

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 системы учета и контроля показателей качества электрической энергии системы электроснабжения КВЦ «Экспофорум»»

Обучающийся

М. В. Сафронова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.п.н., доцент, М. Н. Третьякова

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

Тольятти 2024

Содержание

Введение.....	3
1 Анализ проблемы качества электроэнергии.....	5
1.1 Влияние качества электроэнергии на характеристики систем электроснабжения	5
1.2 Нормативная база по качеству электроэнергии.....	8
2 Энергосбережение.....	11
2.1 Экономические основы энергосбережения.....	11
2.2 Способы снижения потребления электроэнергии	16
2.3 Примеры внедрения энергосберегающих технологий.....	16
2.3.1 Энергосберегающие технологии на основе семейства компактных газоразрядных ламп	16
2.3.2 Освещение на основе светодиодных технологий.....	17
3 Анализ способов улучшения показателей качества электроэнергии	19
3.1 Повышение коэффициента мощности	19
3.2 Снижение потерь электроэнергии на освещение	20
3.3 Минимизация потерь на ЛЭП.....	25
3.4 Энергосбережение электроприемниками	26
3.4.1 Оптимизация пусковых характеристик асинхронных электродвигателей.....	30
3.4.2 Чувствительность к изменениям параметров в сети.....	32
3.5 Энергосбережение средствами релейной защиты и автоматики	32
3.6 Влияние технического учета электроэнергии на энергоэффективность систем электроснабжения	39
4 Систематизация сведений о показателях качества электрической энергии	42
5 Типовые нарушения качества электроэнергии у потребителя.....	49
6 Общая оценка надежности проектируемой системы	64
Заключение	65
Список используемых источников	67

Введение

Качественное электроснабжение является главным условием стабильной и бесперебойной работы всех помещений данного предприятия. Электрическая энергия необходима для питания осветительного оборудования, систем климат-контроля и безопасности, компьютерной техники и др. Для непрерывного функционирования комплекса обязательно нужно иметь надежную систему электроснабжения. А также необходим постоянный мониторинг системы качества электрической энергии (СМКЭ). Также обязательным условием эффективного функционирования энергосистемы на всех этапах, от производства до потребления, становится автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ).

«Проведенные исследования показали, в сетях 110-220 кВ, нарушения требований действующего стандарта по нормам качества электрической энергии имеют массовый и систематический характер во многих энергосистемах»[5].

Понижение качества электрической энергии неизбежно ведет к изменению режима работы электроприемника. Это приведет к снижению производительности рабочего механизма, качество продукции может ухудшиться, также может сократиться срок годности электрооборудования и увеличится вероятность несчастных случаев. Мониторинг качества на КВЦ «Экспофорум» устраняет отмеченные проблемы и, в целом, повышает эффективность работы электрооборудования этого предприятия.

Мониторинг качества электрической энергии необходим так же, как и его поддержание, ведь осуществить второе без первого не представляется возможным. Одним из основных условий сокращения расходов и повышения экономической эффективности производства и себестоимости выпускаемой продукции – это внедрение энергосберегающих технологий на предприятии.

Внедрение энергосберегающих технологий в долгосрочной перспективе, на примере массового внедрения на уровне районов и областей, дает экономию средств в более чем 50%, учитывая все затраты на этапе модернизации и строительства проектов освещения, которые на сегодняшний день требуют колоссальных экономических ресурсов.

Комплексное внедрение современного энергоэкономного оборудования даст колоссальные плюсы промышленным предприятиям и существенно повлияет на снижение себестоимости конечной продукции.

Поэтому в данной работе осуществляется разработка системы учета и контроля показателей качества электрической энергии системы электроснабжения. Также рассматриваются основы энергосбережения и способы снижения потребления электроэнергии, приводятся критерии возникновения проблем в электрических сетях и пути их возможных решений. Анализируются примеры внедрения энергосберегающих технологий.

Целью данной работы является повышение эффективности работы электрооборудования КВЦ «Экспофорум» за счет внедрения системы мониторинга показателей качества электроэнергии на данном предприятии.

Для достижения поставленной цели были установлены и реализованы следующие мероприятия:

- Изучение и систематизация теоретического материала на тему качества электроэнергии, требований к проектируемой СМКЭ, изучение действующих стандартов и оценка качества электроэнергии в России;
- Изучение методов измерений электрических параметров присоединений и статистической обработки данных, реализованных в счетчиках-измерителях BINOM3;
- Разработка структурной схемы СМКЭ согласно требованиям ГОСТ 33073-2014 и ГОСТ 32144 (Рисунок 11);
- Проверка измерительных трансформаторов тока;
- Общая оценка надежности проектируемой системы.

1 Анализ проблемы качества электроэнергии

1.1 Влияние качества электроэнергии на характеристики систем электроснабжения

Качество электрической энергии (КЭ) – набор свойств электрической энергии, позволяющих нормально работать в электроэнергетической системе и потребителям.

Надежность электроснабжения и работа оборудования без перебоев напрямую связаны с качеством электроэнергии. Плохое качество электроэнергии приводит к техническим и технологическим проблемам, экономическим потерям и угрозе для жизни и здоровья людей. В связи с этим, потребители ставят все более высокие требования к качеству и надежности. Сетевые компании заинтересованы определить причины и ответственных за плохое качество электроэнергии.

Из-за плохого качества электроэнергии увеличиваются дополнительные расходы у потребителей, за счет этого возрастают требования к качеству и надежности. Установить причину проблем с качеством электроэнергии для электросетевых компаний является вопросом номер один, для этого принимаются все необходимые меры.

Контроль качества электрической энергии требует, чтобы показатели качества четко соответствовали нормам и стандартам качества. Возникают случаи, требующие дополнительного анализа для определения виновных сторон и выявления причин плохих показателей.

«Определение ПКЭ задача нетривиальная. Это потому, что большинство процессов, протекающих в электрических сетях – быстротекущие, все нормируемые показатели качества электрической энергии не могут быть измерены напрямую – их необходимо рассчитывать, а окончательное заключение можно дать только по статистически обработанным результатам. Поэтому для определения ПКЭ необходимо выполнить большой объём

измерений с высокой скоростью и одновременной математической и статистической обработкой измеренных значений»[31].

Качество электроэнергии в сети взаимосвязано с уровнем потребляемой реактивной мощности и величиной электрических потерь, расходуемых на нагрев оборудования. При положительном отклонении напряжения потребляемая электроприемниками мощность увеличивается. Когда же имеет место отрицательное отклонение напряжения, то величина потребляемой мощности уменьшается. «Недостатки высокого уровня напряжения вызывают дополнительные расходы, которые перекладываются на потребителей электрической энергии. Высокий уровень напряжения вызывает сильный износ изоляции кабелей и оборудования, что очень затратно для сетевых компаний и потребителей»[22].

Электричество является не только физическим явлением, с развитием рыночных отношений в электроэнергетике электричество является еще и товаром, имеющим высокое качество и отвечающее всем требованиям на рынке.

Проанализируем опубликованные источники информации и выявим типичные нарушения КЭ, имеющие место в последние годы. За основу возьмем данные по ПКЭ, представленные различными авторами в следующих источниках информации: [3], [15], [16], [21], [23], [31].

Например, в статье [31] приведены карты, «которые отражают состояние КЭ в различных регионах страны по показателям: отклонению напряжения (δU), коэффициенту n -ой гармонической составляющей напряжения ($U_{(n)}$), суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения (K_U), коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности (K_{2U}). Для δU было принято допущение, что значения показателя являются неудовлетворительными, если зафиксированы очень высокие (более 10% от номинального) или низкие (ниже номинального) его значения, а также диапазон изменения величины δU в течение суток составляет более 5%» [31].

«Результаты анализа позволили сделать следующие выводы о состоянии КЭ в электрических сетях России:

- Нарушение требований действующего стандарта [8] имеет массовый и систематический характер во многих энергосистемах;
- Наибольшие уровни K_U и $K_{U(n)}$ наблюдаются в электрических сетях, питающих электрифицированную железную дорогу переменного тока, алюминиевые заводы и крупные металлургические предприятия;
- Нарушения K_{2U} имеет место в электрических сетях, питающих электрифицированную железную дорогу переменного тока;
- Неудовлетворительные значения δU , как правило, наблюдаются в дефицитных энергосистемах с протяженными электрическими сетями и недостаточным количеством средств компенсации реактивной мощности»[31].

Плохое качество электроэнергии приводит к большим экономическим потерям, над этой проблемой думают и пытаются решить уже несколько десятилетий. Федеральный Закон №184-ФЗ «О техническом регулировании» внес изменения в категорию документов добровольного применения, включая стандарты на КЭ.

После внедрения систем договоров существенно повысилось качество электроэнергии, вследствие повышения ответственности участников рынка.

Из этого делаем вывод о том, что изменения нормативно-правовой базы обязано помогать повышать мотивацию субъектов электроэнергетики внедрять решения по КЭ. В части потребителей необходимо повышать ответственность за нарушения приводящие к проблемам в сетях.

1.2 Нормативная база по качеству электроэнергии

«Перечень ПКЭ, их нормативные значения, критерии оценки, методы измерений, требования к средствам измерений (СИ) установлены государственными стандартами и отраслевыми нормативными документами»[30].

Государственные стандарты по качеству энергии приведены в таблице 1. Отраслевые документы приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Государственные стандарты контроля качества энергии

Название стандарта	Межгосударственный/ Российский стандарт	Вступление в действие
Требования к средствам измерений ПКЭ		
«Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия»[14]	ГОСТ 22261-94	1 января 1996 г.
«Государственная система обеспечения единства средств измерений. Средства измерений показателей качества электрической энергии. Общие технические требования»[13]	ГОСТ Р 8.655-2009	1 июля 2010 г.
«Государственная система обеспечения единства средств измерений. Средства измерений показателей качества энергии. Методики проверки»[15]	ГОСТ Р 8.656-2009	1 июля 2010 г.
«Государственная система обеспечения единства средств измерений. Средства измерений показателей качества электрической энергии. Методы испытаний»[16]	ГОСТ Р 8.689-2009	1 июля 2010 г.

Продолжение таблицы 1

Название стандарта	Межгосударственный/ Российский стандарт	Вступление в действие
Методы измерений и нормы качества электроэнергии		
Электрическая энергия. «Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии» [12], [33].	ГОСТ 30804.4.30-2013	1 января 2014 г.
Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электропитания и подключаемых к ним технических средств.	ГОСТ 30804.4.7-2013	1 января 2014 г.
«Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Функциональные и конструктивные требования»[17], [34]	ГОСТ Р 51317.4.15- 2012	1 января 2013 г.
«Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электропитания общего назначения»[25], [35]	ГОСТ 32144-2013	1 июля 2013 г.
«Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электропитания общего назначения»[25].	ГОСТ 33073-2014	1 января 2015 г.
Требования к счетчикам электроэнергии		
Аппаратура для измерений электрической энергии переменного тока. Общие требования испытания и условия испытаний. Часть 11 Счетчики электрической энергии	ГОСТ 31818.11-2012 (IEC 62052-11:2003)	1 января 2014 г.

Продолжение таблицы 1

Название стандарта	Межгосударственный/ Российский стандарт	Вступление в действие
Аппаратура для измерений электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 22. Статические счетчики активной энергии переменного тока классов точности 0,2S и 0,5S	ГОСТ 31819.22-2012 (IEC 62053-22:2003)	1 января 2014 г.
Аппаратура для измерений электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 23. Статические счетчики реактивной энергии.	ГОСТ 31819.23-2012 (IEC 62053-23:2003)	1 января 2014 г.

Таблица 2 – Отраслевые документы

Название документа	Вступление в действие
«Методические рекомендации по техническим характеристикам систем и приборов учета электрической энергии на основе технологий интеллектуального учета»[26]	Приказ №86 Министерства энергетики РФ от 22 марта 2011 г.
«Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе»[27]	22 февраля 2017 г.
«Основные технические требования к системе мониторинга и управления качеством электроэнергии в ОАО «ФСК ЕЭС» »[23, 35]	Распоряжение № 377р от 06.06.2012 г.
«СТО 56947007-29.200.80.180-2014 ОАО «ФСК ЕЭС»[32] Преобразователи измерительные для контроля показателей качества электрической энергии. Типовые технические требования»[36]	8 июля 2014 г.
«Функциональные требования к Программно-техническим комплексам Системы мониторинга и управления качеством электроэнергии на уровне МЭС»[37]	26 сентября 2016

Выводы по разделу 1

Приведенная нормативная база – основа для контроля показателей КЭ, мониторинга и учета ЭЭ. Мотивирование субъектов электроэнергетики к реализации решений по улучшению КЭ возможно за счет изменений в нормативно-правовой базе и повышения ответственности за нарушения.

2 Энергосбережение

2.1 Экономические основы энергосбережения

Существенное увеличение потребления энергетических ресурсов связано с износом и старением оборудования на предприятиях, потребляющих большие объемы энергоресурсов.

Эти факторы повышают себестоимость продукции, тем самым является катализатором постоянного роста расходов на энергетические ресурсы. По этой причине промышленным производствам необходимо постоянно работать над снижением потребления энергоресурсов.

Очень важным условием повышения экономической эффективности и себестоимости готовой продукции, а также сокращения расходов является глубокая модернизация производственного процесса при использовании энергосберегающих технологий на предприятии. Предприятия хотят снизить финансовые потери и от этого нет экономических стимулов и инструментов помогающих в энергосбережении, поэтому предприятия не заинтересованы проектировании и дальнейшей реализации планов и методов энергосбережения.

Факторы указанные выше приводят к отсутствию программ энергосбережения и часто разработаны для отчетности, формально.

В тоже время, успешное развитие методов энергосбережения в нашей экономике будет иметь положительный эффект только при комплексной реализации, четко спланированной, многочисленных программ, внедряя постепенно на отдельно взятых предприятиях, в разных отраслях промышленности. Это требует разработки новых подходов, изучения и последующее создание методической и методологической базы, отвечающих и учитывающих текущие реалии в современных технологиях и учитывающие возможности современной техники и оборудования.

По причине отказа от внедрения энергосберегающих мероприятий и технологий очень негативно, а в некоторых отраслях фатально сказывается на экономической составляющей предприятия, нанося серьезные экономические потери. А также, постоянное увеличение расходов в промышленности негативно сказывается на социально-экономической ситуации и часто влияет на экологическую составляющую. Кроме того, нехватка и рост цен на экономические ресурсы препятствуют внедрению современных технологий на производственных базах предприятий и замедляют развитие отечественных научно-технических исследований в области энергосбережения.

Для того, чтобы сохранить по максимуму финансы при планировании энергосберегающих мер необходимо:

- повысить энергетическую эффективность в производственных издержках, что приведет к накоплению денежных средств на техническое обслуживание оборудования;
- развитие и улучшение методов оценки эффективности программ по энергосбережению с целью их внедрения.

Внедрение специальных программ, включающих в себя различные мероприятия, тщательно проработанные и направленные на решение конкретных проблем дают максимально положительные результаты в области энергосбережения на предприятиях. В первую очередь нужно определить все факторы, влияющие на эффективность энергосбережения, необходимо определить их технико-экономические показатели, а также не во вторую очередь встает проведение классификации объектов энергосбережения предприятия. После всего вышперечисленного можно определить ряд факторов, которые помогут разработать экономическую модель энергосбережения для промышленных предприятий.

Все предприятия имеют разные технологические процессы, стадии производства, экономическую эффективность, у каждого производства своя специфика – все это должно быть учтено в разработанной модели энергосбережения.

Определяем и разбиваем предприятие на зоны энергосбережения:

- основное производство;
- вспомогательное производство;
- проработка и модернизация;
- снабжение и ремонт;
- логистика;
- другие зоны предприятия.

Энергосберегающую программу нужно внедрять, учитывая все вышеперечисленные зоны энергосбережения.

В отечественной и мировой промышленности рациональному использованию энергетических ресурсов отдается большое внимание и ведутся активные научные разработки.

Процессы, влияющие на общеэкономические факторы и условия:

- административно- законодательные процессы;
- законы, действующие в данном регионе;
- экономические процессы;
- муниципально- социальные процессы;
- наличие и доступ к научным процессам;
- наличие и доступ к техническим процессам;
- экологические процессы.

Для достижения положительных результатов выявляем основные факторы, выжные элементы для правильного внедрения энергосберегающих мероприятий на промышленных предприятиях.

«Основные факторы энергосбережения в разных экономических условиях, влияющие на энергосбережение:

- Техничко-технологические факторы - это технологическая база, постоянное улучшения технологий и постоянное улучшение работы оборудования.
- Законодательные и нормативные факторы – это совершенствование законодательной и нормативной базы.

- Информационно-аналитические факторы – это оперативность обработки, передачи и сбора данных, качество алгоритмов аналитических программ, оперативность проведения анализа.
- Финансово-экономические факторы – это объем собственных средств, возможность привлечения заемных средств, необходимый уровень финансовых вложений, экономическая обоснованность финансирования энергосберегающих мероприятий.
- Мотивационные и стимулирующие факторы - наличие экономической и иной заинтересованности персонала.

Первая группа факторов отражает технико-технологические подходы энергосбережения и являются отражением состояния технологической и технической баз предприятия.

Очень часто на большом количестве предприятий используется старое оборудование, что очень осложняет реализацию энергосбережения.

Данные подходы являются технологическим энергосбережением и оцениваются количественно.

Вторая и третья группы факторов отражает организационные подходы, реализация, которых требует изучения современной нормативно-правовой базы энергосбережения. И должна быть на всех государственных уровнях.

Информационное обеспечение энергосбережения необходимо для принятия адекватных управленческих решений, направленных на повышение энергетической эффективности промышленных предприятий»[4].

«Четвертая и пятая группа факторов отражают социально-экономические факторы, которые завязаны на объемы имеющихся собственных средств и доступность заемных средств.

Не всегда и не для всех групп можно четко проанализировать эффективность, что в итоге является следствием недостаточности учета всех факторов и применения их на производствах.

Используются мало- и среднетратные мероприятия, которые показывают организационные и социально-экономические методы

энергосбережения, влияющие на реализацию технических и технологических методов.

К положительным методам снижения энергоемкости продукции можно отнести структурную перестройку экономики и производственно-технологических процессов конкретного предприятия.

Выявляются также факторы активной и пассивной формы, которые основаны на результате различных комбинаций.

Активная форма снижает расход энергоносителей на единицу продукции вследствие снижения его материалоемкости, переходом на новые технологии или вследствие прямой замены более энергоемких видов продукции менее энергоемкими и т.д. Данную группу факторов следует отнести к факторам научно-технического прогресса.

Пассивная форма экономии энергии основана на увеличении производства менее энергоемкой продукции в общем ее объеме, без изменения удельной энергоемкости, на совершенствовании логистических схем транспортировки энергии и размещения производительных сил на территории страны, что позволяет отнести эти факторы к организационным.

Последняя группа факторов объединяет социальные, экологические и политические факторы, влияющие на энергосбережение.

Спрос на энергоносители, как показал анализ источников, определяется экономическим ростом и благосостоянием общества, уровнем платы за загрязнение окружающей среды, энергетической стратегией государства. В России перечисленные составляющие не стимулируют потребителей к энергосбережению, что приводит к увеличению энергопотребления»[6].

2.2 Способы снижения потребления электроэнергии

В современном мире с каждым годом появляются новые технологии, которые положительным образом влияют на экономическую составляющую энергосберегающих технологий.

На сегодняшний день всё еще достаточно высокая цена на светотехническую продукцию. Но массовое внедрение энергосберегающих светильников все равно выгодно на долгосрочную перспективу.

Большим преимуществом в настоящее время является использование современных технологий, которые обеспечивают существенную экономию средств на электричество и обслуживание, к примеру, существенно увеличивается уровень освещенности.

2.3 Примеры внедрения энергосберегающих технологий

2.3.1 Энергосберегающие технологии на основе семейства компактных газоразрядных ламп

Рассмотрим пример внедрения энергосберегающих технологий на основе семейства компактных газоразрядных ламп.

Минусы:

- сильный внешний звук пускорегулирующей аппаратуры;
- постоянное мерцание света;
- долгое повторное включение лампы пока пока температура не придет в норму.

Плюсы:

- высокая яркость, соответственно увеличение площади освещения и качества освещения;
- нет потерь в излучении на весь срок службы;
- большой срок службы если сравнивать с галогенными лампами и лампами накаливания;

- высокая эффективность, как следствие снижение затрат на эксплуатационные расходы;
- небольшие размеры.

Цвет излучения: от нейтрально-белого до желтого.

Области использования - наружное освещение: улицы, дороги, площади, туннели, аэродромы, строительные площадки, архитектурные сооружения, аэропорты, железнодорожные вокзалы, производственные и складские помещения и т.д.

Газоразрядные лампы классифицируются на металлогалогенные, ртутные и натриевые лампы.

2.3.2 Освещение на основе светодиодных технологий

Внедрение светодиодов на сегодняшний день – это самое эффективное и перспективное направление в освещении.

Светодиод - это полупроводниковый источник света, который излучает свет при протекании через него тока.

Светодиодные светильники не требуют специальных условий по обслуживанию и утилизации, они обладают высокой экономичностью энергопотребления и являются экологически чистыми. Непрерывный срок службы светодиодного светильника составляет не менее 80 тыс. часов, что значительно выигрывает перед лампами накаливания.

Выводы по разделу 2.

Разработка и внедрение новых технологий в системах освещения существенно увеличивает положительный экономический эффект.

В данном разделе рассмотрен пример внедрения энергосберегающих технологий на примере уличного освещения. Даже здесь внедрение энергосберегающих технологий в долгосрочной перспективе дает экономию средств в более чем 50%.

Комплексное внедрение современного энергоэкономного оборудования даст колоссальные плюсы промышленным предприятиям и существенно снизить себестоимость конечной продукции»[21] .

Чтобы получить максимально положительные показатели энергосбережения, предприятия внедряют программы энергосбережения.

Они состоят из многочисленных мер, которые глубоко проработаны и нацелены на проблемные области. Внедрение специальных программ, включающих в себя различные мероприятия, тщательно проработанные и направленные на решение конкретных проблем дают максимально положительные результаты в области энергосбережения на предприятиях. Нужно выявить факторы, которые негативно влияют на эффективность энергосбережения, необходимо определить их технико-экономические показатели, а также не менее важно провести классификацию объектов энергосбережения предприятия. После этого можно будет определить те факторы, которые будут полезны для разработки экономической модели энергосбережения на промышленных предприятиях.

3 Анализ способов улучшения показателей качества электроэнергии

3.1 Повышение коэффициента мощности

«В настоящее время компенсация реактивной мощности (КРМ) является самым простым и дешевым способом увеличения энергоэффективности электрических сетей. Высокое содержание высших гармонических составляющих в сети предприятия снижает коэффициент мощности, приводит к перегреву и обусловленному этим преждевременному старению изоляции и выходу из строя элементов СЭС, ложным срабатываниям защит, перебоям в сети работы компьютерного оборудования и т.д. Компенсация реактивной мощности (РМ) и фильтрокомпенсирующие устройства позволяют решать обозначенные выше проблемы»[1].

Принцип действия КРМ показан на рисунке 1.

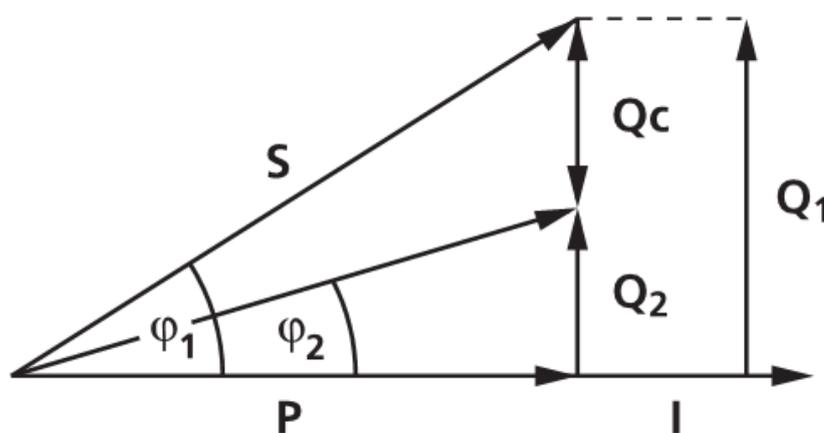


Рисунок 1 –Принцип действия КРМ

Очевидно, что при использовании конденсаторов с реактивной мощностью Q_C величина потребляемой реактивной мощности (Q_1) падает до значения Q_2 . При этом уменьшается величина полной потребляемой мощности S , а энергоэффективность электроустановки растет.

Одним из основных условий установки устройств КРМ заключается в необходимости реализации со стороны потребителей реактивной мощности. При этом есть возможность снизить нагрузки на трансформаторы, сети и распределительные устройства.

«В том случае, если граница балансовой принадлежности проходит по высокой стороне, внедрение КРМ на высокой стороне является ошибочным. Для достижения поставленной цели на предприятии – заказчике проводятся необходимые замеры приборами – анализаторами электропотребления.» [37], [38], [39], [40], [41].

«Экономический эффект от внедрения КРМ на предприятии может рассчитываться по нескольким направлениям, но в любом случае он будет долговременным:

- снижение платежей за реактивную мощность (при наличии) – прямой эффект;
- снижение загрузки питающих линий и трансформаторов в сети – косвенный эффект, выражающийся в возможности использования дополнительно освобожденной активной мощности при расширении производства;
- снижение потерь в питающих линиях и трансформаторах – косвенный эффект выражается в снижении потребления активной мощности и, как следствие, в частичном снижении платежей за электроэнергию» [1, 15].

3.2 Снижение потерь электроэнергии на освещение

Энергосберегающие технологии, которые соответствуют всем современным требованиям в части инновации и передовых технологий. Дают колоссальный эффект, положительно влияющие на экономику. Сегодня освещение светодиодными источниками света является наиболее энергоэффективным. Самый важный момент – это снижение потребления

электроэнергии за счет внедрения передового осветительного оборудования, а не только за счет внедрения современных систем освещения.

«Вопрос снижения стоимости электроэнергии для населения в жилищно – коммунальном хозяйстве считается несущественным, учитывая рост тарифов на коммунальные услуги.

Светодиодное осветительное оборудование сегодня имеет техническое преимущество в постановке этих целей»[24].

Основными преимуществами источников света, основанных на светодиодных технологиях являются:

- «Низкое энергопотребление. По сравнению с другими источниками света светодиодное освещение позволяет снизить энергопотребление в 3-10 раз. Итак, аналогом лампы накаливания мощностью 60 Вт будет люминесцентная лампа мощностью 13,5–15 Вт или светодиодная лампа мощностью всего 6 Вт.»[24].
- Большая светоотдача;
- Долговечность.

Типовые характеристики источников освещения приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Светоотдача

Тип источника освещения	Световой поток и потребляемая мощность, лм/Вт
Светодиоды	50–110
Лампы накаливания	10–15
Компактные люминесцентные лампы	55–70
Металлогалогеновые лампы	70–90

Таблица 4 – Срок службы

Тип источника освещения	Срок службы, часы
Светодиоды	от 50 тыс. до 100 тыс.
Лампы накаливания	1 тыс.
Галогеновая лампа	2 тыс.
Компактные люминесцентные лампы	от 5 тыс. до 10 тыс.
Металлогалогеновые лампы	10 тыс.

Светодиодное освещение – это энергоэффективное решение, которое имеет ряд преимуществ. Во-первых, оно потребляет меньше энергии, если сравнить с другими типами осветительных приборов, что может снизить расходы на электроэнергию и сделать его экономически выгодным в долгосрочной перспективе. Кроме того, при установке светодиодных систем освещения требуется использовать провода и кабели меньшего размера из-за их низкого энергопотребления и необходимости в меньшем электрическом подключении по сравнению с другими источниками света. Это позволяет экономить на материалах и монтаже. Еще одним преимуществом светодиодного освещения является возможность использования уже существующей инфраструктуры. При замене старых ламп на светодиодные светильники, можно значительно увеличить яркость освещения, добавив больше светильников. Это особенно полезно, если требуется более яркое освещение определенных объектов или помещений. Кроме того, светодиоды имеют длительный срок службы, что означает, что необходимость в замене ламп существенно снижается. Это дает уменьшить расходы на покупке новой оборудования и оплате технического обслуживания. Это особенно важно, если лампа установлена в труднодоступных местах, где замена ламп является сложной задачей. Кроме экономии энергии, светодиодное освещение также позволяет перераспределить высвободившуюся электрическую мощность на другие нужды. Это может быть особенно полезно для предприятий или организаций, которые нуждаются в дополнительной энергии для своих процессов или оборудования. В целом, светодиодное освещение является экономически эффективным и удобным решением, которое позволяет экономить энергию, снизить затраты на обслуживание и улучшить освещенность объектов. Оно также позволяет перераспределить высвободившуюся электрическую мощность на другие нужды, что делает его привлекательным выбором для различных применений.

Современные светодиодные светильники обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными газоразрядными лампами. Одно из важных

преимуществ – понижая напряжение питания можно регулировать яркость. Согласно СНИП, светодиодное освещение на улице может быть понижено на 30 - 50% в ночное время, такой функции не имеют традиционные газоразрядные лампы. Светодиодное освещение менее чувствительно к скачкам напряжения и перепадам напряжения в электрической сети. Работает оно от напряжения от 120 до 280 вольт, и колебания напряжения влияет на работу. Это значит, что светодиоды обеспечивают стабильное и надежное освещение даже при нестабильности электроснабжения. Таким образом, они идеально подходят для использования в условиях с переменным напряжением, что может быть особенно полезно в отдаленных районах или в регионах с проблемами в энергоснабжении. Кроме того, светодиодные светильники обладают долгим сроком службы и высокой энергоэффективностью. Они потребляют гораздо меньше электроэнергии по сравнению с традиционными лампами, что позволяет снизить энергозатраты и снизить нагрузку на электросеть. Благодаря своей эффективности, светодиодные светильники также помогают снизить выбросы углекислого газа и охранять окружающую среду. Таким образом, светодиодные светильники представляют собой современное и энергоэффективное решение для освещения улиц и других общественных пространств. Их возможность регулировки яркости и стабильность в эксплуатации делают их привлекательным выбором для обеспечения безопасности и комфорта в ночное время. Кроме того, их долгий срок службы и энергоэффективность помогают снизить энергозатраты и охранить окружающую среду.

Широкий температурный диапазон, эксплуатация в температурном диапазоне от -60°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Системы освещения, расположенные вне помещений не зависят от погодных и температурных условий, в том числе при включении в ночное время суток.

Светодиодные светильники обладают мгновенным зажиганием и способностью перейти в рабочий режим при подаче питания, что является отличительной чертой по сравнению с люминесцентными лампами, дневными

ходовыми огнями и натриевыми лампами. Максимальная скорость реакции, например при использовании освещения рекламных щитов делает светодиодное освещение незаменимым.

К внешнему воздействию светодиодные лампы очень устойчивы. Отсутствие нити накаливания дает светодиодам высокую виброустойчивость и механическую прочность. Также светодиодное освещение изготавливается с различной степенью защиты от пыли и влаги, и ударных нагрузок.

Такими преимуществами цветовой температуры, имеющая спектры от «теплого белого» до «холодного белого» обладает светодиодное освещение. Это преимущество для потребителей, позволяющее универсально использовать светодиоды в помещениях и в уличном освещении. Экономия энергии достигается плавным изменением скорости привода в широком диапазоне.

В таблице 5 даны примеры цветовой температуры наиболее распространенных источников освещения.

Таблица 5 – Цветовая температура

Тип источника освещения	Цветовая температура, К°
Светодиоды	от 2600 до 10000
Свет пламени свечи	2000
Лампа накаливания	2360
Прямой солнечный дневной свет	5500
Люминесцентные лампы	от 2700 до 6500

Высокая контрастность света играет огромную роль при освещении всей инфраструктуры для населения.

Светодиодное освещение дает высокую цветопередачу, что в свою очередь обеспечивает комфортное условие для человеческого зрения.

Индекс цветопередачи:

- светодиодное освещение — 75 – 85;
- лампы накаливания — 68;
- люминесцентные лампы — 60 – 90;

Для окружающей среды светодиодное освещение абсолютно безвредно, оно не имеет ртути, в отличие от обычных люминесцентных ламп, на их утилизацию не требуется дополнительных денежных средств.

«Высокая надежность светодиодных осветительных приборов обусловлена их низким напряжением (они относятся к низковольтным устройствам) и отсутствием риска перегрузки сети. Кроме того, у них нет низкочастотных пульсаций, наблюдаемых в люминесцентных и газоразрядных лампах. Светодиоды не вызывают электромагнитных помех, а спектр их излучения не содержит ультрафиолетовых и инфракрасных составляющих. Низкое энергопотребление и низкое тепловыделение светодиодных ламп, работающих в этих частях спектра, обеспечивают высокий уровень пожарной безопасности.

Большое значение также имеет и то, что светодиодное освещение абсолютно бесшумно, в отличие от люминесцентных ламп. Поэтому они идеально подходят для использования в общественных зданиях, в жилых помещениях и в других местах.

С помощью контроллера и диммера можно получать светодиодное освещение различных оттенков и цветов без использования цветового фильтра, что невозможно при использовании других источников искусственного света»[28], [29]. Плавные изменения яркости и цвета являются дополнительным бонусом.

Для достижения максимальной энергоэффективности необходимо установить программируемое реле для автоматизации управления освещением.

3.3 Минимизация потерь на ЛЭП

Значительные электрические нагрузки способствуют увеличению электрических (ЭП) потерь в линиях электропередачи (ЛЭП), что приводит к дополнительным экономическим издержкам на работе СЭС. Повышенные

потери электрической энергии также способны увеличить нагрев линии электропередачи, что может ускорить старение изоляции проводов и кабелей, а также привести к возникновению других нежелательных последствий.

Чтобы снизить потери электроэнергии на линиях электропередачи необходимы такие меры как:

- «Повышение энергоэффективности конечного потребителя;
- Правильный выбор сечения проводников в соответствии с экономической плотностью тока;
- Сокращение общей длины передающей сети и ЛЭП;
- Правильный выбор сечения проводников с учетом возможности появления дополнительных нагрузок» [18].

3.4 Энергосбережение электроприемниками

Для повышения общей энергоэффективности систем энергоснабжения считается лучшим, если использовать электрооборудование, соответствующее современным требованиям к энергопотреблению. Энергоэффективность силовых электроустановок с асинхронным электроприводом увеличивается за счет использования частотного регулирования.

В системах электроснабжения жилых, муниципальных, коммерческих и социальных зданий наиболее энергоемкими силовыми электроустановками, чаще всего работающими непрерывно, являются мощные электроприводы систем вентиляции и водоснабжения. Давайте рассмотрим более подробно «применение частотного регулирования в системах вентиляции для повышения энергоэффективности, что касается системы водоснабжения, то все приведенное ниже считается актуальным»[31].

Повышение энергоэффективности разных видов технологической деятельности в настоящее время является весьма важным направлением развития в области электроэнергетики и электротехники. Данная ситуация связана с увеличением «стоимости электрической энергии, уменьшением

запасов традиционных невозобновляемых источников энергии и ужесточением экологических условий для процессов генерации, преобразования и передачи энергии» [24], [25].

«Системы принудительной вентиляции с электроприводом (ЭВ) используются во всем мире на предприятиях различных отраслей промышленности, а также для административных, социальных, бытовых и других целей. С другой стороны, классическим способом управления воздушным потоком интенсивностью вентиляции является использование шиберных заслонок» [25]. Однако, несмотря на то, что этот метод является недорогим и простым в реализации, на самом деле он приводит к огромным потерям энергии, а также существенно снижает эффективность работы вентиляционной системы в целом.

Сегодня в СКВ широко используются трехфазные асинхронные двигатели, это обусловлено их надежностью, высоким КПД, простотой и низкой стоимостью.

Рассмотрим схему определения мощности ЭП вентилятора (рисунок 2).

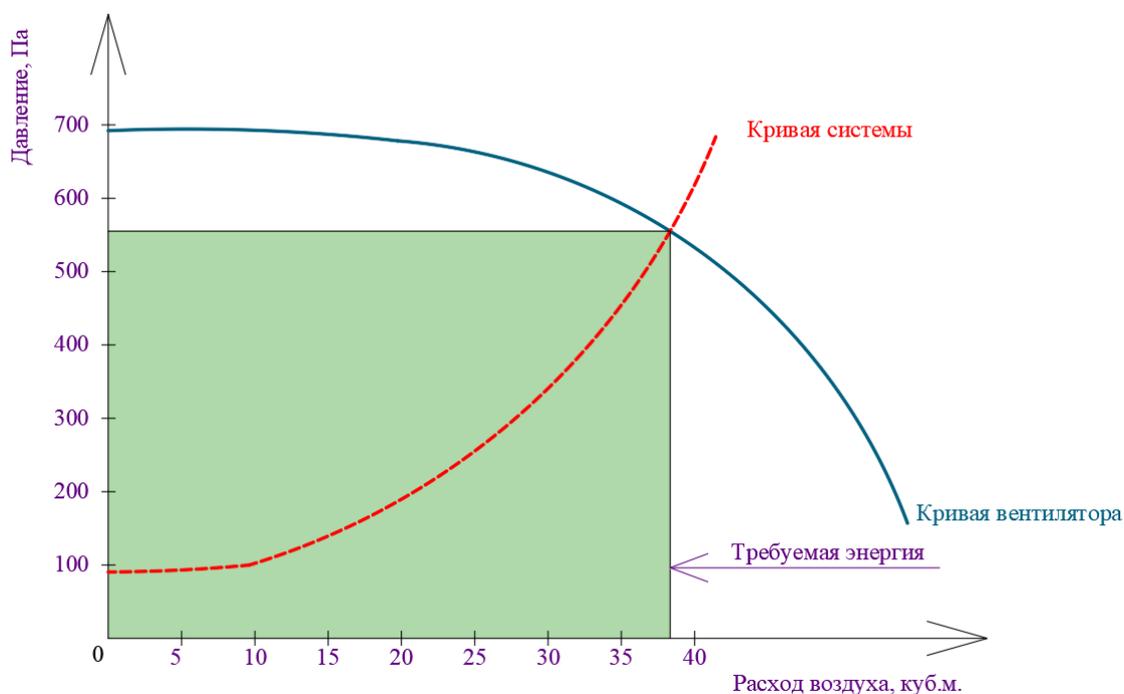


Рисунок 2 – Определение требуемой мощности электропривода вентилятора

«Выбор мощности вентилятора СВ должен производиться с небольшим запасом. На рисунке 2 показано, что кривая вентилятора является приточной частью СВ и показывает зависимость между уровнем нагнетания и расходом воздуха. В свою очередь, кривые систем, потребляющих часть СВ, она показывает эту зависимость, но показывает ее в зеркальном направлении. При обеспечении требуемых расхода и давления воздуха эти кривые пересекаются в оптимальной точке. Тем не менее, этот режим работы СВ имеет ограниченную интенсивность, и в других режимах СВ, где используются демпферы (рисунок 3), редко наблюдается создание вентилятором избыточного давления, что приводит к неоправданным потерям энергии» [24].

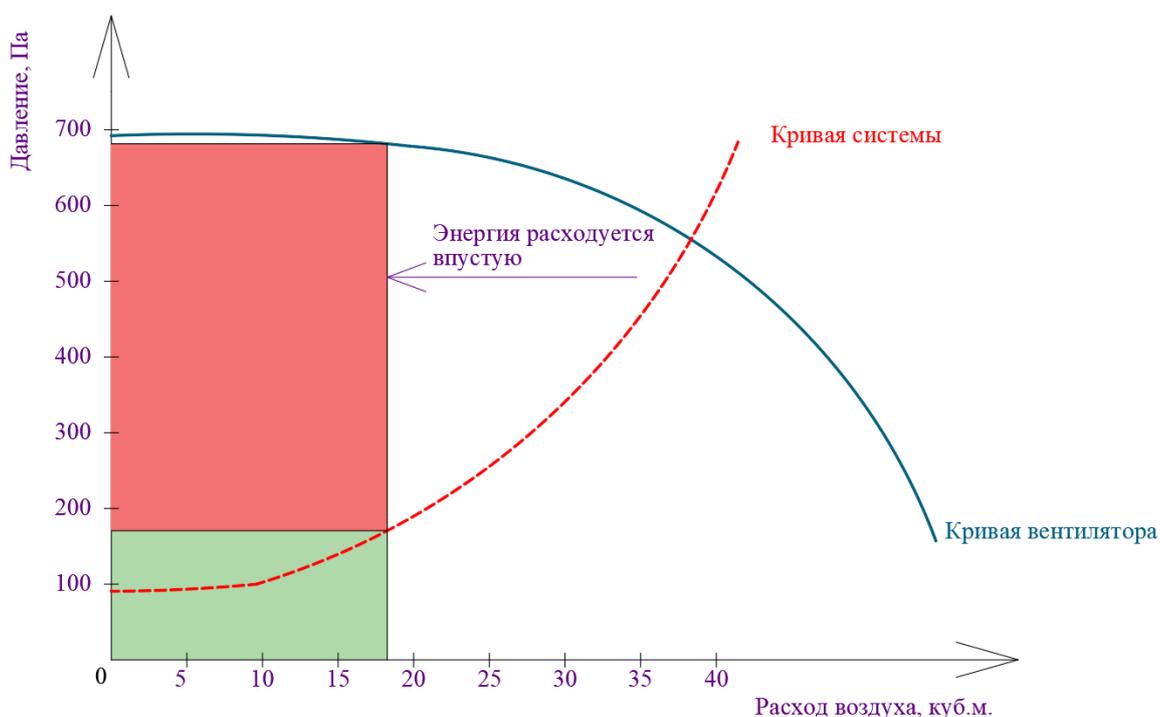


Рисунок 3 – Энергопотери при регулировании с применением заслонки

Мы подробно проанализируем эффективность использования энергии ЧР в системах вентиляции: транзисторные преобразователи частоты (ПЧ) на основе базы IGBT–транзисторов, считаются прогрессивными

энергоэффективным типом преобразователя частоты для асинхронного электропривода.

Из - за снижения скорости вращения привода и интенсивности вентиляции, применение ТрЧП позволяет адаптировать «кривую вентилятора» к «кривой системе», сведя к минимуму потери энергии. Таким образом, можно достигнуть высокой экономии энергии по сравнению с управлением заслонкой. Экономия энергии достигается плавным изменением скорости привода в широком диапазоне, это позволяет минимизировать затраты энергии на поддержание требуемого давления в конкретном режиме работы системы вентиляции (Рисунок 4).

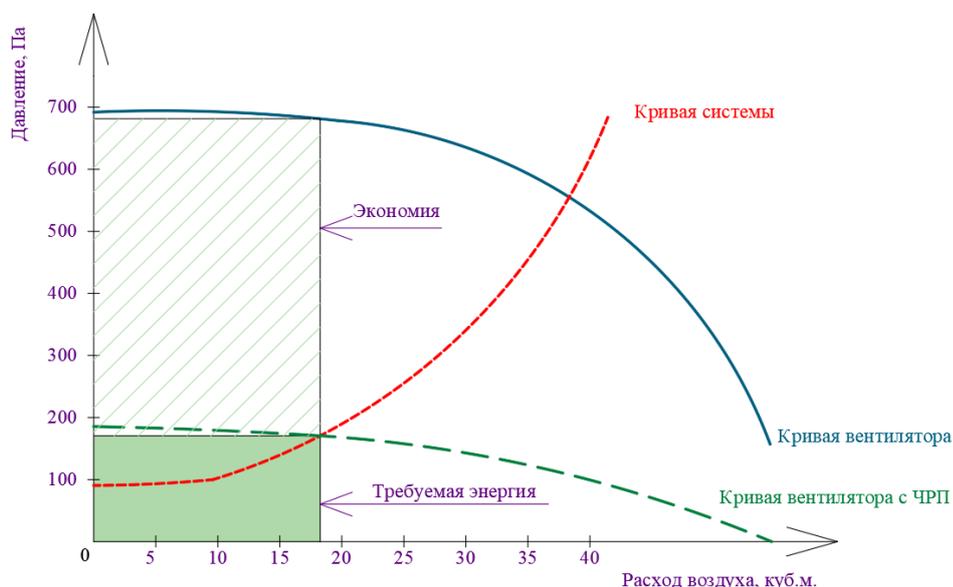


Рисунок 4 – Экономия энергии при частотном регулировании

Выделим преимущества частотного регулирования СВ:

- «Максимальная эффективность и энергосбережение;
- Минимальные затраты на потребление электроэнергии;
- Поддержание необходимого давления воздуха в системе;
- Питание может подаваться от однофазной сети напряжением 220 вольт.

- Плавный запуск, остановка и изменение частоты вращения двигателя уменьшают потери воздуха и еще больше повышают энергоэффективность.

Согласно статистике, использование современных преобразователей на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) в системах вентиляции и водоснабжения позволяет сэкономить в среднем около 15,4% энергии по сравнению с управлением шибберными затворами. Кроме того, для устранения некоторых недостатков асинхронных электроприводов рассматривается возможность прямого подключения к ним IGBT без изменения параметров питающего напряжения»[24].

3.4.1 Оптимизация пусковых характеристик асинхронных электродвигателей

Запатентованное техническое решение было разработано для получения асинхронных приводов с максимальным пусковым моментом при минимальном токе. Решение оптимизирует магнитный поток путем непрерывного мониторинга рабочих параметров привода и регулировки параметров питания для минимизации тепловых потерь. Оптимизация магнитного потока для двигателей с классами изоляции В и F показана на рисунке 5.

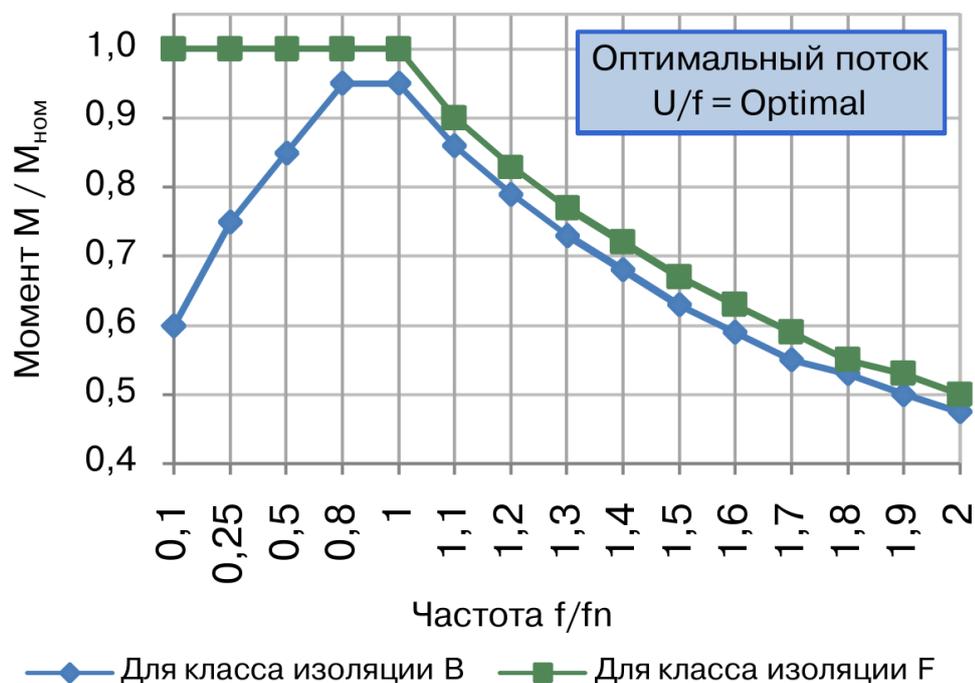


Рисунок 5 – Оптимизация магнитного потока для электродвигателей

«При запуске двигателя, чтобы получить достаточный пусковой момент необходимо увеличить плотность магнитного потока. При этом частота питающего напряжения выбирается очень низкой (порядка 0,1- 0,2 Гц), чтобы минимизировать потери. Таким образом, можно запустить двигатель с максимальным напряжением и током, а значит, и с максимальным крутящим моментом. Таким образом, выбирается оптимальное соотношение напряжения и частоты (U/f) источника питания двигателя: согласно частям 30 и 31 стандарта NEMA MG1, пусковой момент должен составлять не менее 140% от номинального крутящего момента, а ток- не менее 150% от номинального тока.

Оптимизация магнитного потока минимизирует пусковой ток асинхронного привода, за счет этого повышается пусковая эффективность двигателя и снижается генерация вредных гармоник напряжения, которые снижают общую энергоэффективность сети» [24].

3.4.2 Чувствительность к изменениям параметров в сети

«В сетях переменного тока асинхронные электроприводы представляют собой нелинейную нагрузку с определенными гармониками тока.

Характеристики гармоник, наводимых ЧРП, определяются значением $h=nr\pm 1$ на стороне переменного тока, т. е. на линии передачи (r - число импульсов инвертора, $n = 1,2,3$). Так, для типичного шестидиодного выпрямительного моста (шесть импульсов) наиболее выраженными гармониками являются пятая и седьмая. Их величина в зависимости от параметров сетевого питания составляет от 10% до 40% от сетевой составляющей.

Общий уровень гармоник определяется показателем THD (total harmonic distortion); IEEE Std.519 (1992) рекомендует максимальное значение THD=5% для мощных систем ниже 69 кВ.

В современных IGBT- преобразователях частоты нежелательные гармоники отфильтровываются сетевыми реакторами, что позволяет повысить КПД двигателя и продлить срок его службы. Преобразователи частоты с фильтрующими устройствами стабилизируют силовые параметры электродвигателя, повышают КПД и гарантируют безопасность изоляции»[24].

3.5 Энергосбережение средствами релейной защиты и автоматики

«При проектировании систем электроснабжения (СЭС) для различных установок, а также при реконструкции или модернизации существующих СЭС одной из наиболее актуальных задач является максимальное повышение энергоэффективности и автоматизация систем управления электропотребителями (ЭП). Одним из способов решения этой проблемы является использование программируемого реле»[24], «которые позволяют оптимизировать работу объектов ЭП и СЭС в соответствии с требуемыми техническими условиями с учетом максимальной энергоэффективности,

автоматизации, эргономичности и удобства эксплуатации электрооборудования.

Программируемое реле – это современный электронный цифровой модуль, позволяющий гибко и точно программно конфигурировать режимы работы подключенных блоков питания и цепей управления. Области применения программируемых реле:

- наружное освещение;
- внутреннее освещение;
- коммерческое освещение;
- компрессоры;
- насосы;
- вентиляторы;
- кондиционеры;
- обогреватели;
- тепловые пункты;
- конвейеры;
- управление другим техническим электрооборудованием;
- управление электроприводами дверей, ворот, лифтов, подъемников и других ЭП, пригодных для программируемых реле и паспортных данных по рабочим параметрам (ток, напряжение и т.д.).

К основному модулю программированного реле могут быть подключены различные выносные датчики, гарантирующие управление по вспомогательным характеристикам и корректирующие режим работы программированного реле:

- в зависимости от времени суток, рабочего времени или других временных интервалов;
- по показаниям датчиков (по давлению, освещенности, температуре, звуку, наличию предметов и т.д.).

В настоящее время ряд ведущих производителей электрооборудования выпускает различные программируемые реле. Одним из примеров является реле Siemens LOGO PR с модулем расширения (рисунок 6)»[24].

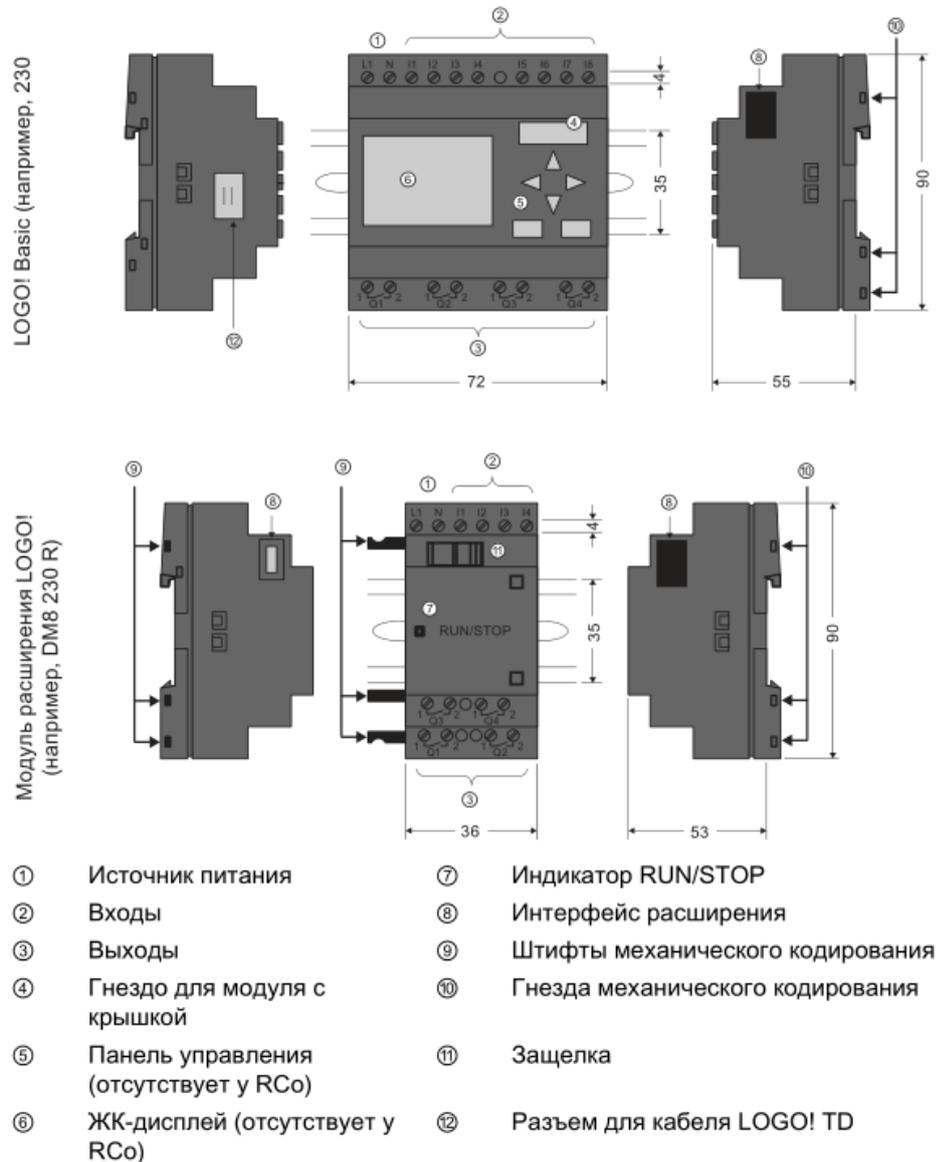


Рисунок 6 – Внешний вид программируемого реле Siemens LOGO

Принцип работы программируемого реле показан на рисунке 7.

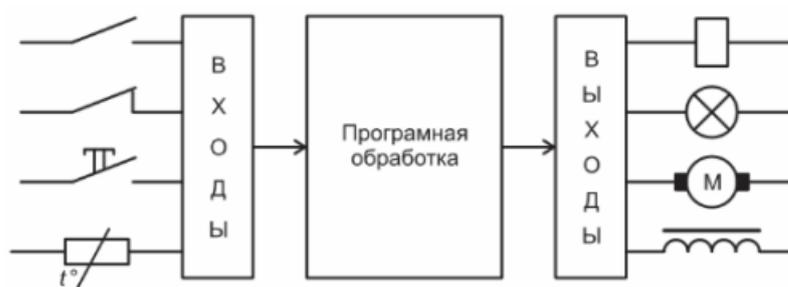


Рисунок 7 – Принцип работы программируемого реле

Давайте рассмотрим возможность использования программируемого реле (рисунок 8) для автоматизации системы управления и повышения энергоэффективности для различных потребителей энергии (подключение Siemens LOGO PR и освещения).

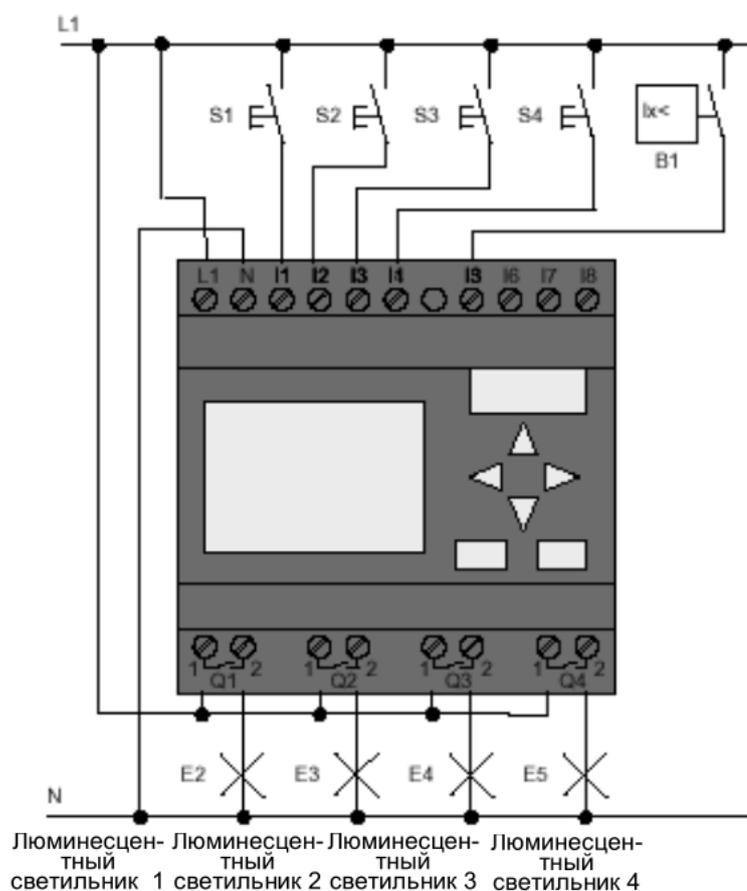
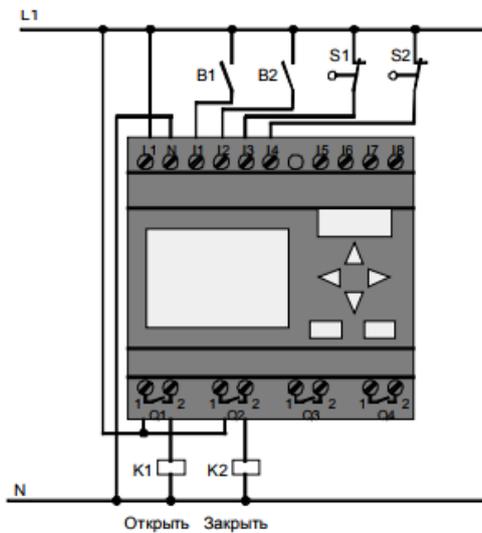


Рисунок 8 – Подключение системы освещения с ПР Siemens LOGO

«Преимущества использования Siemens LOGO PR для управления освещением заключаются в следующем:

- отсутствие необходимости в часовом выключателе (эта функция уже встроена в PR);
- требуется меньшее количество устройств;
- система освещения может быть легко реконфигурирована;
- возможность установки дополнительного времени включения (например, поэтапное выключение в конце рабочего дня или другие функции);
- максимальное удобство и энергоэффективность при использовании осветительных приборов; дополнительные функции.

Внешняя проводка системы освещения с Siemens LOGO PR менее заметна, чем проводка обычной системы освещения. Вспомогательные функции интегрированы непосредственно в ПР. На рисунке 9 показана система автоматического управления дверьми с использованием Siemens LOGO»[24] .

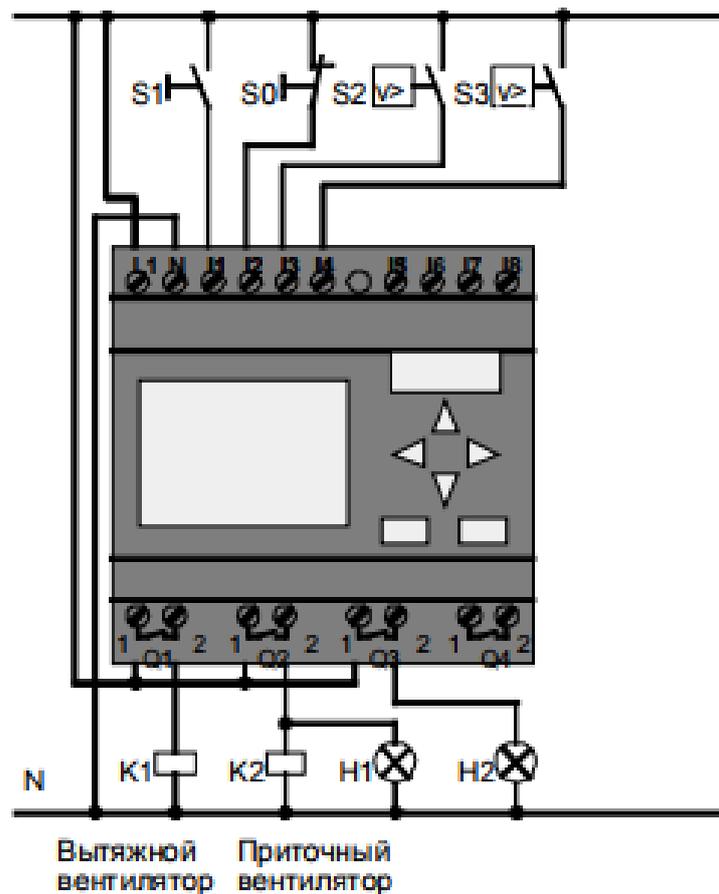


Используемые компоненты

- K1 Линейный контактор *Открытие*
- K2 Линейный контактор *Заккрытие*
- S1 (*НЗ контакт*) Конечный выключатель *Замкнут*
- S2 (*НЗ контакт*) Конечный выключатель *Открыт*
- B1 (*НО контакт*) Инфракрасный датчик перемещения *Снаружи*
- B2 (*НО контакт*) Инфракрасный датчик перемещения *Внутри*

Рисунок 9 – Управление автоматическими дверями с ПП Siemens LOGO

«С помощью панели управления Siemens LOGO можно значительно упростить схемы управления автоматическими воротами, просто подключив датчик движения, концевой выключатель и главный контактор к панели» [24]. Система управления вентиляцией с использованием Siemens LOGO показана на рисунке 10.



Используемые компоненты

- | | |
|-------------------|--------------------|
| • K1 | Линейный контактор |
| • K2 | Линейный контактор |
| • S0 (НЗ контакт) | Кнопка останова |
| • S1 (НО контакт) | Кнопка пуска |
| • S2 (НО контакт) | Датчик потока |
| • S3 (НО контакт) | Датчик потока |
| • H1 | Индикаторная лампа |
| • H2 | Индикаторная лампа |

Рисунок 10 – Система управления вентиляцией с ПП Siemens LOGO

«Работоспособность Siemens LOGO дает нам возможность убедиться в правильности выбора. Требования к системе вентиляции здания:

- Возможна приточно-вытяжная вентиляция (два вентилятора);
- Управление этими вентиляторами осуществляется с помощью датчиков расхода воздуха;
- Давление в здании поддерживается в заданных пределах;

- Приточный вентилятор будет работать только в том случае, если датчик потока показывает, что вытяжной вентилятор работает нормально;
- Управляемая штатная работа вентиляционных приводов.

Тоже самое относится и к автоматизации систем управления и энергоэффективности другого электрооборудования с использованием Siemens LOGO»[24] .

Точно таким же способом можно подключить, запрограммировать и управлять другими подобными программируемыми реле всех производителей. Унифицированное использование программируемого реле позволяет значительно повысить энергоэффективность всей системы электроснабжения при сокращении затрат. Программируемые реле используются также и для повышения энергетической системы электроснабжения. Отсюда можно сделать вывод, что это перспективный и эффективный инструмент для повышения эффективности и автоматизации системы управления. Этот инструмент точно может быть рекомендован для использования на любых объектах электроснабжения.

3.6 Влияние технического учета электроэнергии на энергоэффективность систем электроснабжения

«Для внутренних нужд предприятий и других учреждений применяется технический учет электроэнергии, позволяющий упростить режимы энергопотребления на производственных объектах с целью достижения максимальной энергоэффективности основных производственных процессов. Сегодня для этих целей успешно используются автоматические системы учета электроэнергии (АСКУЭ). Использование АСТУЭ сегодня также позволяет эффективно координировать единый процесс потребления электроэнергии на предприятиях и оперативные процессы системы электроснабжения, это дает возможность применять более низкие цены на электроэнергию. Также можно

непрерывно мониторить энергопотребление производственных участков, отдельных технологических линий и электрооборудования (ЭО), также оборудования системы электроснабжения (СЭС) предприятия с целью своевременного выявления ненормальных режимов работы производства. Таким образом, есть вероятность своевременно предотвратить негативные последствия, связанные с авариями, неисправностью оборудования или техническим прекращением производственного процесса. Кроме того, в программном обеспечении (ПО) АСТУЭ информация о показаниях приборов учета электроэнергии и режимах работы оборудования непрерывно архивируется и поступает в единую цифровую сеть компании. Из-за этого вопрос внедрения АСТУЭ считается важным и принципиальным на передовых предприятиях»[24].

Необходимо отличать АСТУЭ от «Автоматической системы коммерческого учета электроэнергии» (АСКУЭ). В таблице 6 показаны показатели для АСТУЭ и АСКУЭ.

Таблица 6 – Сравнение АСТУЭ и АСКУЭ

Показатели	АСТУЭ	АСКУЭ
Первичная цель создания	Обеспечение максимальной энергоэффективности	Эффективный расчет за энергоресурсы, исключение хищений энергоресурсов
Главная функция	Мониторинг и контроль режимов электропотребления внутри предприятия	Точный учет общего количества потребления электроэнергии
Требования к реализации	Определяются конкретным заказчиком	Определяются действующими нормативными документами

Различия между АСТУЭ и АСКУЭ необходимо учитывать при проектировании этих систем.

Для увеличения продуктивности деятельности АСКУЭ настраиваются под конкретные предприятия.

Собирая статистические данные об электропотреблении АСТУЭ, предприятия смело могут принимать меры по оптимизации режима работы производства своего электрооборудования в согласовании с графиком работы энергосистемы.

Выводы по разделу 3.

С учетом передовых технических решений и современных энергосберегающих устройств рассмотрены основные пути повышения энергоэффективности в системе электроснабжения, что позволяет нам сделать вывод, что это перспективные и эффективные инструменты для повышения эффективности и автоматизации системы управления. Эти инструменты точно могут быть рекомендованы для использования на любых объектах электроснабжения.

4 Систематизация сведений о показателях качества электрической энергии

В соответствии со стандартами ПКЭ делятся на случайные события и длительные нарушения в характеристиках напряжения. «Длительные нарушения в характеристиках напряжения представляют собой продолжительные отклонения характеристик напряжения от номинальных значений и в частых случаях основаны перепадами нагрузки или от нелинейных нагрузок»[20]. «К случайным событиям относят внезапные и сильные перепады напряжения, в следствии чего происходит сильное отклонение параметров от номинальных значений.

Эти изменения провоцируются коммутациями оборудования (могут быть дополнительные подключения или отключения нагрузки, может сработать РЗА), также от помех электромагнитного характера. Для длительных нарушений в характеристиках напряжения введены показатели и нормы качества (существуют допустимые значения такие как нормальный и предельный). Параметры случайных событий как правило не нормируются, но используются для накопления информации»[21], которая используется в статистических целях.

Далее в таблице 7 показан перечень нормированных ПКЭ соответствующие ГОСТ 32144 с классом характеристик процесса измерений и со ссылкой на методы измерений согласно ГОСТ 30804.4.30.

Таблица 7 – Классификация показателей качества электроэнергии

Наименование ПКЭ	Интервал усреднения	Раздел стандарта на методы измерений и нормы качества		Нормально допустимое значение	Предельно допустимое значение
		ГОСТ 30804.4.30	ГОСТ 32144		
1	2	3	4	5	6
Положительное отклонение частоты	10 с (интервал измерения)	5.1	4.2.1	0,2 Гц	0,4 Гц
Отрицательное отклонение частоты	10 с (интервал измерения)	5.1	4.2.1	0,2 Гц	0,4 Гц

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6
Положительные отклонения фазных/междуфазных напряжений	10 мин	5.2, 5.12	4.2.2	-	10%
Суммарные коэффициенты гармонических составляющих фазных/междуфазных напряжений	10 мин	5.8 (ГОСТ 30804.4.7п. 3.2)	4.2.4.1	ГОСТ 32144, таб. 5	ГОСТ 32144, таб. 5
Коэффициенты гармонических составляющих фазных/междуфазных напряжений (до 40-го порядка)	10 мин	5.8 (ГОСТ 30804.4.7п. 3.2)	4.2.4.1	ГОСТ 32144, таб. 1÷4	ГОСТ 32144, таб. 1÷4
Коэффициенты интергармонических составляющих фазных/междуфазных напряжения (до 40-го порядка)	10 мин	5.9 (ГОСТ 30804.4.7 прил. А)	-	-	-
Кратковременная доза фликера	10 мин (интервал измерения)	5.3 (ГОСТ Р 51317.4.15 п. 5.7.2)	4.2.3	-	1,38
Длительная доза фликера	2 часа	5.3 «(ГОСТ Р 51317.4.30 п. 5.7.3)» [11]	4.2.3	-	1

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6
Коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности	10 мин	5.7	4.2.5	2%	4%
Коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности	10 мин	5.7	4.2.5	2%	4%

Методы измерений ПКЭ, относящихся к продолжительным изменениям характеристик, реализованные в выбранном в результате технико-экономического анализа СИ ПКЭ BINOM3, приведены в разделе 5 данной работы.

Классификация показателей качества электроэнергии, относящихся к случайным событиям:

- «Провал напряжения – временное уменьшение напряжения в конкретной точке электрической системы ниже установленного порогового значения»[8]. Частая причина – короткие замыкания в системе электроснабжения или подключение мощной нагрузки. За начало провала напряжения принимают момент, когда напряжение хотя бы в одной из фаз падает ниже порогового значения начала провала напряжения (90%), за окончание провала напряжения принимают момент, когда напряжение во всех фазах возрастает выше порогового значения окончания провала напряжения (90%). Длительность провала вычисляется суммарным временем срабатывания средств защиты и автоматики, под их действием напряжение может восстановиться. ГОСТ 32144-2013 (п. 3.1.25, п. 4.3.2), ГОСТ 30804.4.30 (п. 5.4.2);

- «Перенапряжение - временное возрастание напряжения в конкретной точке электрической системы выше установленного порогового значения»[8]. Причинами перенапряжений являются переключения и отключения нагрузки в сетях, короткие замыкания. «За начало перенапряжения принимают момент, когда напряжение хотя бы в одной из фаз возрастает выше порогового значения начала перенапряжения (110%), за окончание перенапряжения принимают момент, когда напряжение во всех фазах падает выше порогового значения окончания перенапряжения (108%)»[8]. Длительность перенапряжения вычисляется суммарным временем срабатывания средств защиты и автоматики. ГОСТ 32144-2013 (п. 3.1.30, п. 4.3.2), ГОСТ 30804.4.30 (п. 5.4.5);
- «Прерывание напряжения – ситуация, при которой напряжение в точке передачи электроэнергии меньше 5% опорного напряжения. Создаваемые преднамеренно прерывания напряжения, как правило, обусловлены проведением запланированных работ в электрических сетях. Случайные прерывания напряжения, вызванные отказами оборудования, подразделяют на длительные (> 3 мин) и кратковременные (< 3 мин). Начало перенапряжения принимают тот момент, когда напряжение во всех фазах падает ниже порогового значения начала прерывания напряжения (5%), окончание перенапряжения принимают тот момент, когда напряжение хотя бы в одной из фаз возрастает выше порогового значения окончания прерывания напряжения (7%). Если напряжение меньше 5% напряжения не во всех фазах, ситуацию рассматривают, как провал напряжения»[8]. ГОСТ 32144-2013 (п. 3.1.23, п. 4.3.1)

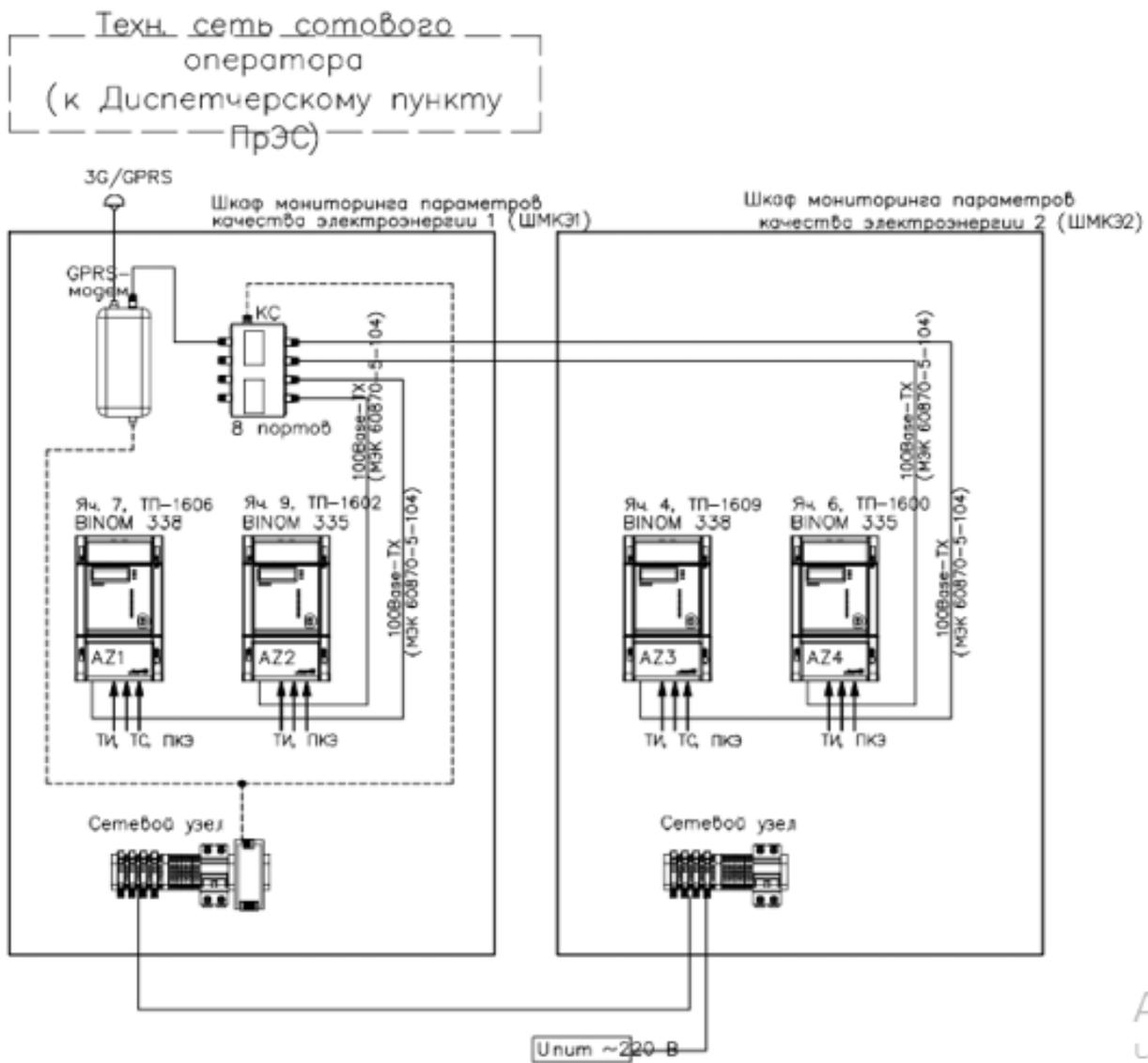


Рисунок 11 – Схема структурная СМКЭ. РП-1558

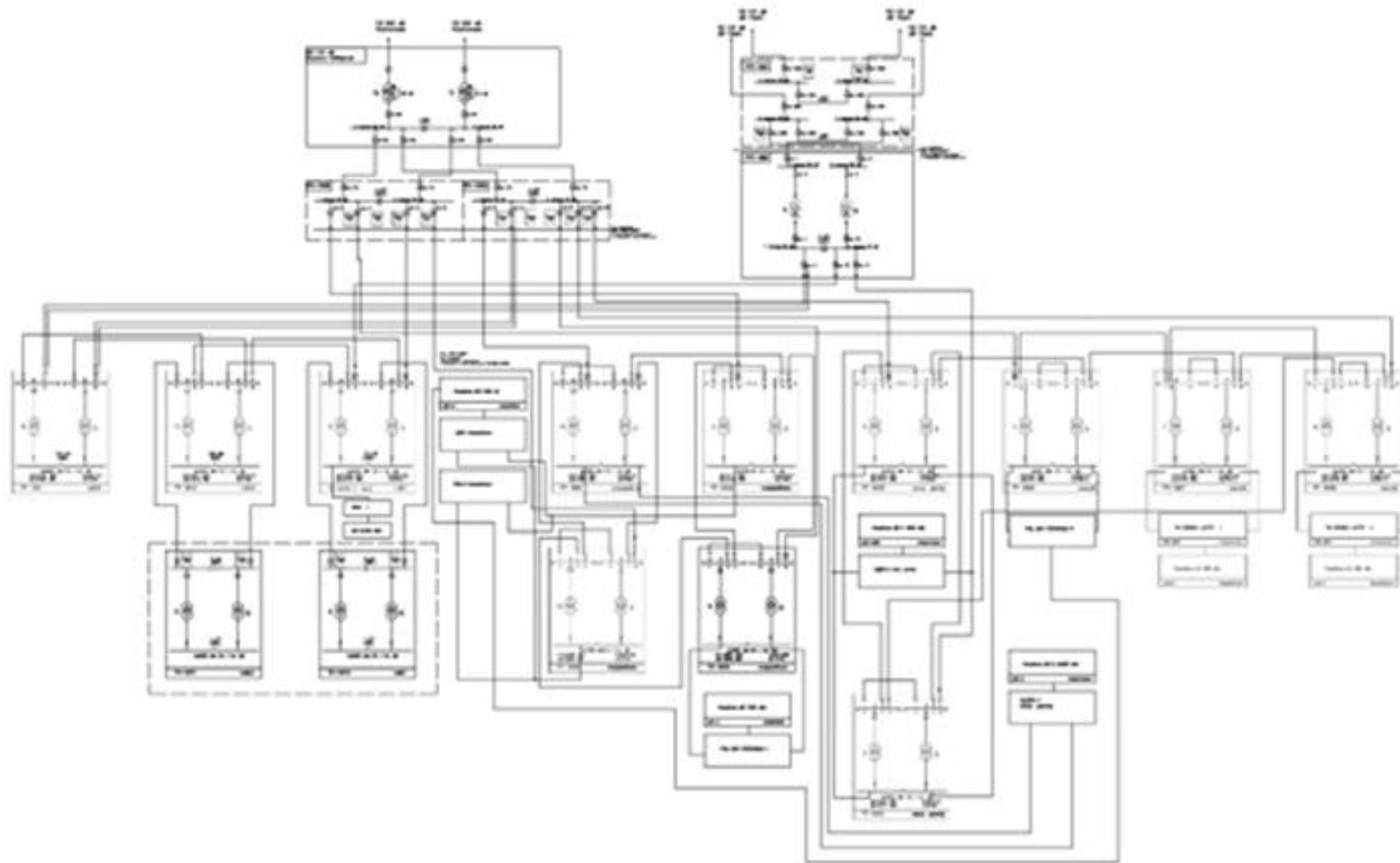
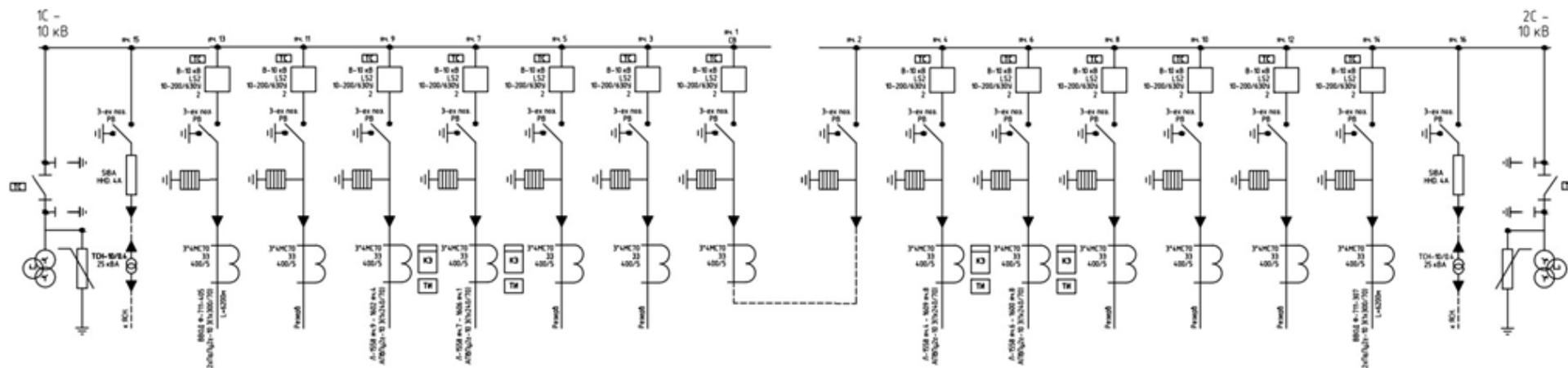


Рисунок 12 – Нормальная схема электроснабжения квц «Экспофорум»



Принятые обозначения:

- КЭ - Измеритель параметров качества электрической энергии многофункциональный серии "BINOM3"
- ТИ - Телеизмерения
- ТС - Телесигнализация

Рисунок 13 – Главная схема электрических соединений РП-1558

Выводы по разделу 4

В данном разделе рассмотрены классификации показателей качества электрической энергии. Выявлено, что в соответствии со стандартами показатели качества электроэнергии делятся на случайные события и длительные нарушения в характеристиках напряжения.

Показан перечень нормированных ПКЭ в соответствии с ГОСТ 32144 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» в соответствии с классом характеристик процесса измерений и со ссылкой на методы измерений согласно ГОСТ 30804.4.30.

В рамках данного раздела определена классификация показателей качества электроэнергии, относящихся к случайным событиям, а также приведены методы их измерений в СИ ПКЭ BINOM3.

5 Типовые нарушения качества электроэнергии у потребителя

Рассматривается нарушение ПКЭ в системе электроснабжения 0,4 кВ у потребителя. Для иллюстрации этого примера на рисунке 14 приведена схема электрических соединений ГРЩ 0,4 кВ.

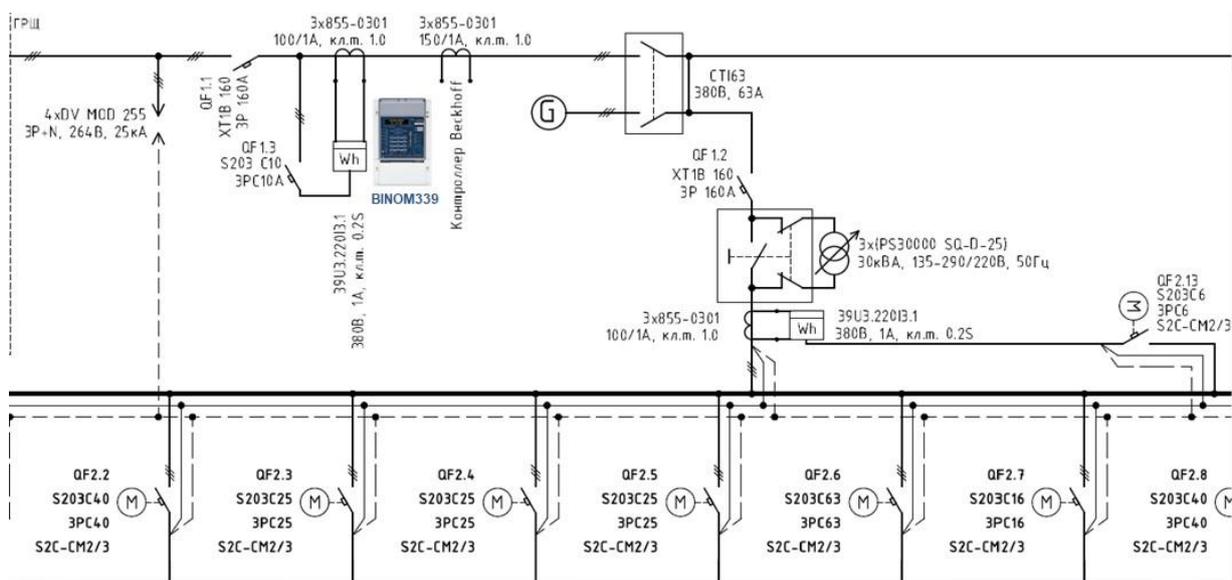


Рисунок 14 – Схема электрических соединений ГРЩ 0,4 кВ

В главном распределительном щите (ГРЩ) 0,4 кВ установлен счетчик-измеритель ПКЭ многофункциональный BINOM39U3.220I3.1. В результате статистической обработки ПКЭ прибором за период времени, равный одной неделе, были выявлены следующие (19584) нарушения:

- провалы напряжения – 6438;
- перенапряжения – 13146.

Полученные результаты говорят о КЭ, неудовлетворительном для устойчивой и долговечной работы электроприемников потребителя. Такие показатели могут являться причиной повышения расхода энергии, снижения срока службы электроприемников и выхода их из строя, снижением освещенности, что вызывает повышенную утомляемость органов зрения и отрицательно влияет на здоровье человека. Чтобы устранить перечисленные

негативные воздействия, в питающей сети был установлен стабилизатор напряжения (см. рисунок 15).

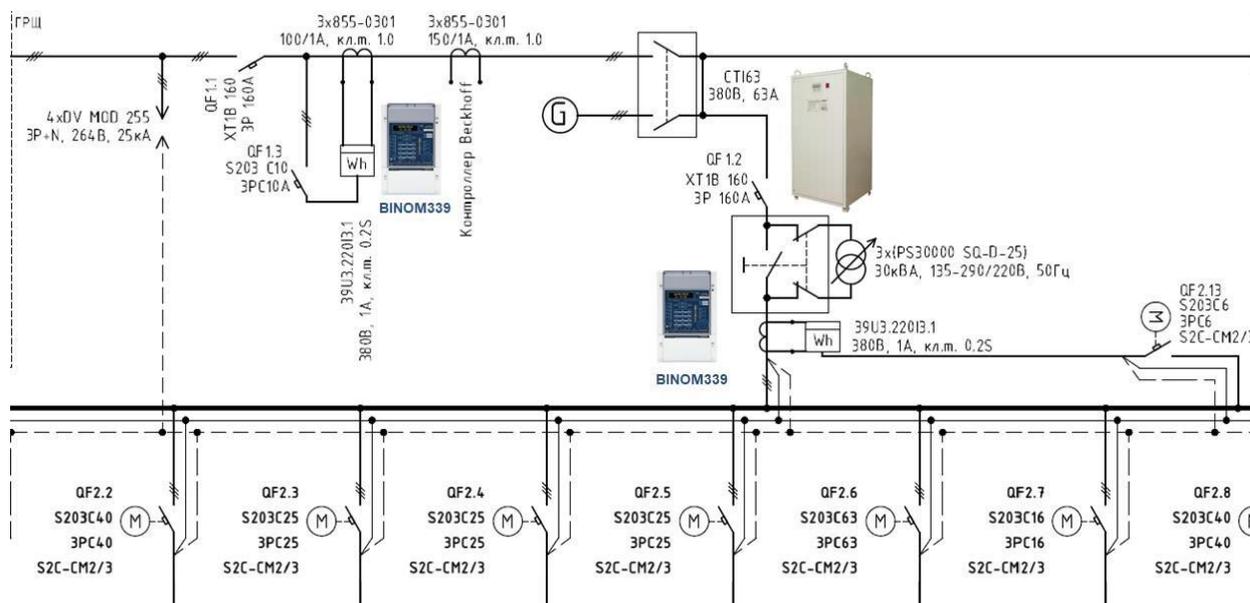


Рисунок 15 – Схема электрических соединений ГРЩ 0,4 кВ со стабилизатором напряжения

Стабилизаторы напряжения защищают от резких и значительных скачков и перепадов напряжения, фильтруют сетевые помехи и обеспечивают качественное электропитание приборов и оборудования в пределах их паспортных характеристик, этим повышая надёжность их эксплуатации и продлевая срок службы.

В данном примере потребитель использовал стабилизатор марки LIDER. Также после стабилизатора напряжения был установлен второй счетчик-измеритель ПКЭ BINOM3, что посредством одновременного мониторинга двух СИ позволило в полной мере оценить результат работы используемого стабилизатора. (см. таблицы 8–12).

Графики фазных напряжений до (16) и после (17) стабилизатора напряжения представлены на рисунках 16 и 17. Статистика провалов, прерываний напряжения и перенапряжений до (18) и после (19) стабилизатора напряжения приведена на рисунках 18 и 19.



Рисунок 16 – ГРЩ 0,4 кВ. Графики фазных напряжений до стабилизатора напряжения

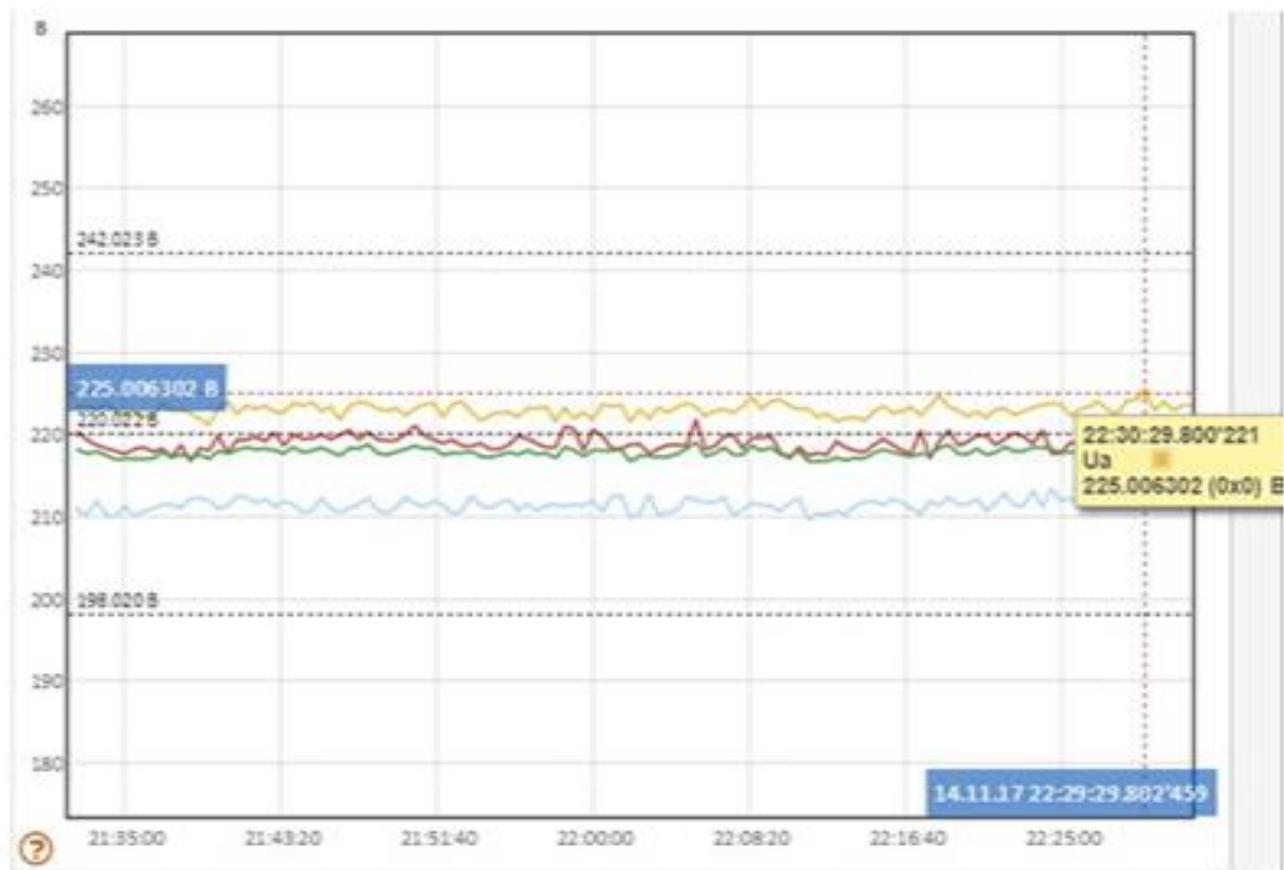


Рисунок 17 – ГРЩ 0,4 кВ. Графики фазных напряжений после стабилизатора напряжения

Остаточное напряжение U, % опорного напряжения	Длительность провала напряжения $\Delta t_{пр}$, сек					
	$0,01 < \Delta t \leq 0,2$	$0,2 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 5$	$5 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$
$85 \leq U < 90$	922	1021	334	1347	2248	566
$70 \leq U < 85$	32	101	30	74	117	147
$40 \leq U < 70$	0	0	0	0	0	0
$10 \leq U < 40$	0	0	0	0	0	0
$0 \leq U < 10$	0	0	0	0	0	0

Значение перенапряжения U, % опорного напряжения	Длительность перенапряжения $\Delta t_{пер}$, сек					
	$0,01 < \Delta t \leq 0,2$	$0,2 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 5$	$5 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$
$110 < U \leq 120$	1583	1247	1109	2890	3250	3067
$120 < U \leq 140$	0	0	0	3	13	21
$140 < U \leq 160$	0	0	0	0	0	0
$160 < U \leq 180$	0	0	0	0	0	0

Остаточное напряжение U, % опорного напряжения	Длительность прерывания напряжения $\Delta t_{пр}$, сек							Наибольшая продолжительность, сек
	$\Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 0,1$	$1 < \Delta t \leq 5$	$5 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$	$180 < \Delta t$	
$0 \leq U < 5$	0	0	0	0	0	0	1	4970.71

Рисунок 18 – Статистика провалов, прерываний напряжения и перенапряжения до стабилизатора напряжения

Остаточное напряжение U, % опорного напряжения	Длительность провала напряжения $\Delta t_{пр}$, сек					
	$0,01 < \Delta t \leq 0,2$	$0,2 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 5$	$5 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$
$85 \leq U < 90$	1540	13	0	0	0	0
$70 \leq U < 85$	69	1	0	0	0	0
$40 \leq U < 70$	0	0	0	0	0	0
$10 \leq U < 40$	0	0	0	0	0	0
$0 \leq U < 10$	0	0	0	0	3	1

Значение перенапряжения U, % опорного напряжения	Длительность перенапряжения $\Delta t_{пер}$, сек					
	$0,01 < \Delta t \leq 0,2$	$0,2 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 5$	$5 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$
$110 < U \leq 120$	198	0	0	0	0	0
$120 < U \leq 140$	0	0	0	0	0	0
$140 < U \leq 160$	0	0	0	0	0	0
$160 < U \leq 180$	0	0	0	0	0	0

Остаточное напряжение U, % опорного напряжения	Длительность прерывания напряжения $\Delta t_{пр}$, сек							Наибольшая продолжительность, сек
	$\Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 0,1$	$1 < \Delta t \leq 5$	$5 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$	$180 < \Delta t$	
$0 \leq U < 5$	0	0	0	3	1	0	0	38.18

Рисунок 19 – Статистика провалов, прерываний напряжения и перенапряжения после стабилизатора напряжения

Таблица 8 – Банк данных собираемых параметров качества электроэнергии, типовой набор параметров качества электроэнергии

Диспетчерское наименование	Ед изм.	Обозначение	Период обновления
«Частота» [30]	Гц	Fss	10 сек
«Отклонение частоты» [30]	Гц	dFss	10 сек
«Положительное отклонение частоты» [30]	–	df+	10 сек
«Отрицательное отклонение частоты» [30]	–	df-	10 сек
«Положительное отклонение напряжения фазы А» [30]	%	dUa+	10 мин
«Отрицательное отклонение напряжения фазы А» [30]	%	dUa-	10 мин
«Положительное отклонение напряжения фазы В» [30]	%	dUb+	10 мин
«Отрицательное отклонение напряжения фазы В» [30]	%	dUb-	10 мин
«Положительное отклонение напряжения фазы С» [30]	%	dUc+	10 мин
«Отрицательное отклонение напряжения фазы С» [30]	%	dUc-	10 мин
«Положительное отклонение напряжения между фазами А и В» [30]	%	dUab+	10 мин
«Отрицательное отклонение напряжения между фазами А и В» [30]	%	dUab-	10 мин
«Положительное отклонение напряжения между фазами В и С» [30]	%	dUbc+	10 мин
«Отрицательное отклонение напряжения между фазами В и С» [30]	%	dUbc-	10 мин
«Положительное отклонение напряжения между фазами С и А» [30]	%	dUca+	10 мин
«Отрицательное отклонение напряжения между фазами С и А» [30]	%	dUca-	10 мин

Продолжение таблицы 8

Диспетчерское наименование	Ед изм.	Обозначение	Период обновления
«Напряжение прямой последовательности» [30]	В	U1ss	10 мин
«Отклонение напряжения прямой последовательности» [30]	%	dU1ss	10 мин
«Напряжение обратной последовательности» [30]	В	U2ss	10 мин
«Коэффициент несимметрии по обратной последовательности» [30]	%	K2ss	10 мин
«Напряжение нулевой последовательности» [30]	В	U0ss	–
«Коэффициент несимметрии по нулевой последовательности» [30]	%	K0ss	10 мин
«Коэффициент несинусоидальности напряжения фазы А» [30]	%	kUha_ss	10 мин
«Коэффициент несинусоидальности напряжения фазы В» [30]	%	kUhb_ss	10 мин
«Коэффициент несинусоидальности напряжения фазы С» [30]	%	kUhc_ss	10 мин
«Коэффициент несинусоидальности тока фазы А» [30]	%	kIha_ss	10 мин
«Коэффициент несинусоидальности тока фазы В» [30]	%	kIhb_ss	10 мин
«Коэффициент несинусоидальности тока фазы С» [30]	%	kIhc_ss	10 мин
«Провал >60сек» [30]	%	ТС	1 мин
«Перенапряжение >60сек»	%	ТС	1 мин
Прерывание напряжения >60сек	%	ТС	1 мин
Начало провала	–	ТС	–
Начало перенапряжения	–	ТС	–
Начало прерывания напряжения	–	ТС	–

Таблица 9 – Перечень присоединений банка данных ПКЭ

Присоединение, секция/система шин	Напряжение РУ	Источник параметра	
		Тип	Обозначение в работе
ПП-1558			
яч. 7 ТП-1606	10	BINOM338 U3.57 I3.5 S16	AZ1
яч. 9 ТП-1602	10	BINOM335 U3.57 I3.5	AZ2
яч. 4 ТП-1609	10	BINOM338 U3.57 I3.5 S16	AZ3
яч. 6 ТП-1600	10	BINOM335 U3.57 I3.5	AZ4
ПП-1559			
яч. 3 ТП-1611	10	BINOM338 U3.57 I3.5 S16	AZ1
яч. 9 ТП-1601	10	BINOM335 U3.57 I3.5	AZ2
яч. 6 ТП-1605	10	BINOM338 U3.57 I3.5 S16	AZ3
яч. 8 ТП-1608	10	BINOM335 U3.57 I3.5	AZ4
яч. 10 ТП-1603	10	BINOM335 U3.57 I3.5	AZ5
РТП-590			
яч. 106 РТП-591	20	BINOM338 U3.57 I3.5 S16	AZ1
яч. 108 РТП Переходная	20	BINOM335 U3.57 I3.5	AZ2
яч. 206 РТП-591	20	BINOM335 U3.57 I3.5	AZ3
яч. 208 РТП Переходная	20	BINOM335 U3.57 I3.5	AZ4
ТП-1670			
Ввод-1 0,4кВ	10	BINOM338 U3.57 I3.5 S16	AZ1
Ввод-2 0,4кВ	10	BINOM335 U3.57 I3.5	AZ2
ТП-1671			
Ввод-1 0,4кВ	10	BINOM338 U3.57 I3.5 S16	AZ1
Ввод-2 0,4кВ	10	BINOM335 U3.57 I3.5	AZ2

Таблица 10 – Банк данных собираемых текущих значений параметров электрической сети, типовой набор параметров телеизмерений

Диспетчерское наименование	Источник параметра	Тип параметра	Ед изм.
Мощность активная ф. А	Счетчик-измеритель ПКЭ BINOM3	P_a	МВт
Мощность активная ф. В		P_b	МВт
Мощность активная ф. С		P_c	МВт
Мощность активная суммарная		$P_{сумм.}$	МВт
Мощность реактивная ф. А		Q_a	Мвар
Мощность реактивная ф. В		Q_b	Мвар
Мощность реактивная ф. С		Q_c	Мвар
Мощность активная суммарная		$Q_{сумм.}$	Мвар
Мощность полная ф. А		S_a	МВА
Мощность полная ф. В		S_b	МВА
Мощность полная ф.СА		S_c	МВА
Мощность полная суммарная		$S_{сумм.}$	МВА
Коэффициент мощности ф. А		$\cos\varphi a$	-
Коэффициент мощности ф. В		$\cos\varphi b$	-
Коэффициент мощности ф. С		$\cos\varphi c$	-
Коэффициент мощности суммарный		$\cos\varphi_{сумм}$	-
Частота		f	Гц
Напряжение фазное ф. А		U_a	кВ
Напряжение фазное ф. В		U_b	кВ
Напряжение фазное ф. С		U_c	кВ
Ток ф. А		I_a	А
Ток ф. В		I_b	А
Ток ф. С		I_c	А
Напряжение фазное среднее		$U_{фср}$	кВ
Ток средний		$I_{ср}$	А
Напряжение линейное ф. А		U_{ab}	кВ
Напряжение линейное ф. В		U_{bc}	кВ

Продолжение таблицы 10

Диспетчерское наименование	Источник параметра	Тип параметра	Ед изм.
Напряжение линейное ф. С	Счетчик-измеритель ПКЭ BINOM3	Uca	кВ
Напряжение линейное среднее		Uлср	кВ

Таблица 11 – Перечень присоединений банка данных текущих значений параметров электрической сети

Присоединение, секция/система шин	Напряжение РУ	Источник параметра	
		Тип	Обозначение в работе
РП-1558			
яч. 7 ТП-1606	10	BINOM338U3.57I3.5S16	AZ1
яч. 9 ТП-1602	10	BINOM335U3.57I3.5	AZ2
яч. 4 ТП-1609	10	BINOM338U3.57I3.5S16	AZ3
яч. 6 ТП-1600	10	BINOM335U3.57I3.5	AZ4
РП-1559			
яч. 3 ТП-1611	10	BINOM338U3.57I3.5S16	AZ1
яч. 9 ТП-1601	10	BINOM335U3.57I3.5	AZ2
яч. 6 ТП-1605	10	BINOM338U3.57I3.5S16	AZ3
яч. 8 ТП-1608	10	BINOM335U3.57I3.5	AZ4
яч. 10 ТП-1603	10	BINOM335U3.57I3.5	AZ5
РТП-590			
яч. 106 РТП-591	20	BINOM338U3.57I3.5S16	AZ1
яч. 108 РТП Переходная	20	BINOM335U3.57I3.5	AZ2
яч. 206 РТП-591	20	BINOM335U3.57I3.5	AZ3
яч. 208 РТП Переходная	20	BINOM335U3.57I3.5	AZ4
ТП-1670			
Ввод-1 0,4кВ	10	BINOM338U3.57I3.5S16	AZ1
Ввод-2 0,4кВ	10	BINOM335U3.57I3.5	AZ2

Продолжение таблицы 11

Присоединение, секция/система шин	Напряжение РУ	Источник параметра	
		Тип	Обозначение в работе
ТП-1671			
Ввод-1 0,4кВ	10	BINOM338U3.57I3.5S16	AZ1
Ввод-2 0,4кВ	10	BINOM335U3.57I3.5	AZ2

Таблица 12 – Сведения об оперативных данных телесигнализации

Диспетчерское название параметра	Источник параметра	Класс напряжения РУ, кВ	№ ячейки/ панели	Присоединение, секция/ система шин	Тип параметра
РП-1558					
В-10кВ Ввод-1	BINOM338 U3.57 I3.5 S16 AZ1	10	яч.13	Ввод-1	Выключатель
В-10кВ Резерв		10	яч.11	Резерв	Выключатель
В-10кВ ТП-1602		10	яч.9	ТП-1602	Выключатель
В-10кВ ТП-1606		10	яч.7	ТП-1606	Выключатель
В-10кВ Резерв		10	яч.5	Резерв	Выключатель
В-10кВ Резерв		10	яч.3	Резерв	Выключатель
СВ-10кВ		10	яч.1	Ввод-1	Выключатель
В-10кВ ТП-1609		10	яч.4	ТП-1609	Выключатель
В-10кВ ТП-1600		10	яч.6	ТП-1600	Выключатель
В-10кВ Резерв		10	яч.8	Резерв	Выключатель
В-10кВ Резерв		10	яч.10	Резерв	Выключатель

Продолжение таблицы 12

Диспетчерское название параметра	Источник параметра	Класс напряжения РУ, кВ	№ ячейки/ панели	Присоединение, секция/ система шин	Тип параметра
В-10кВ Резерв		10	яч.12	Резерв	Выключатель
В-10кВ Ввод-2		10	яч.14	Ввод-2	Выключатель
РП-1559					
В-10кВ Ввод-1	BINOM338 U3.57 I3.5 S16 AZ1	10	яч.13	Ввод-1	Выключатель
В-10кВ Резерв		10	яч.11	Резерв	Выключатель
В-10кВ ТП-1601		10	яч.9	ТП-1601	Выключатель
В-10кВ Резерв		10	яч.7	Резерв	Выключатель
В-10кВ Резерв		10	яч.5	Резерв	Выключатель
В-10кВ ТП-1611		10	яч.3	ТП-1611	Выключатель
СВ-10кВ		10	яч.1	Ввод-1	Выключатель
В-10кВ Резерв		10	яч.4	Резерв	Выключатель
В-10кВ ТП-1605		10	яч.6	ТП-1605	Выключатель
В-10кВ ТП-1608		10	яч.8	ТП-1608	Выключатель
В-10кВ ТП-1603		10	яч.10	ТП-1603	Выключатель
В-10кВ Резерв		10	яч.12	Резерв	Выключатель
В-10кВ Ввод-2		10	яч.14	Ввод-2	Выключатель

Продолжение таблицы 12

Диспетчерское название параметра	Источник параметра	Класс напряжения РУ, кВ	№ ячейки/ панели	Присоединение, секция/ система шин	Тип параметра
РП-1559					
В-20кВ РТП «Переходная»	VINOM338 U3.57 I3.5 S16 AZ1	20	яч.108	РТП «Переходная»	Выключатель
В-20кВ РТП-591		20	яч.106	РТП-591	Выключатель
В-20кВ Резерв		20	яч.105	Резерв	Выключатель
В-20кВ Ввод-1		20	яч.104	Ввод-1	Выключатель
СВ1-20кВ		20	яч.103	СВ1	Выключатель
В-20кВ Т-1		20	яч.102	Т-1	Выключатель
В-20кВ Т-2		20	яч.202	Т-2	Выключатель
СВ2-20кВ		20	яч.203	СВ2	Выключатель
В-20кВ Ввод-2		20	яч.204	Ввод-2	Выключатель
В-20кВ Резерв		20	яч.205	Резерв	Выключатель
В-20кВ РТП-591		20	яч.206	РТП-591	Выключатель
В-20кВ РТП «Переходная»		20	яч.208	РТП «Переходная»	Выключатель

Продолжение таблицы 12

Диспетчерское название параметра	Источник параметра	Класс напряжения РУ, кВ	№ ячейки/ панели	оединение, секция/ система шин	Тип параметра
РП-1670					
В-10кВ Ввод-1	BINOM338 U3.57 I3.5 S16 AZ1	10	яч.5	Ввод-1	Выключатель
В-10кВ Ввод-2		10	яч.2	Ввод-2	Выключатель
РП-1671					
В-10кВ Ввод-1	BINOM338 U3.57 I3.5 S16 AZ1	10	яч.5	Ввод-1	Выключатель
В-10кВ Ввод-2		10	яч.2	Ввод-2	Выключатель

Выводы по разделу 5.

В данном разделе были рассмотрены примеры нарушения показателей качества электроэнергии, рассмотрено нарушение ПКЭ в системе электроснабжения 0,4 кВ у потребителя. Также были представлены графики фазных напряжений до установки и после установки стабилизатора напряжения. «Представлена статистика провалов, прерываний напряжения и перенапряжений до установки стабилизатора напряжения и после установки стабилизатора напряжения»[8].

6 Общая оценка надежности проектируемой системы

Согласно результатам проведенных измерений, количество провалов напряжения уменьшилось в 4,26 раза, а количество перенапряжений – в 53,4 раза.

Полученные данные мониторинга качества электроэнергии в сети КВЦ «Экспофорум» являются основанием для того, чтобы сделать вывод о том, что решение об установке стабилизатора напряжения было верным.

Однако, следует отметить, что оно не является универсальным для всех случаев нарушения ПКЭ и, для того, чтобы подобрать необходимое устройство для нормализации ПКЭ в той или иной системе, необходим предварительный мониторинг КЭ.

Выводы по разделу 6.

Внедрение системы мониторинга показателей качества электроэнергии для электрооборудования КВЦ «Экспофорум» позволит снизить расходы предприятия на электроэнергию, а также решит проблему с постоянными выходами из строя и сбоями в электрооборудовании всего комплекса.

Опыт внедрения системы мониторинга качества электроэнергии на данном предприятии может быть полезен для других объектов похожего назначения.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены общие сведения о показателях качества электрической энергии, изучена классификация этих показателей, а также проанализированы действующие в РФ стандарты и нормативные документы.

В процессе исследования систематизированы сведения о качестве электрической энергии в целом по Российской Федерации и выявлены наиболее типичные виды нарушений показателей качества электрической энергии.

В рамках данной работы осуществлен технико-экономический анализ средств измерений показателей качества электроэнергии в сетях, а также подробно разобраны методы измерений ПКЭ посредством многофункционального счетчика-измерителя BINOM3.

В ходе выполнения магистерской работы уделено внимание организации АИИС КУЭ на рассматриваемом предприятии – КВЦ «Экспофорум».

Отдельный раздел работы посвящен автоматизации энергообъектов КВЦ «Экспофорум», а именно: РП-1558, РП-1559, РТП- 590, ТП-1670 и ТП-1671.

В пятом разделе ВКР произведены расчеты имеющегося на предприятии оборудования (ИТТ, ИТН) по вторичной нагрузке. Проверена возможность их совместного функционирования с выбранными в первом разделе многофункциональными счетчиками-измерителями BINOM3. По итогам проверки:

- обоснована необходимость замены установленных ИТТ на более точные, соответствующие требованиям действующего «ГОСТ 7746- 2001» [10];
- даны рекомендации о проведении демонтажа старых счетчиков, поскольку последовательное их соединение с новыми технически неосуществима.

В практической части работы, во-первых, определены точки мониторинга ПКЭ. Во-вторых, определены типы устанавливаемых счетчиков. Кроме того, разработаны нижний и верхний уровни системы мониторинга КЭ, включая специализированное АРМ СМКЭ. Предлагаемые мероприятия позволят организовать одновременный и непрерывный мониторинг качества электрической энергии согласно «ГОСТ 33073-2014» [9] и обеспечить сбор и хранение данных ПКЭ.

На заключительном этапе работы осуществлена общая оценка надежности проектируемой системы. Подведены итоги по изменению таких показателей, как надежность электропитания используемого оборудования и информационной безопасности базы данных объекта.

Итог проделанной работы – проект системы учета и контроля показателей КЭ системы электроснабжения КВЦ «Экспофорум», которая состоит из АИИС КУЭ и СМКЭ. Нижний уровень выполнен на базе счетчиков-измерителей BINOM3 и сетевого оборудования, а верхний уровень построен на основе комплекса «KVADRANT». С учетом указанных в пятом разделе рекомендаций, разработанная система может быть использована на рассматриваемом объекте.

Одним из основных условий сокращения расходов и повышения экономической эффективности производства и себестоимости выпускаемой продукции – это внедрение энергосберегающих технологий на предприятии.

Комплексное внедрение современного энергоэкономного оборудования даст колоссальные плюсы промышленным предприятиям и существенно повлияет на снижение себестоимости конечной продукции.

За счет внедрения системы мониторинга показателей качества электроэнергии для электрооборудования КВЦ «Экспофорум» позволит снизить расходы предприятия на электроэнергию.

Также опыт внедрения системы мониторинга качества электроэнергии на данном предприятии может быть полезен для других объектов похожего назначения.

Список используемых источников

1. Большаков О., Воронин В., Шамонов Р., Тульский В. Подходы к обеспечению нормативного качества электроэнергии // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, Передача и распределение, 2014, № 1(22), с. 112-115.
2. Боровиков В.С., Волков М.В., Иванов В.В., Литвак В.В., Мельников В.А., Погонин А.И., Харлов Н.Н., Акимжанов Т.Б. Режимные свойства электрических сетей 110 кВ юга России в обеспечении эффективности транспорта электроэнергии. – Томск, Издательство Томского политехнического университета, 2013.
3. Боровиков В.С., Волков М.В., Иванов В.В., Литвак В.В., Мельников В.А., Погонин А.И., Харлов Н.Н. Опыт корпоративного обследования электрических сетей 110 кВ Сибири. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010.
4. Воронин В., Гаджиев М., Шамонов Р. Направления развития системы регулирования напряжения и реактивной мощности в ЕНЭС // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, Передача и распределение, 2012, № 2(11), с. 38-45.
5. Воропай Н.И. Комментарий // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, Передача и распределение, 2015, № 1(28), с. 103.
6. ГОСТ 30804.4.30-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. – М.: Стандартинформ, 2014.
7. ГОСТ 30804.4.7-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств. – М.: Стандартинформ, 2013.
8. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.
9. ГОСТ 33073-2014. Электрическая энергия. Совместимость

технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартиформ, 2014.

10. ГОСТ 7746-2001, Трансформаторы тока. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2003.

11. ГОСТ Р 51317.4.30–2008 (МЭК 61000-4-30:2008). Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. М.: Стандартиформ, 2018.

12. ГОСТ Р 54149–2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартиформ, 2017.

13. ГОСТ Р 8.655-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений показателей качества электрической энергии. Общие технические требования. - М.: Стандартиформ, 2019.

14. ГОСТ 22261-94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия. Стандартиформ, 1996 г.

15. ГОСТ Р 8.656-2009. Государственная система обеспечения единства средств измерений. Средства измерений показателей качества энергии. Методики проверки. Стандартиформ, 2010 г.

16. ГОСТ Р 8.689-2009. Государственная система обеспечения единства средств измерений. Средства измерений показателей качества электрической энергии. Методы испытаний. Стандартиформ, 2010 г.

17. ГОСТ Р 51317.4.15- 2012. Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Функциональные и конструктивные требования. Стандартиформ, 2013 г.

18. Громов В.Н. Влияние качества электроэнергии на работоспособность систем автоматики, сигнализации и связи метрополитенов. // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Управление качеством электроэнергии». – М.: Национальный

исследовательский университет «МЭИ», 2019 г.

19. Добрусин Л.А. Проблема качества электроэнергии и электросбережения в России // Энергоэксперт, 2018, № 4(9), с 30-35.

20. «Исследование качества электрической энергии при наличии потребителей с нелинейными нагрузками». Текст научной статьи по специальности «Электротехника, электронная техника, информационные технологии». Кузьмин Д.А., Горячев В. Я.

21. Коверникова Л., Тульский В., Шамонов Р. Качество электроэнергии в ЕЭС России. Текущие проблемы и необходимые решения // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2016, №:2 (35), с. 40-50.

22. Мэнсон Д. Решение проблемы качества электроэнергии дешевле, чем терпеть от нее убытки // Энергоэксперт, 2018, № 4(9), с. 49-52.

23. Основные технические требования к системе мониторинга и управления качеством электроэнергии в ОАО «ФСК ЕЭС» Распоряжение № 377р от 06.06.2012 г.

24. Правила применения скидок и надбавок к тарифам за качество электроэнергии // Промышленная энергетика, 2021, № 8, с. 49-51.

25. Правила присоединения потребителей к сети общего назначения по условиям влияния на качество электроэнергии // Промышленная энергетика, 2021, № 8, с. 45-48.

26. Приказ №86 Министерства энергетики РФ от 22 марта 2011 г. «Методические рекомендации по техническим характеристикам систем и приборов учета электрической энергии на основе технологий интеллектуального учета».

27. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе 22 февраля 2017 г.

28. РД 153-34.0-15.501–00. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 1. Контроль качества электрической энергии (утв. Госэнергонадзором 27.12.2017).

29. РД 153-34.0-15.502–2002. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии (утв. Госэнергонадзором 15.07.2017).

30. Счетчики-измерители показателей качества электрической энергии многофункциональные серии «BINOM3» ПРОТОКОЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЛАС.411152.002 Д1 Инв. № дубл. Листов 139 Ред.5.6.

31. СПС ГАРАНТ: Нормативно-правовая документация. <http://ivo.garant.ru>.

32. СТО 56947007-29.200.80.180-2014 ОАО «ФСК ЕЭС». Преобразователи измерительные для контроля показателей качества электрической энергии. Типовые технические требования от 8 июля 2014 г.

33. Технический регламент таможенного союза ТРТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств». Решение Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. №879.

34. Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» (ред. от 05.06.2022).

35. Федеральный закон от 26.03.2003 № 36-ФЗ «Об особенностях функционирования электроэнергетики в переходный период» (ред. от 05.06.2022)

36. Функциональные требования к Программно - техническим комплексам Системы мониторинга и управления качеством электроэнергии на уровне МЭС от 26 сентября 2016 г.

37. Gusev Y. P., Subbotin Y. P. Using battery energy storage systems for load balancing and reactive power compensation in distribution grids // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019, Sochi, 25–29 марта 2019 года. – Sochi, 2019. – P. 8742909.

38. Hamidjonov Z., Abdullaev A., Ashurov A., Ergashev K.R.O. Reactive power compensation in power // Universum: технические науки. – 2021. – No 11-

6(92). – P. 87-90.

39. Kuchansky V., Malakhatka D., Ihor B. Application of Reactive Power Compensation Devices for Increasing Efficiency of Bulk Electrical Power Systems // 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2020 - Proceedings : 7, Kyiv, 12–14 мая 2020 года. – Kyiv, 2020. – P. 83-86

40. Qiao X., Bian J., Chen C., Li H. Comparison and Analysis of Reactive Power Compensation Strategy in Power System // iSPEC 2019 - 2019 IEEE Sustainable Power and Energy Conference: Grid Modernization for Energy Revolution, Proceedings : Grid Modernization for Energy Revolution, Beijing, 21–23 ноября 2019 года. – Beijing, 2019. – P. 689-692.

41. Zinoviev G. S., Ponomarev K. D., Udovichenko A. V., Sidorov A. V. Comparison of Five Schemes Used for Reactive Power Compensation // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM, Erlagol, Altai Republic, 29 июня – 03 2019 года. – Erlagol, Altai Republic: IEEE Computer Society, 2019. – P. 457-463.