована средствами управления и измерения (Рисунок 17).

Термин «Цифровая подстанция» (ЦПС) относится к специфической (цифровой) архитектуре и взаимодействию технологических систем подстанции, таких как релейная защита и автоматика (РЗА), автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), автоматизированные информационные системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) и другим. Это взаимодействие происходит как внутри каждой системы, так и между различными системами, а также между системами и первичным оборудованием.

Управление и функционирование таких подстанций основывается на программно-техническом комплексе цифровой подстанции (ПТК ЦПС), который делится на структурные уровни (уровень процесса, уровень присоединения и уровень подстанции). Эти уровни связаны друг с другом через сегменты локально-вычислительной сети Ethernet.

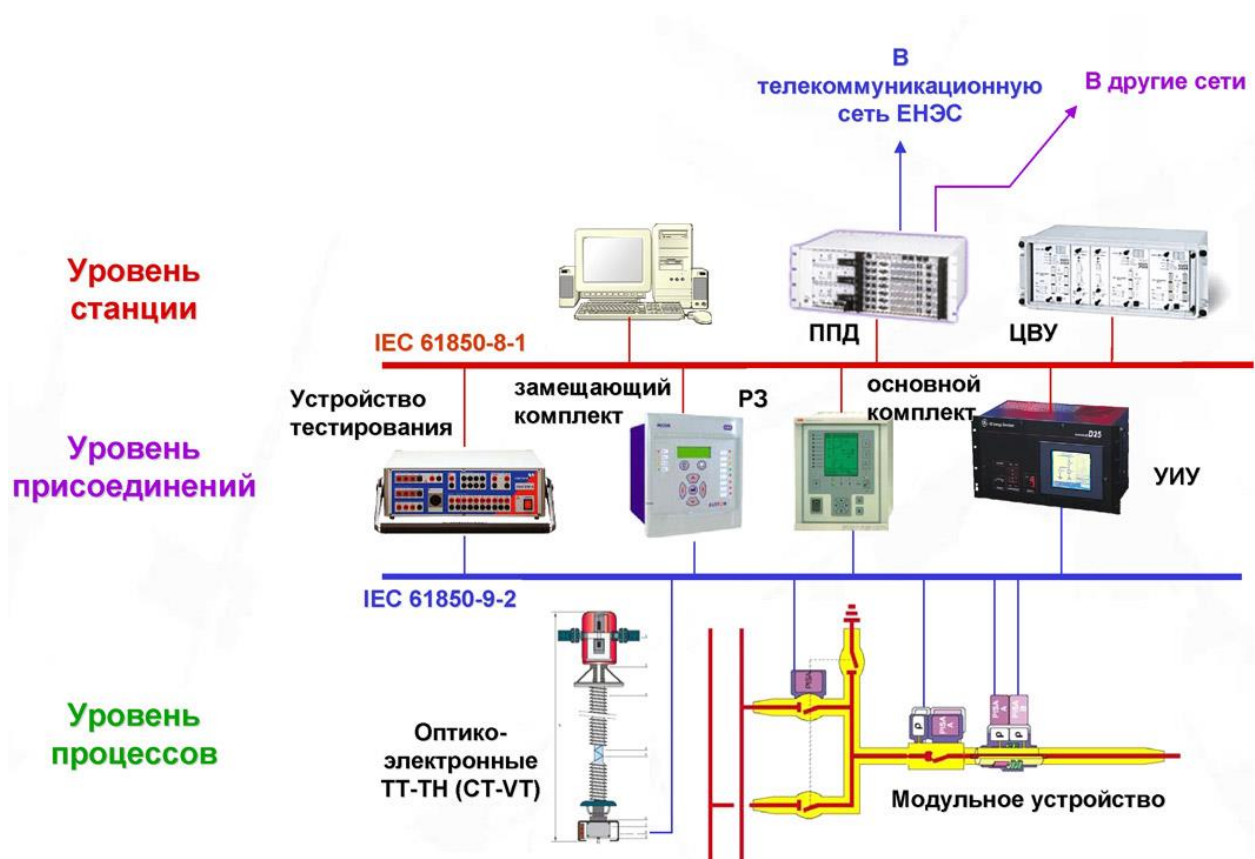


Рисунок 17 - Структурная схема системы поддержки эксплуатации электрооборудования подстанций на базе цифровой платформы [14]

Переход на цифровую передачу сигналов на всех уровнях управления электрооборудованием подстанции создаст технологическую инфраструктуру для внедрения информационно-аналитических систем.

Автоматизированные системы контроля и учёта электроэнергии в электрических сетях представляют собой сложные технические комплексы, обеспечивающие сбор, обработку и анализ данных о потреблении и передаче электроэнергии.

«Хотя тенденция к переходу на цифровые технологии в системах сбора и обработки информации, управления и автоматизации подстанций начала развиваться более 15 лет назад, первая в мире цифровая подстанция была введена в эксплуатацию только в 2006 году в Китае. В настоящее время ведущие компании-производители электроэнергетической отрасли по всему миру активно работают в этом направлении. Развитие электроэнергетики в

последние годы обусловлено фактором объединения электросетевой и информационной инфраструктуры. ЦПС - это элемент интеллектуальной электросети с системой контроля, защиты и управления, основанной на передаче информации в цифровом формате» [33]. Несмотря на то, что эта тема для АО «ТОАЗ» является новой, в настоящее время в мире насчитывается уже более 100 ЦПС в Китае, США, Канаде и других странах.

Предпосылкой к внедрению электронной системы поддержки эксплуатации электрооборудования подстанций стала программа по трансформации Дирекции по ремонтам АО «ТОАЗ» и внедрения системы ТОиР, а также появление стандартов, описывающих информационную модель подстанции, протоколы обмена между её элементами и оборудования, поддерживающего эти протоколы. Информационная безопасность и надёжность передачи данных обеспечиваются с помощью современных криптографических методов и протоколов связи.

Цели внедрения электронной системы поддержки эксплуатации электрооборудования подстанций, это:

а) Уменьшение капитальных затрат:

- 1) увеличение срока службы силового электрооборудования;
- 2) уменьшение затрат на проектирование, монтаж и пусконаладку;
- 3) доработка и модернизация систем автоматизации требует меньших капиталовложений, чем при реализации традиционных подходов.

б) Уменьшение эксплуатационных затрат (на техобслуживание):

- 1) упрощение эксплуатации и обслуживания;
- 2) увеличение точности измерений и увеличение, благодаря этому, точности учета электроэнергии;
- 3) сокращение возможности появления дефектов типа «земля в сети постоянного тока»;

- 4) сокращение количества внезапных отказов основного электрооборудования;
- 5) уменьшение количества сбоев, неправильной работы, отказов РЗА;
- 6) система диагностики охватывает как интеллектуальные устройства, так и пассивные преобразователи с их вторичными цепями;
- 7) обеспечивается возможность перехода на безлюдные технологии и событийный метод обслуживания электрооборудования.

Система поддержки эксплуатации электрооборудования функционирует на основе «архитектуры, которая обеспечивает возможность проведения эксплуатационных измерений в реальном времени, используя данные от первичной системы. Эти данные поступают от датчиков, встроенных в первичное оборудование. Обмен информацией между устройствами осуществляется на основе полученных результатов. Ключевым моментом является то, что интеллектуальные устройства и системы способны мгновенно обрабатывать эти оперативные» [9] данные в пределах подстанции.

Некоторые виды электрооборудования «на подстанции могут требовать обмена всеми или частью предварительно обработанных данных. Одна или несколько рабочих станций, под руководством старшего мастера Службы эксплуатации подстанций, могут использоваться для конфигурирования терминалов или для локальной концентрации и архивации данных энергосистемы. Для онлайн-мониторинга состояния могут применяться специализированные станции предупреждения (сигналов аварии), которые учитывают историю на основе базы данных каждого основного устройства» [36].

При внедрении новых технологий и специализированного программного обеспечения срок проектирования составит чуть более трех

месяцев, а трудозатраты приблизительно достигнут 1700 человеко-часов. Внедрение инновационных решений связано с определенными рисками, поэтому необходимо предусмотреть обучение, изменение подходов к проектированию, наладке и другим процессам.

Энергосервисный контракт изначально представляет собой соглашение, основанное на результатах энергетического аудита, и направлено на достижение экономии как в области энергетических, так и эксплуатационных затрат. Эффект достигается за счет реализации технических мероприятий, способствующих энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

Согласно условиям договора, исполнитель обязуется выполнять его за счет собственных средств и ресурсов. Возврат инвестиций осуществляется за счет экономии, которую получает потребитель после внедрения и реализации технических мероприятий в соответствии с энергетическими затратами.

Энергосервисный контракт - это услуга, целью которой является осуществление Подрядчиком мероприятий на электрооборудовании Заказчика. Услуги направлены на энергосбережение, сокращение затрат на ресурсы без финансовых вложений Заказчика.

«Более 99% энергосервисных контрактов, заключенных в рамках закона № 44-ФЗ, представляют собой три направления работ:

- модернизация системы наружного освещения;
- модернизация системы внутреннего освещения;
- сокращение потребления тепловой энергии.

Типовые комплексные подходы и решения, а также задачи по упрощению процедур подготовки закупок должны быть сосредоточены на этих направлениях. Энергосервисные контракты, относящиеся ко второму и третьему направлениям, в основном заключаются в учреждениях социальной сферы» [37], таких как образовательные, медицинские и культурные учреждения. Эти контракты были разработаны для того, чтобы помочь бюджетным организациям выполнить основную задачу, поставленную

государством, — сократить потребление энергоресурсов на 15%. Повышение энергоэффективности при реализации энергосервисных контрактов достигается через разработку и внедрение энергосберегающих проектов.

«Весь комплекс мероприятий можно условно разделить на четыре этапа:

- сбор информации о реальном энергопотреблении с оценкой потерь электроэнергии. Для этого используются методики проведения энергоаудита. В ходе проверки более пристальное внимание должно быть уделено техническому состоянию предприятия, режимам работы производственных линий и электрооборудования, а также исследованию технологического процесса с целью выявления «слабого» звена.
- также это поможет понять, насколько выгодно компания приобретает энергоресурсы у поставщика, правильно ли они расходуются, оценить полноту контроля над процессом энергопотребления, и будет ли выгодным внедрение более современных технологий.
- разрабатывается программа энергосбережения, включающая организационные и технические мероприятия, которые позволят обеспечить рациональное использование и экономию энергоресурсов. В программе приведено детальное технико-экономическое обоснование, на основании которого в дальнейшем может быть разработан целевой инвестиционный проект.
- энергоэффективность предприятия будет напрямую зависеть от правильности плана мероприятий, составленного на основании тщательно проведенного анализа. Поэтому важно включить в программу энергосбережения обязательные мероприятия, проведение которых необходимо в соответствии с требованиями нормативно-правовых документов. Также в плане будут отображены мероприятия, которые проводить необязательно, но они принесут экономическую выгоду.

- реализация утвержденного плана действий. Для реализации плана действия могут быть использованы наиболее выгодные для компании способы финансирования, как собственные средства, так и привлечение инвестиций и заемных ресурсов.
- исследование результатов проделанной работы, мониторинг состояния производственных мощностей, что позволит составить четкое представление о реальных показателях экономии и о том, в какой степени они соответствуют проектным» [30] данным.

«На долю электроэнергии в себестоимости готовой продукции в среднем приходится около 40%, важность рационального использования энергоресурсов переоценить сложно. Энергосбережение является важным фактором, который позволяет экономить ресурсы и повышать конкурентоспособность.

Рекомендуемые мероприятия по повышению эффективности энергоснабжения и снижению потерь на АО «ТОАЗ»:

- совершенствование системы учета электроэнергии;
- модернизация системы освещения;
- применение установки компенсации реактивной мощности;
- применение частотно-регулируемых электроприводов и т.д» [27].

«Совершенствование системы учета электроэнергии (коммерческий/технический учет) проводится с целью повышения достоверности потребления электроэнергии в подразделениях Общества, снижения коммерческих потерь потребления электроэнергии.

Путь совершенствования системы учета электроэнергии – создание, внедрение или модернизация автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета (АИИС КУЭ), так как АО «ТОАЗ» покупает электроэнергию на оптовом рынке электроэнергии.

Совершенствование систем учета электроэнергии включают в себя:

- обеспечение нормированных условий применения средств измерений;

- ремонт и замену морально и физически устаревших приборов учета";
- установку дополнительных приборов учета, приборов учета на напряжение 110 кВ» [25];
- защиту приборов учета от несанкционированного доступа и безучетного потребления электроэнергии.

«Мероприятия по организации системы учета электроэнергии включают в себя:

- оценка существующего состояния систем учета (коммерческого/технического) по границам балансовой принадлежности;
- дооснащение или модернизация приборами учета электрической энергии по точкам поставки гарантирующего поставщика и сетевых компаний;
- создание автоматизированных баз данных по потребителям электроэнергии (подразделений Общества) с их привязкой к электрическим сетям, для контроля за динамикой потребления электроэнергии по месяцам и годам, и ее соответствия динамике объема выпускаемой продукции;
- обеспечение удаленного автоматизированного сбора учетных данных;
- обеспечение возможности для потребителя применения при расчетах за электроэнергию многотарифного тарифа;
- обеспечение ведения журнала событий в приборе учета электрической энергии (включения, отключения электропитания, режимы и объемы потребления и т.д.).

Как показали предварительные результаты энергетического обследования, в АО «ТОАЗ» есть резервы по снижению потерь электроэнергии. Реализация этих резервов, снижение потерь до технико-экономически обоснованного уровня требуют квалифицированных и

согласованных усилий всего персонала энергослужбы Общества, а также руководителя первого звена и руководителей по направлению» [17].

Снижение потерь электроэнергии должно происходить в рамках развития электрических сетей Общества, включая их модернизацию, техническое перевооружение и ретрофит. Поэтому для реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в электрических сетях необходимо привлекать проектные и подрядные организации, а также поставщиков современного энергосберегающего оборудования.

«Опыт электросетевых компаний демонстрирует, что снижение потерь, как ключевой аспект энергосбережения в электрических сетях, представляет собой технологический процесс, включающий внедрение соответствующих организационных и технических мероприятий» [11].

«Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях является непрерывным процессом совершенствования технологий передачи и распределения электроэнергии, который требует постоянного внимания, ответственности и неформального подхода к делу» [5]. Предпосылки для модернизации системы освещения на площадке АО «ТОАЗ»:

- физически и морально устаревшее оборудование освещения проездов и территории производственной площадки;
- перерасход электроэнергии, связанный с эксплуатацией ртутных ламп;
- высокий процент вспомогательного персонала;
- снижена надежность работы системы освещения в связи с эксплуатации более 30 лет;
- неудовлетворительные условия труда в ночной период времени ввиду отсутствия на отдельных участках освещения;
- отрицательные экономические показатели.

Для снижения потерь на электроэнергию, повышения надежности и эффективности работы систем освещения на площадке АО «ТОАЗ» путем

замены традиционных источников света на современные энергоэффективные источники, без применения ртутных ламп, в том числе и во взрывозащищенном исполнении.

Для достижения этих целей в рамках энергосервисных контрактов требуется выполнить комплекс работ:

- предпроектное обследование площадки АО «ТОАЗ»;
- выполнить проектные работы сетей освещения площадки АО «ТОАЗ»;
- выполнить светотехнический расчет;
- выполнить поставку современного светотехнического оборудования;
- выполнить монтаж и реализацию проекта «под ключ».

Суммарная экономия при снижении потерь электроэнергии в месяц только за счет перехода на светодиодные светильники, без учета годовых затрат на замену, утилизацию ламп, а также на обслуживание светильников составит 30-40% от среднегодовых затрат на электроэнергию.

«Однако модернизация системы освещения не всегда ограничивается только заменой устаревших светильников на более современные. В некоторых случаях реконструкция может носить технический характер. Например, в рамках реорганизации производственных мощностей может разрабатываться комплексная программа, предусматривающая оценку степени износа электросетей Общества, в которое будет интегрирована система освещения» [34] площадки АО «ТОАЗ».

Предложенные мероприятия определяют ключевые направления для технологических и организационных изменений в работе службы эксплуатации подстанции. Они направлены на поиск новых механизмов, методов и алгоритмов для технологического управления процессами, а также их последующей трансформации с целью повышения эффективности и качества предоставляемых услуг, а также их доступности. Совокупность этих эффектов позволит обеспечить одновременное и качественное выполнение функций службы эксплуатации. Цифровая трансформация, осуществляемая

через внедрение указанных мероприятий, повысит надежность, качество и доступность передачи электроэнергии для технологических потребителей, а также создаст новую инфраструктуру для максимально эффективного процесса передачи электроэнергии.

Основная цель внедрения предложенных мероприятий заключается в изменении логики процессов и переходе службы эксплуатации подстанций на риск ориентированное управление, основанное на использовании цифровых технологий и анализе больших данных.

Задачи предложенных мероприятий:

- адаптивность службы эксплуатации подстанций к новым задачам и вызовам;
- улучшение характеристик надежности электроснабжения потребителей;
- повышение эффективности службы эксплуатации подстанций;
- повышение доступности электросетевой инфраструктуры;
- развитие кадрового потенциала и новых компетенций службы эксплуатации подстанций.

«Основные принципы предложенных мероприятий в рамках службы эксплуатации подстанций:

- обеспечение наблюдаемости объектов электроснабжения и режимов их работы;
- автоматизация управления технологическими процессами объектов электроснабжения;
- применение принципов автоматизированного риск-ориентированного управления;
- построение информационного взаимодействия со всеми службами цеха электроснабжения и потребителями (энергосети, потребители и другие субъекты электроэнергетики);
- интеграция и объединение различных ИТ-систем на всех уровнях» [36].

Основные принципы предложенных мероприятий в отношении регулируемых видов деятельности службы эксплуатации подстанций:

- обеспечение снижения потерь электроэнергии;
- оптимизация операционных и капитальных затрат;
- сокращение сроков организационно-технических мероприятий;
- повышение надежности электроснабжения потребителей;

Основные принципы предложенных мероприятий в отношении взаимодействия с другими субъектами:

- создание надежной, прозрачной и проверяемой системы коммерческого учета электроэнергии;
- создание инфраструктуры для простого и эффективного взаимодействия с потребителями (управление нагрузкой).

В основе предложенных мероприятий лежит совершенствование единой технической политики службы эксплуатации подстанций с учетом необходимых изменений технологических процессов. Указанные изменения должны базироваться на модели деятельности, формирование которой позволит создать и реализовать указанные задачи с учетом требований.

Основными вызовами для перехода к предложенным мероприятиям являются:

- увеличение темпов роста тарифов для конечного потребителя;
- нарастающий износ сетевой инфраструктуры;
- наличие избыточного сетевого строительства.

Активное внедрение предложенных мероприятий позволит существенно «сократить время реакции на актуальные вызовы экономики и потребностей потребителей. Эффективная реализация задач, стоящих перед службой эксплуатации подстанций и электроснабжения в целом, может быть достигнута эволюционным путем с использованием инновационных и прорывных технологий и решений, включая полный переход на цифровые сети, цифровые подстанции и цифровое управление. Кроме того, решение этих задач создаст возможности для предоставления новых сервисов» [18].

Предложенные мероприятия позволят повысить энергетическую безопасность АО «ТОАЗ» путем создания новых инфраструктурных возможностей и обеспечить новый уровень качества благодаря новым стандартам обслуживания. Интеграции технологических процессов, присущих передаче и распределению энергии, гарантирует эффективное управление потоками электроэнергии, снижение потерь и повышение стабильности энергосистемы. Архитектура системы позволяет обеспечивать беспрепятственное взаимодействие между различными компонентами электрической инфраструктуры. Это способствует координированным действиям управления и оперативному реагированию на изменяющиеся условия. В предложенных мероприятиях представлена модель и текущее видение с учетом актуальных на сегодняшний день технологий.

3.3 Алгоритм предлагаемого решения

«Взаимодействие с коммерческой инфраструктурой оптового рынка должно обеспечить переход к динамическому ценообразованию, позволяющему оперативно (вплоть до режима реального времени) оптимизировать объемы покупки электроэнергии за счет: изменения потребляемой мощности; вовлечения ресурсов собственной генерации; обратной продажи избытков электроэнергии на рынок [30].

Для этого потребуется внедрение интеллектуальных систем АСКУЭ (в нашем примере это будет ПО «Пирамида 2.0») у потребителей, способных решать задачи экономической оптимизации режимов и интегрированных с промышленными системами управления энергопотреблением, позволяющими оперативно изменять производственную и вспомогательную нагрузку в ответ на изменение ценовой ситуации на оптовом рынке» [26].

С развитием технологий подходы и требования к организации систем учёта и диспетчеризации постоянно эволюционируют. Небольшие системы трансформировались в сложные многоуровневые решения, включающие

разнообразное интеллектуальное оборудование. Однако их эффективность зависит не только от архитектуры, но и от актуальности базовых разработок.

«Программное обеспечение «Пирамида 2.0» представляет собой российское прикладное решение для учёта энергоресурсов (электричества, тепла, воды, газа и других сред), диспетчеризации и телемеханики. Оно создаётся с применением современных технологий и методов, предлагая возможности, практически не имеющие аналогов на рынке. «Пирамида» объединяет в себе постоянно обновляющийся отраслевой функционал, поддержку всего доступного на рынке измерительного оборудования, обработку больших данных и современную архитектуру сервисов» [29].

«Пирамида 2.0» — это единственный российский продукт, который используется в качестве стандарта для создания интеллектуальных систем учёта в энергетике, как в Российской Федерации, так и в странах СНГ. С 2016 года ЗАО «Электрические сети Армении» реализует проекты по цифровизации своих энергетических объектов, основываясь исключительно на программном обеспечении «Пирамида 2.0».

Автоматизированная информационно-измерительная система «Пирамида» (АИИС Пирамида) представляет собой проектно-компонуемое изделие, состоящее из технических средств, производимых различными изготовителями. Эти системы являются многоуровневыми и многофункциональными, с централизованным управлением и распределённой функцией измерений (внешний вид программы, с удобным и понятным интерфейсом представлен на рисунке 18).

«Актуальное решение в рамках импортозамещения. В последние годы ключевой тренд во всей ИТ-отрасли России заключается в расширении импортозамещения, нацеленности на применение отечественных ИТ-систем, системного и прикладного программного обеспечения.

Программное обеспечение «Пирамида 2.0» включено в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных

Минкомсвязи РФ, поддерживает отечественные и свободные ОС и СУБД» [10].

«Эффективность внедрения (представлено на рисунке 19). Внедрение программного обеспечения «Пирамида 2.0» позволяет:

- реализовать современные, надежные и высокоэффективные интеллектуальные системы учёта энергоресурсов любого масштаба;
- оптимизировать работу предприятий за счёт высокой степени автоматизации учёта энергоресурсов, телемеханики, диспетчеризации и управления технологическими процессами;
- обеспечить информационную защищённость и безопасность энергосистем, что особенно актуально, для объектов, относящихся к критической инфраструктуре;
- создать гибкую среду для принятия управленческих решений и формирования технической политики» [14];

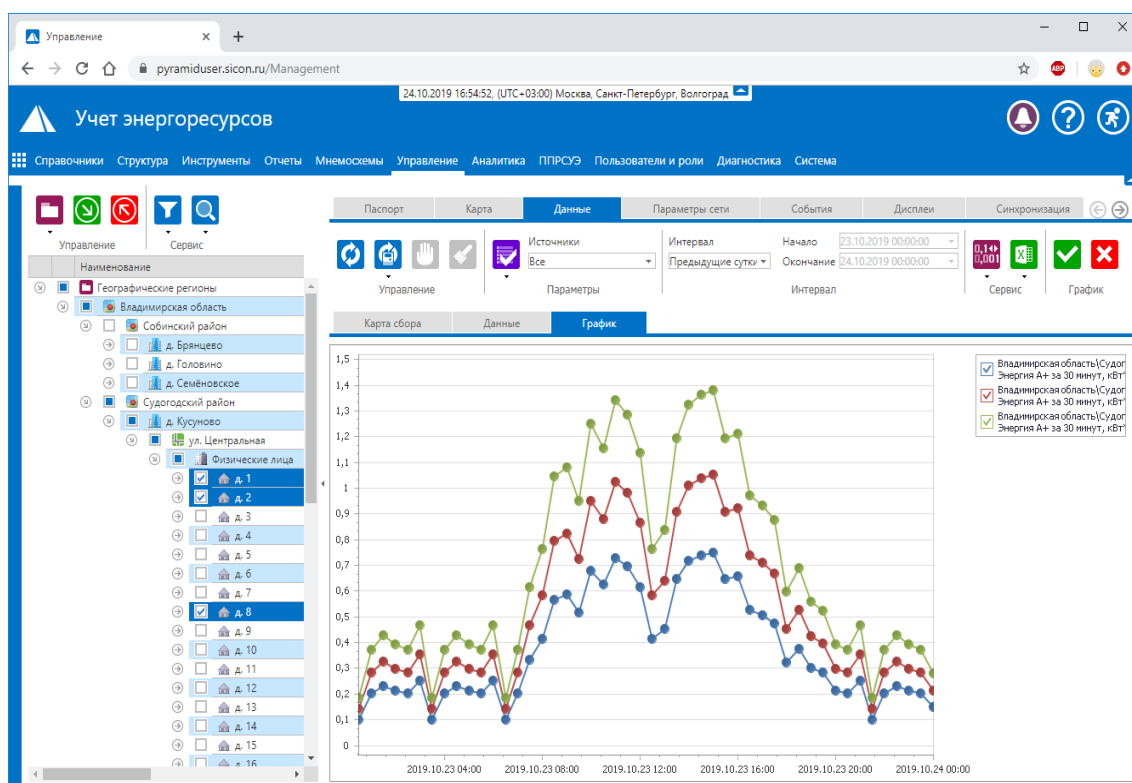


Рисунок 18 - График с данными потребляемой электроэнергии

- «внедрить эффективную инфраструктуру для взаимодействия как внутри компании (в том числе интегрировать информационные потоки с корпоративными системами), так и с внешними контрагентами (смежными субъектами рынка, органами власти);
- сократить затраты на эксплуатацию разнородных систем, объединить все средства автоматизации и учёта энергоресурсов в единое информационное поле, что, в свою очередь, существенно усиливает эффект от их применения и повышает качество реализуемых бизнес-функций» [22];
- исключение необходимости утверждения АИИС КУЭ в качестве единичного экземпляра СИ.
- снижение рисков несвоевременного получения актов о соответствии АИИС КУЭ техническим требованиям ОРЭМ;
- возможность выпуска АИИС Пирамида «в дополнение» к уже имеющимся системам единичного производства, у которых компонентный состав верхнего уровня (ИВК) соответствует описанию типа на АИИС Пирамида.

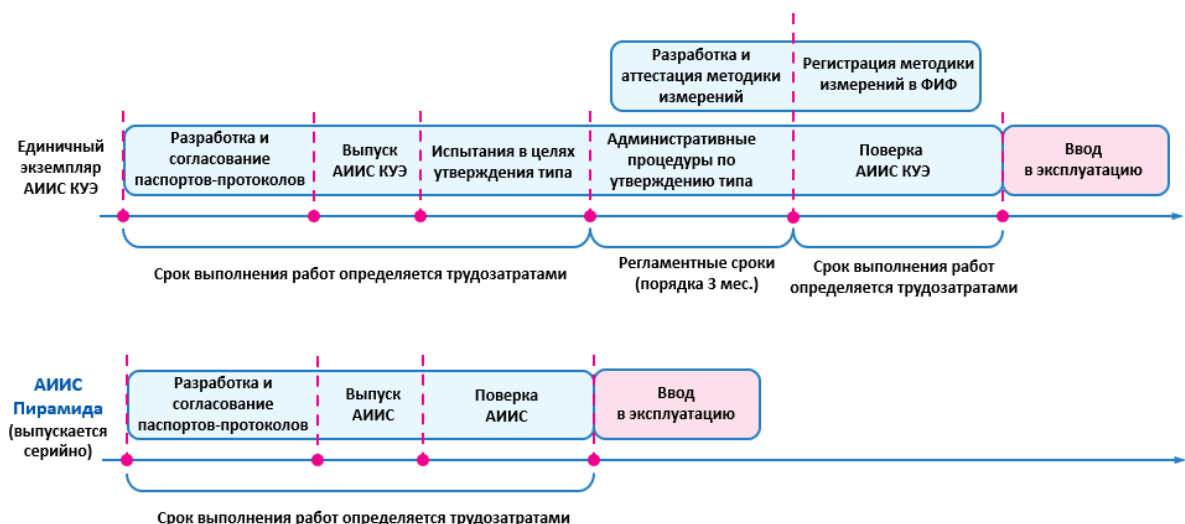


Рисунок 19 - Сравнение разработки и ввод в эксплуатацию

Используя систему учёта электроэнергии, а именно оперативные данные со счётчиков, а также сигналы телеизмерения и телеуправления мы можем эффективно выявлять и устранять возможные технические неполадки оборудования в эл. сети. Для этого нам необходимо построить модель, позволяющую более эффективно управлять потреблением электроэнергии, что в свою очередь повысит энергоэффективность.

«Наблюдаемые параметры режима при фиксированной эксплуатационной схеме позволяют провести оценку величины узловых нагрузок, используя кроме телеизмерений статистику по относительной загрузке трансформаторных пунктов (ТП). По результатам оперативной оценки состояния каждого фидера можно провести поиск оптимальных управляющих воздействий, используя известные методы анализа режимов электрических сетей. Сегодня эти методы, как правило, разработаны на основе итерационного решения систем узловых нелинейных уравнений и ориентированы на расчет режимов многократно замкнутых сетей. В отличие от магистральных сетей в распределительных сетях расчетная схема, соответствующая оперативному положению рабочих размыканий, является разомкнутой, граф которой представляется набором ветвей, образующих дерево, и хорд, соответствующих отключенным ветвям. Расчетная схема должна иметь одну точку поставки электроэнергии, обычно силовой трансформатор ГПП. При этом конфигурация сети и её параметры определяются, как обычно, заданием для каждой i -й ветви схемы замещения, включая и трансформаторные, номеров узлов начала $УН(i)$ и конца $УК(i)$ ветви в направлении питания, а также комплексного сопротивления $Z(i)$. Номера узлов могут приниматься произвольно или формироваться в соответствии с эксплуатационными обозначениями объектов сети. Корень дерева должен иметь специальное обозначение, например, отрицательный номер» [18]. Для определения путей питания каждой вершины, потоков по ветвям и других параметров режима, а также организации переходов к смежным частичным графам эффективно использование метода вторых

адресных отображений, которые для каждого $УН(i)$ определяются номером этого узла в массиве $УК$, т. е. по условию:

$$УН2(i) = \textit{if} (УН(i) = УК(j)) \textit{then} j. \quad (1)$$

«Диагностическое сообщение об ошибке при поиске вторых адресов появляется только при потере связности для некорректно сформированных массивов $УН$ и $УК$. Путь питания любого узла $УК(i_0)$, расположенного на месте i_0 в массиве ветвей, формируется последовательностью ветвей, определяемых рекурсивным выражением $i = УН2(i)$, начиная от $i = i_0$ и завершая по условию $i < 0$, если второй адрес для корня дерева принят отрицательным. Использование вторых адресов по сравнению с матрицей коэффициентов распределения позволяет более экономно использовать память и, главное, достаточно просто проводить реконфигурацию сети.

Одной из задач управления в распределительных сетях является поиск оптимальной оперативной схемы и параметров режима при изменении нагрузок, напряжения питающей сети и т. п. Критериями оптимизации для часовой ступени графика являются потери мощности, качество и надежность. Часто эти критерии бывают, противоречивы, поэтому поиск оптимального решения проводится в области Парето. Однако эту многокритериальную задачу можно свести к одному критерию. Надежность можно учесть как ограничение по допустимым параметрам режима и фиксацию некоторых размыканий в сети для обеспечения питания ответственных потребителей от двух источников. Критерий качества можно оценить по минимальному отпуску энергии при напряжениях, выходящих за пределы допустимой области, которая может быть индивидуальной для каждого характерного потребителя» [21].

В качестве независимых оптимизируемых параметров могут рассматриваться: уровень напряжения в центре питания, определяемый номером отпайки РПН, реактивная мощность установок малой генерации и

положение разрезов на полном графе сети. Часовые потери для существующей оперативной схемы, определяемой положением хорд графа сети, рассчитываются по формуле:

$$F_1 = \sum_{S \in S} (P_S^2 + Q_S^2) R_S / U_S^2, \quad (2)$$

где S – подмножество ветвей s эксплуатационной схемы;

P_s, Q_s – поток в ветви s ;

R_s – сопротивление ветви;

U_s – напряжение ветви.

Критерий, определяющий качество электроэнергии, учитывается произведением отпускаемой энергии на величину выхода напряжения за допустимый диапазон:

$$F_2 = \sum_{(i)} \delta_i P_i \cdot dU_i, \quad (3)$$

где P_i – нагрузка i -го узла;

$$\begin{aligned} \delta_i &= \text{if}(U_{\min} < U_i < U_{\max}) \text{ then } 0 \text{ else } 1; \\ dU_i &= \text{if}(U_i < U_{\min}) \text{ then } (U_{\min} - U_i) \text{ else } (U_{\max} - U_i). \end{aligned} \quad (4)$$

Обобщенный критерий определяется методом скаляризации:

$$F(X) = \alpha_1 F_1(X) + \alpha_2 F_2(X), \quad (5)$$

где X – вектор оптимизируемых параметров системы;

α_1, α_2 – коэффициенты скаляризации, определяемые экспертным путем.

«В рассматриваемой задаче коэффициенты могут определяться по экономическим условиям соответственно как тариф на потери и удельный ущерб от низкого качества электроэнергии.

На рисунке 20 приведена схема простейшей распределительной сети с двумя фидерами, установкой малой генерации, подключенной к ТП-15, и тремя реклоузерами. Рассматривается одна ступень суточного графика с известными часовыми нагрузками ТП, мощностью генератора и напряжением на шинах 110 кВ центра питания.

В качестве оптимизируемых параметров приняты: номер N отпайки РПН трансформатора, реактивная мощность Q генератора, место размыкания контура сети. В исходном положении $N=0$, $Q=300$ кВАр, разрез по ветви между ТП-15 и ТП-25. В этом режиме потери 42,83 кВт и нулевой ущерб. Учитывая различный характер регулируемых параметров, для оптимизации принят покоординатный метод режима при неизменных нагрузках для разного сочетания оптимизируемых параметров проводится методом вторых адресных отображений. В таблице 4 приведены значения целевой функции при изменении первой координаты – номера отпайки в диапазоне от $N=2$ до $N=-4$ при $\alpha_1=1$ и $\alpha_2=5$.

При найденной $N = -2$ проводится поиск реактивной мощности, в результате которого найдена оптимальная $Q=350$ кВАр, равная предельно допустимому значению. Потери при этом уменьшились до 37,71 кВт с сохранением $F_2=0$ » [32].

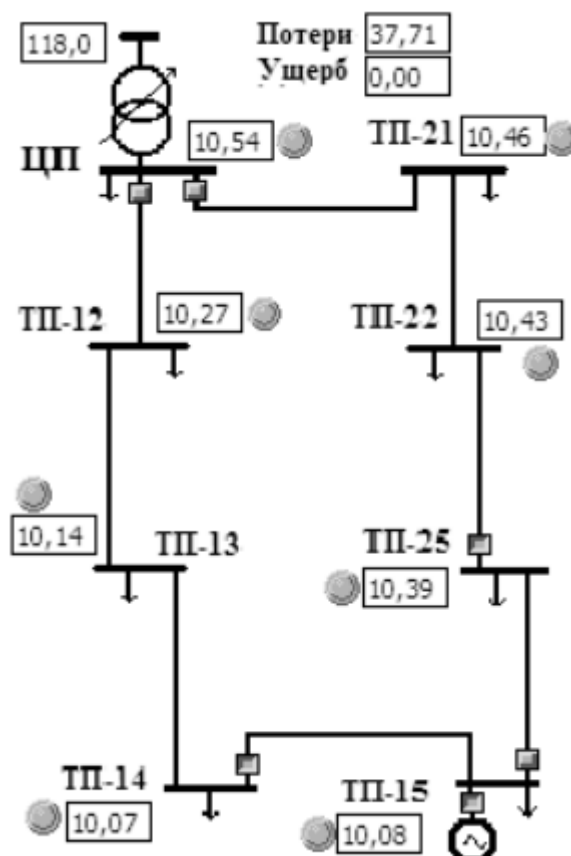


Рисунок 20 - Схема простейшей распределительной сети с двумя фидерами

«Оптимизация разреза переводом в сторону ТП-14 привела к росту критерия до значения $F = F_1 = 40,57$. Перевод разреза от исходного в другую сторону к ТП-25 также приводит к росту до $F = F_1 = 59,01$. Значит, разрез по ветви между ТП-15 и ТП-25 является оптимальным. Второй цикл оптимизации не приводит к изменению полученных значений оптимизируемых параметров.

При значительном изменении состояния сети и параметров режима потребления критериальные показатели возрастают, например, при отключении генератора до $F_1 = 105,7$ и $F_2 = 1,9$. Найденная в результате оптимизации оперативная схема, позволяющая уменьшить потери на 42,32 кВт, показана на рисунке 21» [12].

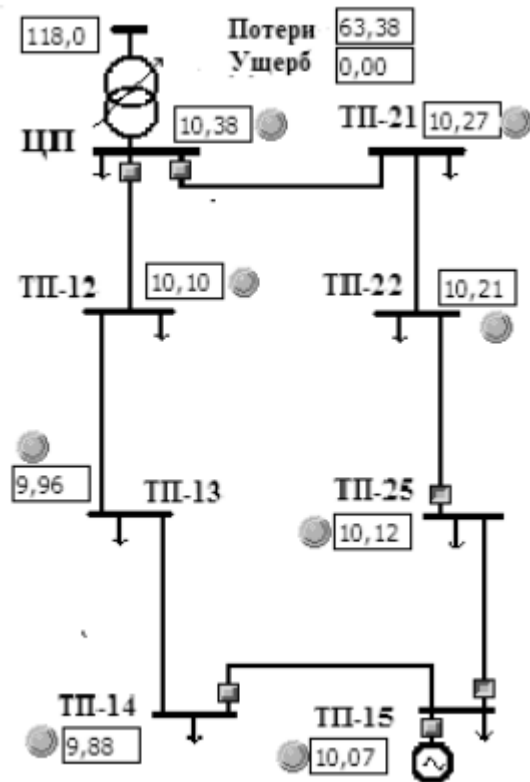


Рисунок 21 - Схема распределительной сети с двумя фидерами отображающая изменения состояния сети

Предложенный алгоритм оптимизации применим только при заданных узловых нагрузках. Поэтому предварительно должна решаться задача оценивания состояния сети, т. е. определения узловых нагрузок по данным телеметрии. В качестве критерия для оцениваемых параметров X примем квадратические нормированные отклонения расчетных параметров режима от телеизмерений:

$$\begin{aligned}
 F(X) = & \sum_{i=1}^4 ((I_{i\text{ТИ}} - I_i(X))/I_{i\text{ТИ}})^2 \\
 & + \sum_{i=1}^3 ((U_{i\text{ТИ}} - U_i(X))/U_{i\text{ТИ}})^2 + ((P_{i\text{ТИ}} - P_i(X))/P_{i\text{ТИ}})^2 \\
 & + ((Q_{i\text{ТИ}} - Q_i(X))/Q_{i\text{ТИ}})^2 \rightarrow \min
 \end{aligned} \tag{6}$$

Для решения задачи использован метод случайного поиска, реализованный по простейшему алгоритму с заданным числом циклов (рисунок 22). Блоки алгоритма выполняют следующие функции.

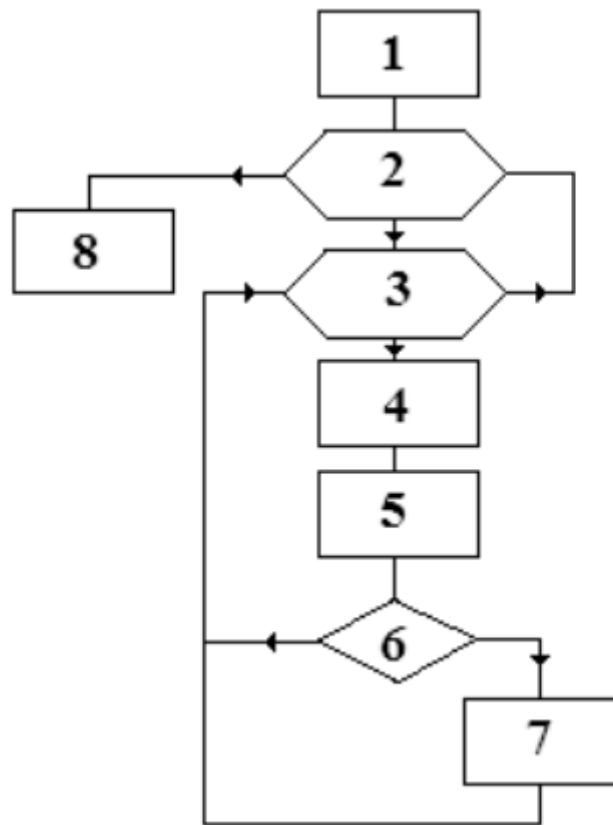


Рисунок 22 - Алгоритм метода случайного поиска

«В блоке 1 задается произвольное исходное значение оцениваемых параметров $X=X_0$ и заведомо большое значение $F=F_0$. Затем формируется цикл с числом проходов равным, например 100.

Внутренний цикл 3 определяется по количеству оцениваемых параметров. В блоке 4 определяется случайное значение каждой узловой нагрузки:

$$x_{ip} = x_i + (r - 0,5)d, \quad (7)$$

где d – окрестность, внутри которой определяется новая точка,

r – случайное число, равномерно распределенное в диапазоне 0 до 1.

В блоке 5 идет расчет режима и определение целевой функции F_p . Затем проверяется условие $F_p < F$, при выполнении которого в блоке 7 происходит замена в векторе X переменной x_i на x_{ip} и F на F_p .

В блоке 8 выдаются результаты X и F .

Метод случайного поиска показал неплохую сходимость и быстрое снижение $F(X)$ при любых исходных приближениях. В табл. 2 приведена динамика процесса оценивания для двух разных методов разнесения нагрузки между узлами» [19].

Таблица 4 - Изменения нагрузки при использовании метода оптимизации

Пройдено циклов	0	10	20	30	40	50	100
Пропорционально мощности трансформаторов	0,0477	0,0056	0,0011	0,0004	0,0002	0,00013	0,0001
Равномерная нагрузка	3,679	0,907	0,0317	0,0201	0,0100	0,0036	0,0001

«Для оптимизации использования ресурсов исполнительных устройств необходимо учитывать особенности режима потребления в действующей сети и оценивать продолжительность предстоящих изменений режима. Это позволит принимать обоснованные решения о запрете или выдаче управляющего сигнала на объект. Анализ динамики объекта можно осуществить, опираясь на исторические данные или организовав целенаправленный сбор статистики с использованием телемеханики и других методов измерений» [29].

Вывод по главе 3

Произведен анализ надежности и энергоэффективности. Рассмотрена энергосберегающая эффективность согласно федерального закона № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической

эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Представлены пути сокращения расходов энергоресурсов, такие как реорганизация предприятия, реконструкция производства, внедрения программ эффективного использования энергоресурсов и т.д. Проведено детальное обследование энергопотребления всех крупных потребителей энергии на химическом предприятии АО «ТОАЗ». Проанализирована организация учета энергопотребления (прогнозируемое и фактическое потребление электроэнергии), по итогу были выявлены ряд преимуществ оперативного контроля расходов электроэнергии на предприятии. Представлена роль стандартов энергоэффективности на примере стран Евросоюза и их экономическая выгода. Исходя из собранной информации, было разработано решение применительно к химическому предприятию АО «ТОАЗ». Разобраны основные принципы предложенных мероприятий в отношении эксплуатации электрооборудования. Разработан алгоритм эффективного управления потреблением электроэнергии, что в свою очередь повышает энергоэффективность и соответственно имеет экономическую выгоду для предприятия.

Заключение

В ходе 1 главы были рассмотрены подходы к проведению ремонтных работ, детально разобрали современные подходы к организации диагностики, технического обслуживания и ремонта электрооборудования на предприятиях химической отрасли, включая расчёты состояния оборудования, структурную схему системы предиктивной аналитики. Был обоснован экономический эффект от внедрения мониторинга разрабатываемой системы.

В ходе 2 главы было рассмотрено химическое предприятие ТольяттиАзот, его история, приоритеты. Была подробно представлена выпускаемая заводом продукция и его динамика. Разобраны структурные схемы организации, как высшего звена, так и непосредственно цеха отвечающего за электроснабжение предприятия. Проведен анализ надежности работы и действующие процессы по обслуживанию оборудования, а также выявлены организационные проблемы и пути повышения надежности работы оборудования подстанций.

В ходе 3 главы был проведен анализ надежности и энергоэффективности электрооборудования на предприятии, обозначены процессы по сокращению расходов энергоресурсов, представлен принцип сбора и обработки данных по эл. энергии АО «ТОАЗ». Представлены решения, которые можно применить к предприятию, повышающие надежность работы оборудования. Представлена автоматизированная информационно-измерительная система учёта энергоресурсов «Пирамида 2.0», и эффективность её внедрения. Разработан алгоритм, способствующий эффективному распределению энергетических ресурсов.

Научная новизна данной работы:

В современном мире энергетические ресурсы становятся все более важным и ценным активом. Поэтому эффективное управление распределением электроэнергии играет ключевую роль в обеспечении

стабильного и надежного энергоснабжения. Алгоритмы управления, основанные на цифровых системах, позволяют автоматизировать процессы контроля и распределения электроэнергии, что способствует оптимизации работы энергосистем и снижению времени управляющего воздействия.

Одним из главных преимуществ цифровых систем управления является возможность оперативного принятия решений на основе анализа большого объема данных. Такая система может быстро и точно определять потребность в электроэнергии, прогнозировать нагрузку и оптимизировать распределение ресурсов. Это позволяет сократить время реакции на изменения в энергосистеме и минимизировать вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Кроме того, применение цифровых систем управления позволяет улучшить энергоэффективность оборудования и снизить потери электроэнергии.

Одним из ярких примеров применения алгоритмов управления распределением электроэнергии с использованием цифровых систем является "умные сети". Это инновационная технология, которая позволяет автоматизировать управление нагрузкой, оптимизировать работу подстанций и предсказывать возможные проблемы в сети. Благодаря этому уменьшается риск перегрузки системы, снижаются затраты на обслуживание и улучшается качество энергоснабжения.

Таким образом, использование системы управления распределением электроэнергии позволяет не только снизить время управляющего воздействия, но и повысить эффективность использования энергетических ресурсов (до 2 %). Это способствует стабильности работы энергосистем, сокращению затрат и снижению нагрузки на окружающую среду. В перспективе такие технологии могут стать стандартом в энергетической отрасли, обеспечивая более эффективное и устойчивое энергоснабжение.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Андрюшин А.В. Создание систем предиктивной аналитики для энергетических объектов. [Электронный ресурс]. URL: <https://docplayer.ru> (дата обращения 06.11.2024).
2. Андрюшин А.В., Щербатов И.А., Цуриков Г.Н., Титов Ф.М. Создание систем предиктивной аналитики для энергетических объектов. Московский энергетический институт. 2019. С. 460.
3. Беленков А. В., Шашкова Е. О., Макаренко Е. М. Энергоэффективность и энергосбережение: учебное пособие. 2012. С. 212.
4. Берко И. А. Расчет электрических нагрузок. 2020. С. 64.
5. Воротницкий В. Э. Снижение потерь электроэнергии – важнейший путь энергосбережения в электрических сетях. Журнал «Энергосбережение» № 3, 2014. С. 22-27.
6. Грачева Е. И. Анализ методов расчета электрических нагрузок промышленных объектов. 2019. С. 190.
7. Грачева Е. И. Исследование методов расчета электрических нагрузок цеховых систем промышленного электроснабжения. 2019. С. 120.
8. Грачева, Е. И. Оценка точности расчета электрических нагрузок промышленных предприятий. Журнал «Вести высших учебных заведений Черноземья». № 3, 2018. С. 3-12.
9. Грибков Д.А., Кузнецов А.В. Интеллектуальные системы управления электроэнергетическими комплексами. 2015. С. 120.
10. Дайнеко В.А., Забелло Е.П., Прищепова Е.М., Эксплуатация электрооборудования и устройств автоматики. 2014. С. 180.
11. Дворянчиков В.В., Жевжиков В.Г. Интеллектуальные электроэнергетические системы. 2018. С. 306.
12. Жариков А.С. Активные сети электроэнергоснабжения: технологии и практика. 2019. С. 180.

13. Жуков И.П., Олейник А.В. Концепции управления электроэнергетикой устойчивы. 2017. С. 220.
14. Жукова Е.А. Цифровая подстанция – важный элемент интеллектуальной энергосистемы. [Электронный ресурс]. URL: <https://ruscable.ru> (дата обращения 06.11.2024).
15. Китаев, А. Р. Анализ способов представления нагрузок при расчетах режимов работы электрических сетей. 2012. С. 110.
16. Костин В.Н., Сериков В.А. Компьютерное моделирование режимов работы систем электроснабжения с нелинейной нагрузкой. Журнал «Научно-технические ведомости СПбПУ». №17, 2019. С. 19-29.
17. Кудряшов А. А., Данилов Ю. А. Формирование энергосберегающей культуры на предприятии. 2017. С. 419.
18. Ларин В.Г., Ионов В.В. Активно-адаптивные сети электроснабжения. 2016. С. 268.
19. Лотова И. С., Лучников И. А. Энергосбережение на производстве: методы и технологии. 2019. С. 340.
20. Плющева О. И. Энергосбережение на предприятии: практическое пособие. 2016. С. 360.
21. Разумов Р.В. Системы мониторинга высоковольтного энергетического оборудования. [Электронный ресурс]. URL: <https://energybase.ru> (дата обращения 06.11.2024).
22. Разумов Р.В., Михайлов А.В., Соловьев М.Ю., Системы мониторинга высоковольтного энергетического оборудования. [Электронный ресурс]. URL: <https://energybase.ru> (дата обращения 06.11.2024).
23. Рябин Т.В., Давыдов Е.Ю., Энергосервисные контракты как механизм повышения энергоэффективности. Журнал «Энергия единой сети». №20, 2015. С. 60-69.
24. Рябин Т.В. Повышение энергоэффективности промышленных объектов. Внедрение энергосервисных контрактов. [Электронный ресурс]. URL: <https://abok.ru> (дата обращения 03.11.2024).

25. Саидходжаев А. Г. Совершенствование методов расчета городских электрических сетей на основе характерных суточных графиков нагрузок. Журнал «Электротехнические системы и комплексы». №20, 2012. С. 191-198.
26. Седнев В. А. О методологии расчета электрических нагрузок и прогнозирования параметров электропотребления объектов. 2017. С. 142.
27. Серазидинова А. В. Исследование расчета электрических нагрузок методом трехступенчатой кратчайшей функции. Журнал «Электроснабжение». №52, 2019. С. 160-162.
28. Сидоров В.А. Современные подходы к организации технического обслуживания и ремонта. Журнал «Главный механик». №8, 2017. С. 2-4.
29. Сидорова Я. Ю. Устойчивость системы электроснабжения. Расчет устойчивости узла нагрузки. 2019. С. 386.
30. Спицын А. Д. Порядок расчета электрических нагрузок в сетях напряжением до 1 кВ. 2019. С. 166.
31. Стандарт организации ПАО «Россети» от 29.03.2019 № СТО 34.01-21-004-2019 (ред. от 29.03.2019). «Требования к технологическому проектированию цифровых подстанций напряжением 110-220 кВ и узловых цифровых подстанций напряжением 35 кВ». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosseti.ru> (дата обращения 03.11.2024).
32. Степанова Е. Д., Захарченко Д. В. Энергосбережение в зданиях и сооружениях. 2018. С. 218.
33. Толокнова О. М. Методы расчета электрических нагрузок для оптимизации процесса электроснабжения морских и речных. Журнал «Труды международного симпозиума "Надежность и качество"». №2, 2019. С. 57-60.
34. Ушаков В.Я., Энергетика. Журнал «Известия Томского политехнического университета». № 4, 2009. С. 27-30.
35. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 26.07.2019) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской

Федерации». [Электронный ресурс]. Консультант Плюс: справочно-правовая система.

36. Цифровая подстанция – важный элемент интеллектуальной энергосистемы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ruscable.ru> (дата обращения 03.11.2024).

37. Энергосбережение. Эффективность использования энергоресурсов. [Электронный ресурс]. URL: <https://extxe.com> (дата обращения 03.11.2024).

38. Araujo, Whester J. Monocriteria and multicriteria based placement of re-active power sources in distribution systems. International journal of applied mathematics and informatics, 2017. Vol. 5. №3. P.240 – 248.

39. Kamboj S., Dahiya, R. Evaluation of DTLR of power distribution line from sag measured using GPS. Energy, Automation, and Signal (ICEAS), 2021. P: 1 – 6.

40. Krontiris T., Wasserrab A., Balzer G. Weather-based loading of overhead lines-Consideration of conductor's heat capacity in Proc., 2020. P. 1 – 8.

41. Petkova N. Software System for Finding the Incipient Faults in Power Transformers [Text] // TEM Journal. – 2015 –Vol.4.- Issue 2. – PP.125-129. – URL: <https://doaj.org/article/01633a9c5a2441cf90ec26c35df3e719/> (дата обращения 01.11.2024).

42. Raniga J.K., Rayadu R.K. Dynamic rating of transmission lines - a New Zeland experience, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2020. P. 48 – 54.