

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 энергоэффективного электроснабжения бизнес-центра

Обучающийся

Е. В. Кореньков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.п.н., доцент, М. Н. Третьякова

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

Тольятти 2022

Содержание

Введение.....	3
1 Анализ способов повышения энергоэффективности систем электроснабжения	5
1.1 Компенсация реактивной мощности.....	5
1.2 Энергоэффективное освещение.....	6
1.3 Снижение потерь электроэнергии в линиях электропередач.....	10
1.4 Энергоэффективное силовое электрооборудование	11
1.5 Повышение энергоэффективности с помощью применения программируемых цифровых реле	17
1.6 Повышение энергоэффективности с помощью АСТУЭ	22
2 Разработка энергоэффективного электроснабжения бизнес-центра	27
2.1 Исходные данные	27
2.2 Определение электрических нагрузок	29
2.3 Проектирование энергоэффективной системы освещения	32
2.4 Компенсация реактивной мощности.....	39
2.5 Расчет питающей линии 0,4 кВ	41
2.6 Расчет распределительной сети.....	42
2.7 Выбор автоматических выключателей	48
2.8 Выбор электродвигателей и частотных преобразователей для энергоэффективной работы систем вентиляции и водоснабжения	51
2.9 Выбор оборудования АИИСКУЭ	56
2.10 Автоматический ввод резерва 0,4 кВ	62
2.11 Расчет контура заземления ГРЩ	65
3 Оценка экономической эффективности предлагаемого варианта энергоэффективного электроснабжения бизнес-центра	69
3.1 Сметная стоимость проекта	69
3.2 Ожидаемые экономический эффект и срок окупаемости.....	71
Заключение	74
Список используемых источников.....	76

Введение

Повышение общей энергоэффективности современных действующих и проектируемых систем электроснабжения СЭС самых различных объектов является одной из наиболее важных задач общемировой электроэнергетики в настоящее время. Это связано как с общепринятой концепцией борьбы с глобальным потеплением (повышение энергоэффективности СЭС резко снижает тепловыделение в окружающую среду), так и с экономическими аспектами сокращения затрат на потери электроэнергии в элементах электрических сетей. Также значимым фактором является сокращение общемирового запаса углеводородных энергоресурсов, которые обеспечивают основной объем выработки электроэнергии на электростанциях, с учетом общепринятого тренда перехода к «зеленой» энергетике актуальность данного фактора постоянно нарастает.

Актуальность исследования: обеспечение и повышение энергоэффективности современных систем электроснабжения (СЭС) является одной из наиболее значимых задач при их разработке. «Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ также предписывает данную задачу как одну из приоритетных в том числе и при разработке СЭС социально-общественных зданий» [24]. Таким образом, очевидно, что тема магистерской диссертации является актуальной и обоснованной. В диссертации будет решаться проблема разработки энергоэффективного электроснабжения на примере бизнес-центра (БЦ).

Объект исследования: электроснабжение бизнес-центра.

Предмет исследования: энергоэффективная система электроснабжения.

Цель работы – осуществление энергоэффективного электроснабжения БЦ за счет выбора современного электрооборудования и прогрессивных технических решений.

Задачи работы:

- Анализ способов повышения энергоэффективности СЭС;

- Разработка энергоэффективного электроснабжения БЦ;
- Оценка экономической эффективности разработанной СЭС.

Практическая значимость работы состоит в проектировании эффективных мероприятий по повышению энергоэффективности СЭС бизнес-центра, реализация которых, при проведении реконструкции СЭС, обеспечит значительное снижение затрат на оплату электроэнергии, амортизационные и прочие технико-эксплуатационные расходы. Также предлагаемый вариант энергоэффективного электроснабжения БЦ может быть использован при постройке и вводе в эксплуатации аналогичного здания БЦ. Результаты работы могут применяться при разработке энергоэффективных СЭС других аналогичных объектов и зданий, а также при реконструкции и модернизации действующих СЭС.

Теоретической и методологической базой для данного исследования послужили: анализ актуальных научных источников, методики анализа, проектирование и расчет энергоэффективных СЭС.

1 Анализ способов повышения энергоэффективности систем электроснабжения

1.1 Компенсация реактивной 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].

Смысл КРМ показан на рисунке 1.

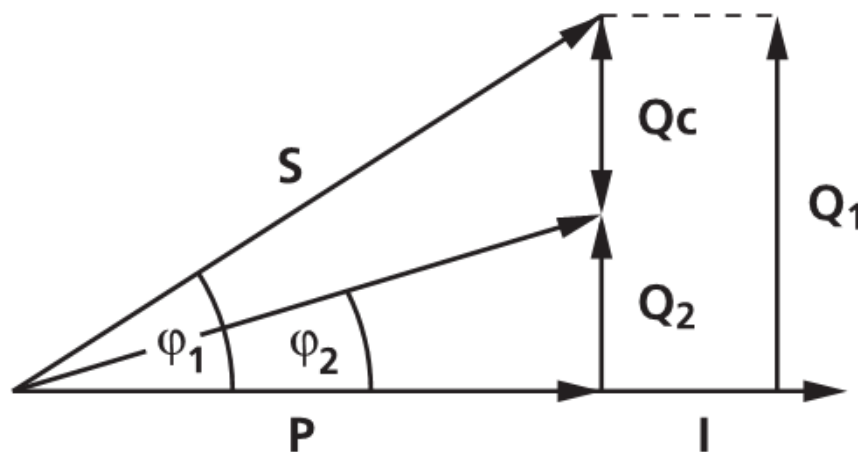


Рисунок 1 – Смысл КРМ

Пояснения по рисунку 1: реактивная мощность Q_1 компенсируется на величину Q_c до значения Q_2 , что вызывает снижение полной потребляемой мощности S на существенную величину.

«Внедрение устройств КРМ необходимо делать на стороне потребления реактивной мощности, чтобы по возможности разгрузить силовые трансформаторы и распределительные сети. 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.

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], [30].

1.2 Энергоэффективное освещение

В настоящее время наиболее энергоэффективным является освещение на основе светодиодных источников света. Эффективность нынешней экономики невообразима без участия передовых, а также инновационных технологий, сохраняющих энергию. Значимым течением в данной области считается сокращение потребления электроэнергии вследствие внедрения современных осветительных установок, а также прогрессивного светотехнического

оснащения в административных и общественных помещениях, аграрном хозяйстве, на транспорте, в торговле и в сфере различных услуг.

Далеко не менее значимым считается вопрос уменьшения стоимости электроэнергии для населения, а также жилищно-коммунального хозяйства в обстоятельствах увеличения тарифов на коммунальные услуги.

Светодиодному осветительному оборудованию в настоящее время отдается абсолютное, а также признанное технологическое первенство в постановлении данных вопросов.

Ключевыми достоинствами светодиодных источников света считаются следующие:

- Небольшое потребление энергии. Светодиодное освещение позволяет снизить энергопотребление по сравнению с иными источниками света в 3–10 раз. Так, аналогом лампы накаливания мощностью 60 Вт будут: люминесцентный светильник на 13,5–15 Вт, либо светодиодный светильник мощностью всего 6 Вт.
- Высокая светоотдача. То есть соотношение между световым потоком и потребляемой мощностью у светодиодов – 50–110 и более лм/Вт (для сравнения: лампы накаливания – 10–15 лм/Вт, компактные люминесцентные лампы – 55–70 лм/Вт, металлогалогеновые лампы – 70–90 лм/Вт).
- Долгосрочная служба – от 50 000 до 100 000 часов. Для сравнения: лампа накаливания – 1000 часов, галогеновая лампа – 2000, люминесцентная – от 5000 до 10000, металлогалогеновая – 10000 часов.
- Экономичность применения и эксплуатации светодиодного освещения достигается не только низким энергопотреблением, но и рядом других факторов. Во-первых, при монтаже светодиодных осветительных систем возможно использовать провод и кабель меньшего сечения. Во-вторых, использование светодиодного оборудования на существующих мощностях и кабельных трассах позволит, помимо

экономии энергии, существенно увеличить освещенность объекта (при наличии такой потребности) за счет увеличения количества светильников. В-третьих, отсутствие необходимости замены ламп не требует затрат на их приобретение и на оплату работ по обслуживанию светильников (оплата персонала и вспомогательной техники), что особенно значимо, если светильники установлены в труднодоступных местах. И наконец, достигнутая экономия электроэнергии позволит перераспределить высвободившуюся мощность на другие нужды.

- Возможность регулировки яркости светодиодных светильников за счет снижения питающего напряжения (например, согласно СНиП в ночное время допускается снижение освещенности улиц на 30–50%). Как известно, традиционные газоразрядные лампы такой возможности для снижения энергозатрат не дают.
- Стабильная работоспособность. Светодиоды меньше, чем иные источники света, чувствительны к падениям или скачкам напряжения в сети, могут работать от напряжения в диапазоне от 120 до 280 вольт. При этом колебания напряжения не влияют на работу светодиодов
- Широкий температурный диапазон применения светодиодных светильников позволяет эксплуатировать их в условиях от -60°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Температура окружающей среды не влияет на время запуска светодиодных приборов освещения.
- Мгновенное зажигание и достижение рабочего режима при подаче питающего напряжения (в отличие от ламп люминесцентных, ДРЛ, ДНаТ). Это делает светодиоды совершенно незаменимыми там, где требуется максимальное быстроедействие, например, в рекламном освещении.
- Устойчивость к внешним воздействиям. Отсутствие нити накаливания дает светодиодным светильникам высокую виброустойчивость и механическую прочность, использование поликарбонатного стекла

позволяет выдерживать значительные ударные нагрузки (вплоть до выстрелов из пневматического оружия). Кроме того, в зависимости от назначения светодиодный светильник может быть изготовлен с любой требуемой степенью пыле- влагозащиты, вплоть до IP 68 (полная защита от пыли и возможность полного погружения в воду).

- Цветовая температура светодиодов имеет широкий спектр – от «теплого белого» (2600 К) до «холодного белого» (10000 К). Это дает возможность применять светодиодные светильники как в помещениях различного функционального назначения (жилые, офисные, производственные помещения, учебные аудитории и т.д.), так и в уличном освещении. Для сравнения: свет пламени свечи – 2000 К, лампа накаливания – 2360 К, прямой солнечный дневной свет – 5500 К, люминесцентные лампы – от 2700 до 6500 К.
- Высокая контрастность света улучшает качество освещения объектов, позволяя достигнуть лучшей четкости, что особенно значимо при освещении зданий, подъездов, дворов, складов, охраняемых территорий, спортивных сооружений, парков, рекламных щитов.
- Высокий индекс цветопередачи создает комфортную для человеческого зрения освещенность, не уступая по данному показателю характеристикам других источников света. Индекс цветопередачи светодиодов – 75–85, ламп накаливания – 68, люминесцентных ламп – 60–90, натриевых – 25.
- Экологичность. В отличие от люминесцентных ламп, светодиодные не имеют в своем составе ртути, совершенно безопасны и не требуют вложений в утилизацию.
- Большая надежность обусловлена тем, что светодиодные осветительные приборы относятся к низковольтным устройствам (другими словами обладают высокой степенью электробезопасности) и при введении отсутствует угроза перегрузки сети. Помимо этого, у светодиодных ламп нет эффекта низкочастотной пульсации

(стробоскопического эффекта), отмечающегося у люминесцентных и газоразрядных ламп. Светодиоды не производят электромагнитных помех, а диапазон их излучения не содержит УФ- и ИК-компоненты (но имеются также светодиоды, специально определенные для работы в данных частях спектра). Невысокое потребление энергии и слабый нагрев светодиодных ламп гарантируют значительный уровень пожарной безопасности.

- Отсутствие шума. Светодиодные лампы совершенно бесшумны (в отличие от люминесцентных), это говорит о том, что их сложно заменить другими источниками света в библиотеках, клиниках, учебных учреждениях, офисах, жилых помещениях и многих других местах.
- Получение различных расцветок и оттенков светодиодного излучения при отсутствии использования цветных фильтров, что нереально при иных источниках искусственного освещения. Такое добывается за счет контролеров, диммеров, а также вместе с плавным изменением яркости и цвета [31].

Для обеспечения максимальной энергоэффективности управление освещением рекомендуется автоматизировать с помощью программируемых реле.

1.3 Снижение потерь электроэнергии в линиях электропередач

Потери электроэнергии (ЭЭ) в ЛЭП, при значительных электрических нагрузках, могут быть существенными, что приводит к дополнительным экономическим расходам при эксплуатации СЭС. Также при увеличении потерь ЭЭ возрастает и нагрев ЛЭП, что может вызвать ускоренное старение изоляции проводов и кабелей и другие нежелательные последствия [26], [27], [29].

Для снижения потерь ЭЭ в линиях электропередач рекомендуются следующие меры:

- повышение энергоэффективности конечных электроприемников;
- сокращение суммарной длины ЛЭП и электрических сетей по объекту электроснабжения;
- выбор сечений жил проводов по экономической плотности тока;
- выбор сечений жил проводов с учетом возможных дополнительных перспективных нагрузок [4], [6].

1.4 Энергоэффективное силовое электрооборудование

Для общего повышения энергоэффективности СЭС рекомендуется применять современное силовое электрооборудование, отвечающее актуальным требованиям по энергосбережению. Энергоэффективность наиболее распространенного силового ЭО с асинхронным электроприводом можно значительно повысить, используя частотное регулирование.

В СЭС жилых, коммунально-бытовых, коммерческих и социальных зданий одними из наиболее энергоемких потребителей являются мощные электроприводы систем вентиляции и водоснабжения, зачастую работающие почти непрерывно. Рассмотрим подробнее использование частотного регулирования в системах вентиляции с целью увеличения энергической эффективности (для систем водоснабжения все нижесказанное также актуально).

На сегодняшний день проблема предоставления наибольшей энергоэффективности разных технологических действий считается одной из актуальных [9]. Такое положение сопряжено с увеличением расходов на электрическую энергию, уменьшением единых резервов традиционных невозобновляемых источников энергии, а также ужесточением природоохранных условий к процессам генерации, преобразования и передачи [28].

Системы принудительной вентиляции с электроприводом (ЭП) применяются глобально: на предприятиях различной промышленности, кроме того, в административных, социальных, бытовых и иных целях. Между тем, классическим методом управления воздушным потоком, а также интенсивностью вентиляции считается применение шиберной заслонки. Тем не менее несмотря на то, что этот метод считается недорогим и легким в осуществлении, на практике он может стать причиной внушительного уменьшения общего коэффициента полезного действия (КПД) системы вентиляции (СВ), а также вызвать значительные потери энергии.

В данный период времени, в СВ, как правило, применяются трехфазные асинхронные двигатели из-за их прочности, высокого коэффициента полезного действия, незамысловатости, а также невысокой стоимости. Этот вид электропривода удерживает частотное регулирование (ЧР), скорость вращения (отсюда также интенсивность деятельности СВ).

Приведем ниже схему определения требуемой мощности ЭП вентилятора (рисунок 2).

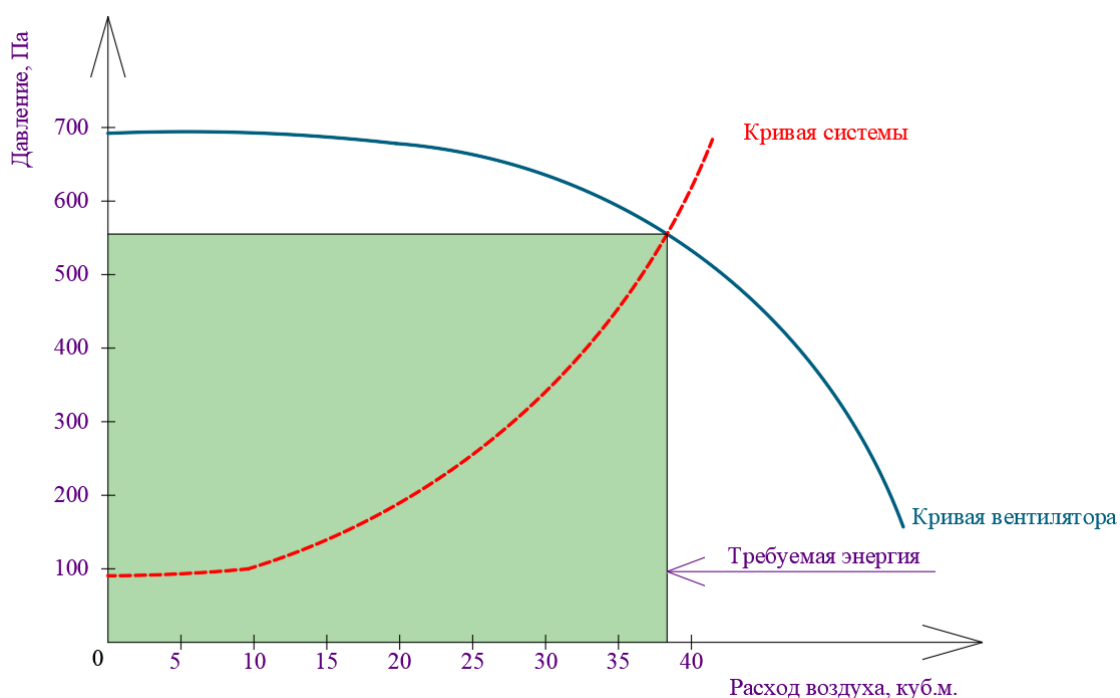


Рисунок 2 – Определение требуемой мощности электропривода вентилятора

Подбор мощности вентилятора СВ следует осуществлять обязательно с небольшим запасом. Из рисунка 1 видно, что кривая вентилятора является подающей частью СВ, которая демонстрирует связь уровня нагнетания от расхода воздуха. В свою очередь кривая системы, которая потребляет часть СВ, также демонстрирует эту связь, однако в зеркальном направлении. Эти кривые пересекаются в точке оптимума, если гарантированы нужный поток воздуха и его давление. Тем не менее подобный режим работы СВ ограничен интенсивности, а также отмечается нечасто, в иных режимах СВ (на рисунке 3), где используются заслонки, вентилятор создаёт избыточное давление и, соответственно, лишние потери энергии.

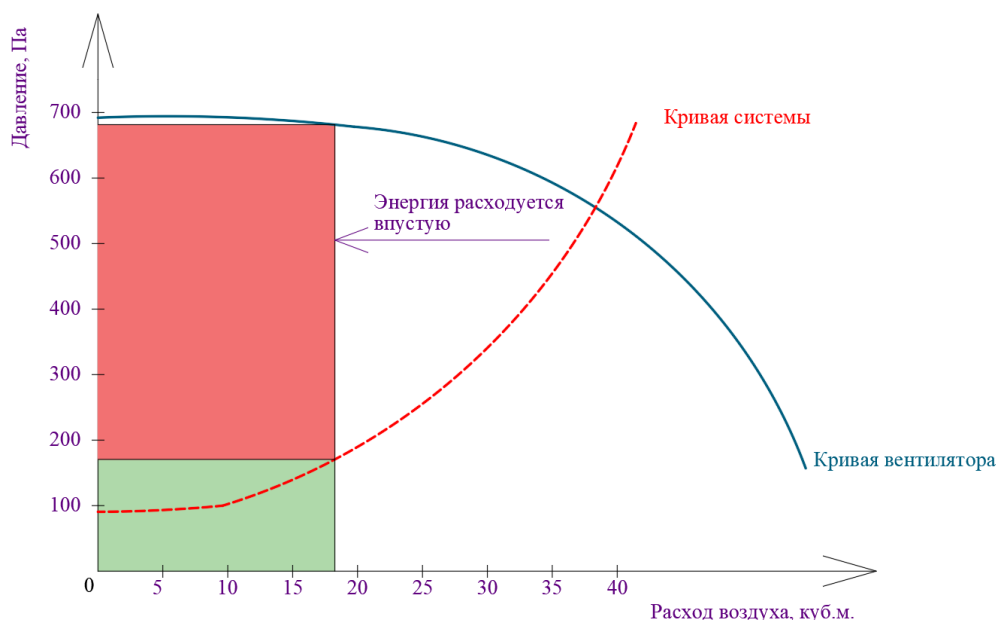


Рисунок 3 – Энергопотери при регулировании с применением заслонки

Проанализируем детальнее эффективность энергии ЧР в системах вентиляции. Прогрессивным, а также энергоэффективным видом преобразователя частоты для асинхронного электропривода считается транзисторный преобразователь частоты (ТрЧП), базой которого считается *IGBT*-транзистор [5].

Использование ТрЧП за счёт снижения оборотов электропривода и интенсивности вентилирования позволяет адаптировать «кривую вентилятора» под «кривую системы», при этом минимизируются потери энергии и наблюдается очень значительная экономия энергии по сравнению с регулированием заслонкой. Экономия обеспечивается плавным изменением частоты вращения электропривода в широком диапазоне, что означает минимальное потребление энергии, требуемое для поддержания необходимого давления в данном конкретном режиме работы СВ (рисунок 4).

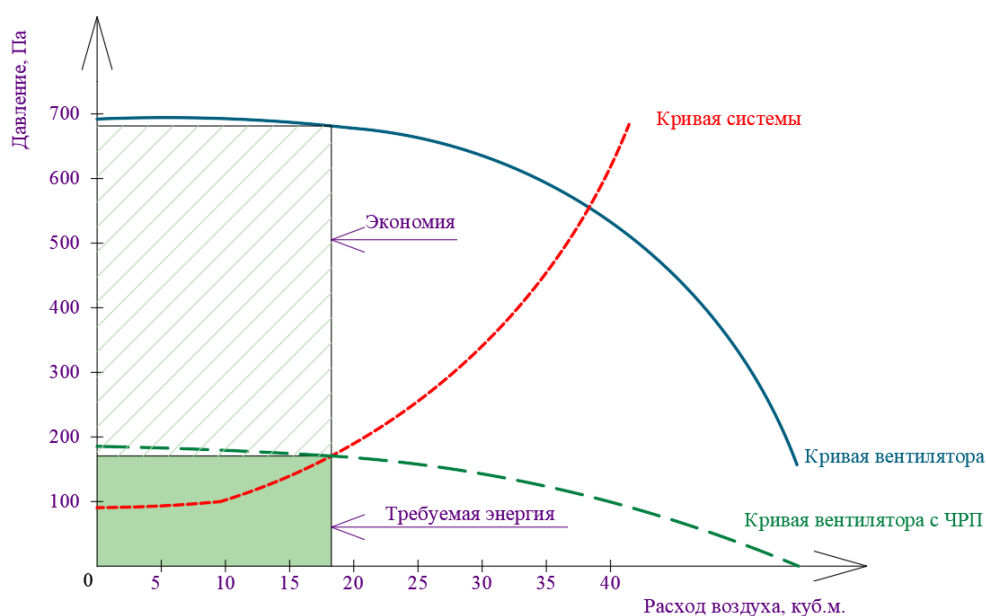


Рисунок 4 – Экономия энергии при частотном регулировании

Преимущества частотного регулирования СВ:

- максимально высокий КПД и энергоэффективность;
- минимальные затраты на оплату потребляемой электроэнергии;
- поддержание требуемого давления воздуха в системе;
- возможность питания от однофазной сети 220 В.
- плавные пуск, останов и изменение частоты вращения двигателя позволяют также сократить потери воздуха и дополнительно повысить энергоэффективность.

Согласно статистике, применение в системах вентиляции и водоснабжения современных преобразователей на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором (*IGBT*) вместо регулирования шиберной заслонкой позволяет обеспечить резерв энергосбережения, в среднем, около 15,4 % [5].

«Далее рассмотрим устранение некоторых недостатков асинхронного электропривода (напрямую влияющих на его энергоэффективность) при непосредственном подключении (без изменения параметров питающего напряжения) с помощью ТрЧП».

1.4.1 Малый пусковой момент и большой пусковой ток

Запатентованное решение Оптимальный поток было разработано в целях создания асинхронного электропривода, способного иметь наибольший пусковой момент при наименьшем токе. Данное решение заключается в максимальной оптимизации магнитного потока путем постоянного контроля параметров работы электропривода и корректировки параметров питания, что приводит к минимизации потерь на тепло и гистерезис. Оптимизация магнитного потока для электродвигателей с классами изоляции *B* и *F* показана на рисунке 5.

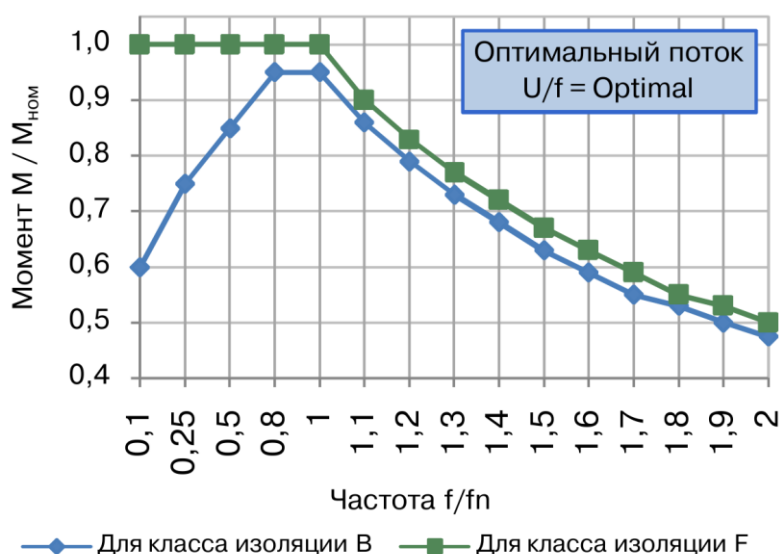


Рисунок 5 – Оптимизация магнитного потока для электродвигателей

При пуске двигателя плотность магнитного потока необходимо увеличить для обеспечения достаточного пускового момента. При этом частота питающего напряжения выбирается очень небольшой (порядка 0,1–0,2 Гц), чтобы минимизировать потери на гистерезис. Таким образом, становится возможным выполнить пуск с максимальным напряжением и током и, соответственно моментом. Таким образом, подбирается оптимальное соотношение напряжения и частоты питания электродвигателя (U/f). В соответствии со стандартом *NEMA MG1* частей 30 и 31, пусковой момент должен быть не менее 140% от номинального, а ток при этом не более 150% от номинального.

Оптимизация магнитного потока минимизирует пусковые токи асинхронных электроприводов, обеспечивая повышение КПД при пуске двигателей и снижая возникновение снижающих общую энергоэффективность сети вредных гармоник напряжения.

1.4.2 Чувствительность к изменениям параметров в сети

Для сети переменного тока асинхронный электропривод является нелинейной нагрузкой, ток которой содержит определенные гармоники.

Характеристики гармоник при питании от ТрЧП определяются выражением $h=np\pm 1$ на стороне переменного тока, то есть на линии электропередачи (p – число импульсов инвертора и $n=1,2,3$). Таким образом, в случае с типовым шести диодным выпрямительным мостом (6 импульсов), наиболее выраженными генерируемыми гармониками будут 5-я и 7-я. Их величины могут варьироваться от 10% до 40% от основной компоненты, в зависимости от параметров питающей сети.

Общий уровень гармоник определяется коэффициентом *THD* (*Total Harmonic Distortion* - коэффициент нелинейных искажений). Стандарт *IEEE Std.519(1992)* рекомендует максимальный $THD=5\%$ для мощных систем напряжением ≤ 69 кВ.

В современных *IGBT*-ТрЧП фильтрация нежелательных гармоник осуществляется сетевыми дросселями, что увеличивает КПД

электродвигателя и продлевает его срок службы. Частотный преобразователь с фильтрующими устройствами стабилизируют параметры питания электродвигателя, что повышают его КПД и гарантирует сохранность изоляции» [5].

1.5 Повышение энергоэффективности с помощью применения программируемых цифровых реле

«При проектировании систем электроснабжения (СЭС) различных объектов, а также при проведении реконструкции и модернизации действующих СЭС одним из самых актуальных вопросов является обеспечение их максимальной энергоэффективности и автоматизации систем управления электроприемниками (ЭП). Одним из способов достижения этого является использование программируемых реле (ПР), которые позволяют максимально оптимизировать работу ЭП и участков СЭС конкретно под требуемую специфику с учетом максимальной энергоэффективности, автоматизации, эргономики и удобства пользования электрооборудованием.

ПР являются современными электронно-цифровыми модулями, обеспечивающими гибкую и точную программную настройку режимов работы присоединяемых ЭП и цепей управления. Область применения ПР: наружное, внутреннее и торговое освещение; управление компрессорами, насосами, вентиляторами, кондиционерами, калориферами, обогревателями, транспортерами и другим технологическим электрооборудованием; управление электроприводом дверей, ворот, лифтов, подъемников и любых других ЭП, подходящих под паспортные данные ПР по рабочим параметрам (ток, напряжение сети и т.д.)» [13].

Следует отметить, что к основному модулю ПР допускается подключение разнообразных выносных датчиков, которые гарантируют регулировку посредством вспомогательных характеристик, так можно настроить режим работы ПР:

- согласно времени суток, длительности работы, а также другим временным интервалам;
- на основе показаний датчиков (согласно освещению, температуре, давлению, наличию объектов, звука и многое другое).

На сегодняшний день многочисленные ведущие производители электротехнического оснащения выпускают разнообразные программируемые реле. Примером может послужить ПР *Siemens LOGO* с модулем расширения (рисунок 6).

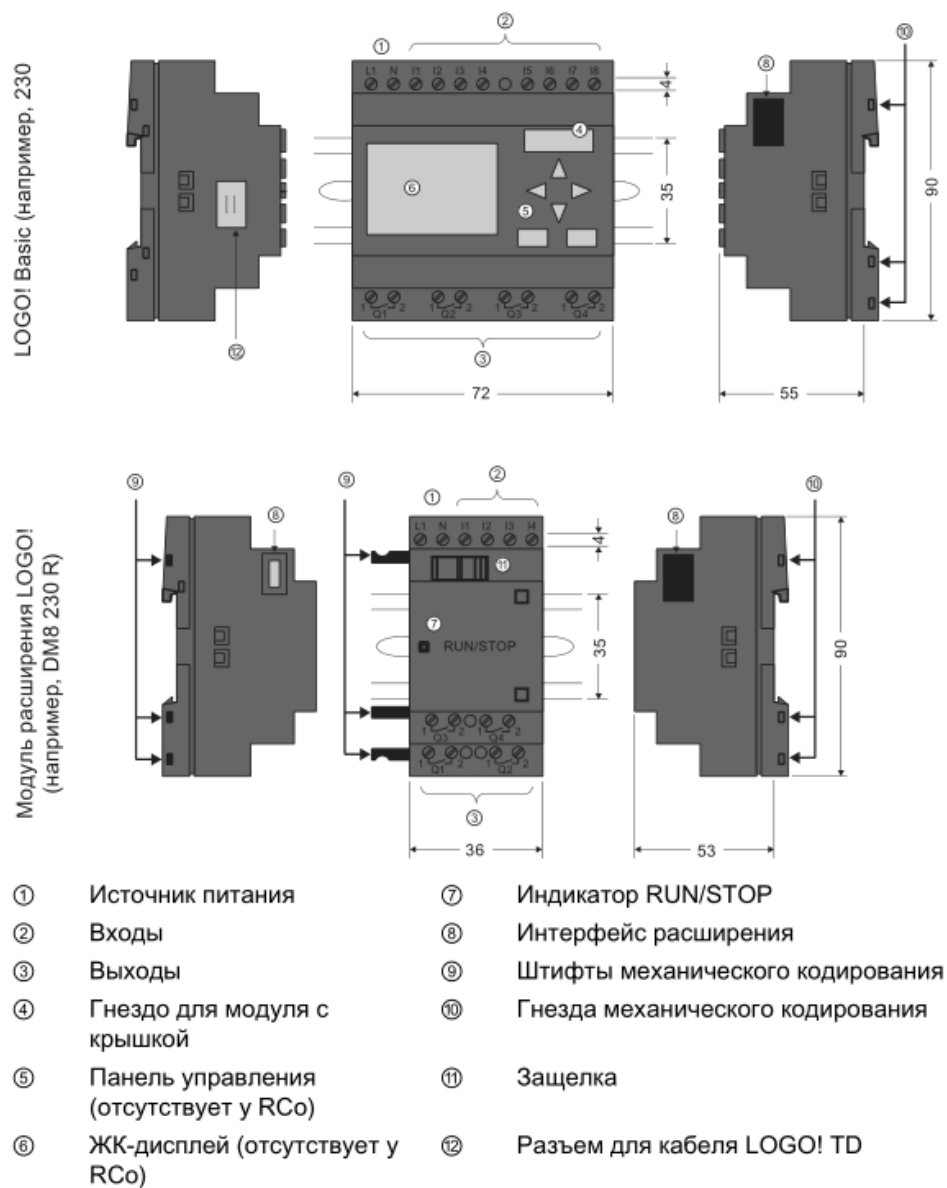


Рисунок 6 – Внешний вид программируемого реле *Siemens LOGO*

Принцип работы ПР показан на рисунке 7.

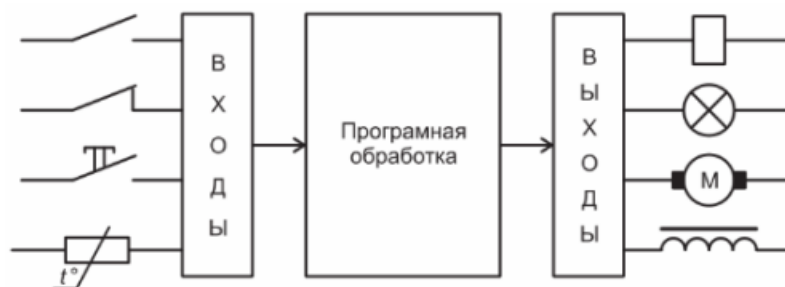


Рисунок 7 – Принцип работы программируемого реле

Проанализируем вероятность использования ПР (рисунок 8) с целью автоматизации систем управления, а также увеличения энергоэффективности разных энергоприемников (присоединение освещения с ПР *Siemens LOGO*).

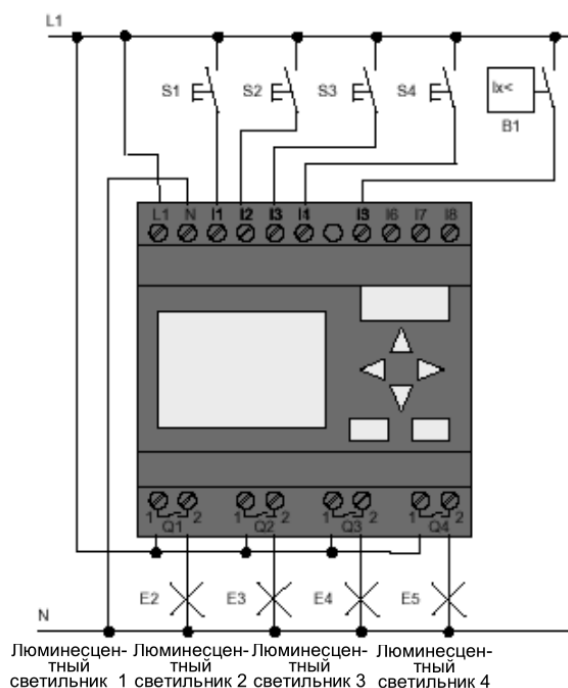


Рисунок 8 – Подключение системы освещения с ПР *Siemens LOGO*

Достоинствами применения ПР *Siemens LOGO* с целью управления освещением являются следующие пункты:

- нет необходимости в часовом выключателе (данная функция уже встроена в ПР);
- потребуется меньше оборудования;
- допустимо без труда перенастроить систему освещения;
- вероятность установки дополнительных временных настроек переключения (постепенное выключение в конце дня и другие функции);
- предельное удобство, а также энергоэффективность применения освещения, дополнительные функции (мигание перед автоотключением, централизованное выключение и включение, управление сумеречным, часовым выключателями и многое другое).

Внешняя проводка систем освещения с помощью ПР *Siemens LOGO* ничем не выделяется в сравнении с типичной проводкой систем освещения. Вспомогательные функции встраиваются напрямую в ПР. Рисунок 9 демонстрирует систему автоматического управления дверями с ПР *Siemens LOGO*.

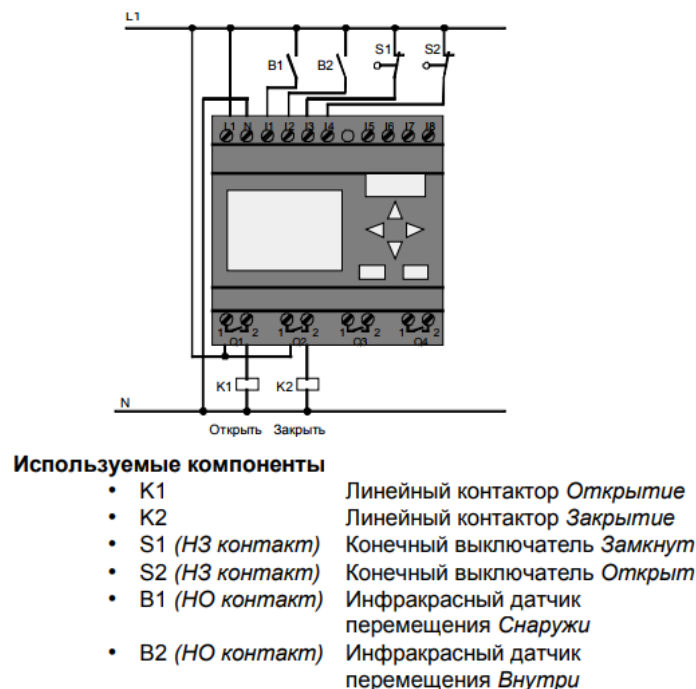
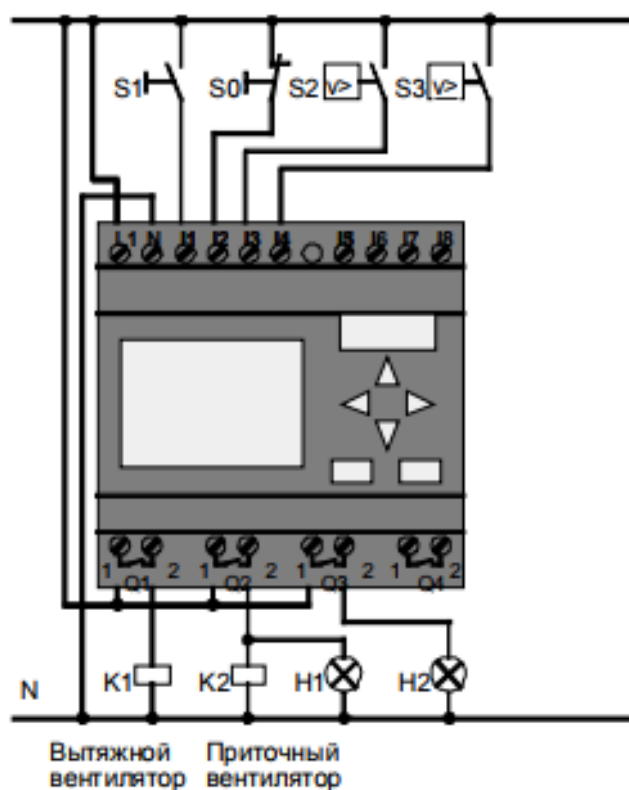


Рисунок 9 – Управление автоматическими дверями с ПР *Siemens LOGO*

Использование ПР *Siemens LOGO* дает возможность значительно облегчить схему автоматического управления воротами, необходимо только лишь подсоединить к ПР датчики перемещения, конечные выключатели, а также главные контакторы.

Рисунок 10 демонстрирует систему управления вентиляцией с ПР *Siemens LOGO*.



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 ПР *Siemens LOGO*

Эксплуатация ПР *Siemens LOGO* дает возможность осуществить соответствующие условия к системе вентиляции здания:

- наличие приточно-вытяжной вентиляции (2 вентилятора);
- данные вентиляторы контролируются датчиком потока;
- давление в здании следует поддерживать на указанных границах;
- приточный вентилятор приводится в действие лишь в случае, когда датчик потока сообщает о верной работе вытяжного вентилятора;
- регулировать стандартную деятельность электроприводов вентиляции.

Использование ПР *Siemens LOGO* с целью автоматизации систем управления, а также увеличения энергоэффективности деятельности иного электрического оборудования осуществляется подобным образом.

Прочие аналогичные ПР всевозможных производителей подсоединяются, программируются, а также действуют согласно подобным образом. Единое использование ПР может значительно увеличить общую энергоэффективность СЭС с минимальными важными инвестициями и эксплуатационными расходами. Можно сделать вывод о том, что ПР считается результативным прогрессивным инструментом увеличения энергоэффективности системы электроснабжения и автоматизации системы управления, а также может быть рекомендован для использования всевозможными объектами [13].

1.6 Повышение энергоэффективности с помощью АСТУЭ

Внутренние потребности компаний, а также иных учреждений закрываются техническим учетом электроэнергии для упрощения режимов потребления электричества на производствах с целью получения предельной энергоэффективности на протяжении всего основного производственного процесса. На сегодняшний день для данной цели успешно применяются автоматизированные системы технического учета электроэнергии (АСТУЭ). Использование сегодняшней АСТУЭ кроме того дает возможность

результативно координировать единый процесс электропотребления компании с процессом работы системы электроснабжения, разрешая применять более выгодные цены на электрическую энергию. Кроме того, в положенный срок обнаружить ненормативные режимы работы производственного, а также оборудования системы электроснабжения (СЭС) на предприятии дает возможность непрерывное наблюдение за потреблением энергии на производственных участках, отдельных технологических линиях и электрическом оборудовании (ЭО). Таким образом, высока вероятность того, что будут вовремя предупреждены аварийные ситуации, поломки оборудования, а также отрицательные результаты вследствие прекращения технологического производственного процесса. Кроме того в программном обеспечении (ПО) АСТУЭ сведения по учету электроэнергии, а также режиму деятельности оснащения непрерывно архивируются и подаются в единую цифровую сеть компании. По этой причине на передовых предприятиях проблема внедрения АСТУЭ считается значимой и крайне важной.

Следует отличать АСТУЭ от «автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ). На таблице 1 нами были отмечены показатели АСТУЭ и АСКУЭ.

Таблица 1 – 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

Указанные выше отличия АСТУЭ и АСКУЭ следует принимать во внимание при конструировании данных систем» [12]. С целью наибольшей производительности деятельности АСТУЭ разрабатываются персонально для определенного предприятия.

Аккумуляирование статистических сведений потребления электричества АСТУЭ дает возможность компаниям осуществлять мероприятия по оптимизации режима деятельности производства электрического оборудования, при согласовании с графиком питающей энергосистемы.

На сегодняшний день оборудование, а также программное обеспечение АСТУЭ издается многочисленными российскими и иностранными производителями. К примеру, проанализируем «АСТУЭ от АО «Концерн Энергомера» с передачей данных по каналу *PLC* (по силовым линиям электроснабжения)» [12]. Этот приём передачи сведений считается наилучшим выбором для промышленных компаний в связи с его разветвленной сетью электроснабжения, а также незначительным расстоянием от точки учета потребления электроэнергии. АСТУЭ осуществляет свою деятельность на особом ПО *cEnergo 4.7*.

Отличительные черты представленной АСТУЭ:

- производители, а также поставщики комплектующих из России;
- российские разработчики программного обеспечения;
- усовершенствованная устойчивость программного обеспечения к отказу;
- дополнительные возможности программного управления устройствами учета [12].

«В качестве точек учета электроэнергии на производственных участках и отдельных мощных и ответственных технологических линиях и электроприемниках используются электронные «интеллектуальные» счетчики. Устройства сбора и передачи данных (УСПД) обеспечивает соответствующие функции, передавая итоговые данные в цифровом формате

в центр обработки данных (ЦОИ), который может быть реализован на центральном сервере предприятия или на отдельном сервере.

Программные средства ЦОИ АСТУЭ содержат:

- системное ПО с базовым набором программ и драйверов;
- специализированное ПО *cEnergO* 4.7, которое обеспечивает создание, настройку и администрирование всех необходимых для эффективной работы АСТУЭ баз данных и файлов. Для обеспечения технологического процесса контроля и учета электропотребления также обеспечивается эффективная обработка информации, контроль и защиты целостности данных. Поддерживается передача информации оператору по запросу, а также поддержка распечатки на принтере и других печатающих устройствах» [12].

«ПО управления и обслуживания базы данных:

- согласует прием и обработку данных по электропотреблению от счетчиков электроэнергии;
- обеспечивает выдачу информации с помощью отчетов согласно установленной оператором форме.

По каждому факту небаланса отдачи электроэнергии и электропотребления отправляется сигнал с уведомлением диспетчеру, что также позволяет предупреждать аварийные ситуации и их негативные последствия и повышает общую надежность систем электроснабжения предприятий.

Очевидно, что применение АСТУЭ для повышения энергоэффективности и надежности систем электроснабжения предприятий и организаций имеет высокую эффективность, необходимость реализации АСТУЭ требуется учитывать при проектировании СЭС новых предприятий, реконструкции и модернизации действующих СЭС предприятий и организаций.

Анализ баланса отдачи электроэнергии и электропотребления позволяет эффективно выявлять ненормативные режимы работы ЭО. На рисунке 11

показано окно анализа баланса отдачи электроэнергии и электропотребления с выявлением явного небаланса (вероятного факта неисправности или ненадлежащего технического состояния производственного электрооборудования).

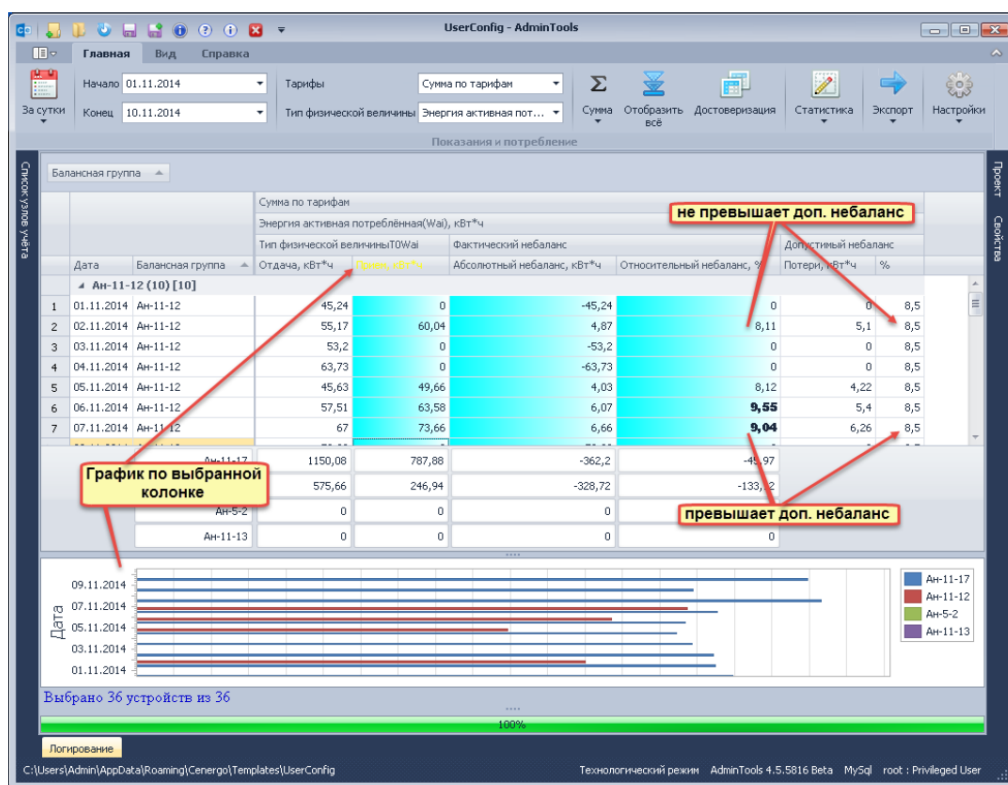


Рисунок 11 – Окно анализа баланса электроэнергии

Функции АСТУЭ может выполнять и АИИСКУЭ, предоставляющая также автоматизацию расчетов за электроэнергию, что является важным и необходимым для коммерческих и иных объектов (например, бизнес-центров)» [12].

Выводы.

Рассмотрены основные методы повышения энергоэффективности систем электроснабжения с учетом передовых технических решений и современного энергосберегающего оборудования. Это далее будет учтено и использовано при разработке энергоэффективной СЭС бизнес-центра.

2 Разработка энергоэффективного электроснабжения бизнес-центра

2.1 Исходные данные

Исходные данные для разработки энергоэффективного электроснабжения бизнес-центра (БЦ): план помещений, характеристики нагрузок помещений. План БЦ приведен на рисунке 12.

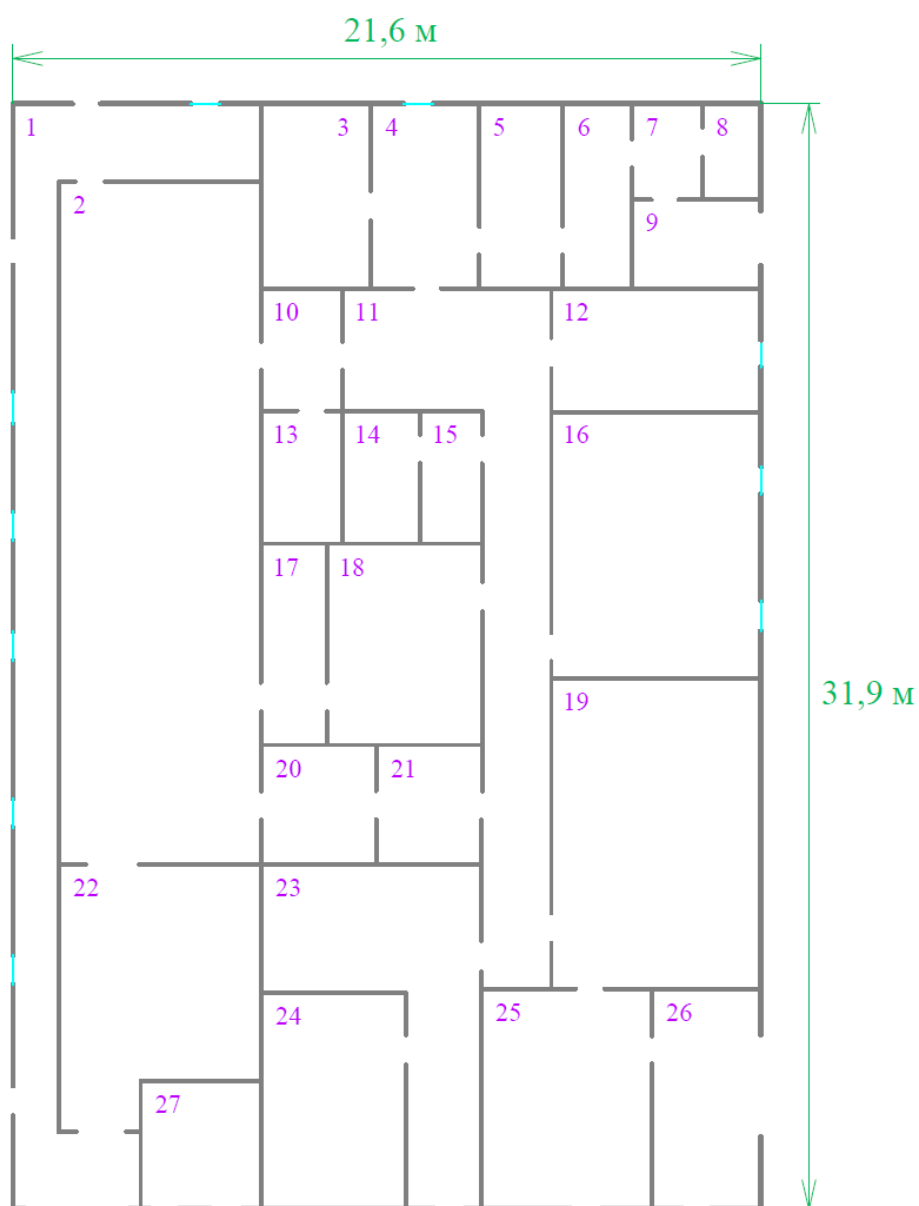


Рисунок 12 – План бизнес-центра

Характеристики нагрузок БЦ – в таблице 2 [23].

Таблица 2 – Характеристики нагрузок БЦ

№	Помещения	$P_{\text{ном, кВт}}$	Категор. надежн.	K_c	$\cos\varphi$
1	Коридор	17,9	3	0,3	0,94
2	Блок офисов открытого типа	39,7	2	0,7	0,87
3	Складское помещение	3,9	3	0,2	0,96
4	Санузел	9,1	2	0,42	0,82
5	Помещение ИБП	53,2	1	0,3	0,84
6	Тамбур	5,1	3	0,5	0,89
7	Мастерская	9,2	2	0,7	0,85
8	Складское помещение	4,9	3	0,4	0,96
9	Щитовая	13,1	1	0,89	0,89
10	Офис	5,3	2	0,6	0,89
11	Проходная	6,2	3	0,35	0,85
12	Конференц-зал	9,7	2	0,4	0,82
13	Венткамера	11	1	0,7	0,83
14	Офис	9,1	2	0,6	0,89
15	Офис	5,1	2	0,6	0,89
16	Офис	19,2	2	0,6	0,89
17	Щитовая	15,1	1	0,9	0,89
18	Офис	14,9	2	0,5	0,89
19	Офис	19,1	2	0,5	0,89
20	Туалеты	4,9	2	0,3	0,92
21	Туалеты	4,9	2	0,3	0,92
22	Офис	14,8	2	0,6	0,89

Продолжение таблицы 2

№	Помещения	$P_{ном},$ кВт	Категор. надежн.	K_c	$\cos\varphi$
23	Офис	19,1	2	0,6	0,89
24	Складское помещение	3,9	3	0,2	0,96
25	Вентиляционная	22	1	0,6	0,83
26	Насосная	44	1	0,7	0,85
27	Офис	7,1	2	0,6	0,89

«В помещении №9 расположена щитовая №1, в которой должен быть установлен главный распределительный щит (ГРЩ). Электроснабжение ГРЩ требуется выполнить по двум взаиморезервируемым вводам КЛ 0,4 кВ от подстанции энергосистемы, расположенной на расстоянии 102 м. В подстанции энергосистемы расположены два трансформатора ТМГ-6300-10/0,4 кВ» [23].

2.2 Определение электрических нагрузок

«Для расчета актуальных электрических нагрузок помещений используется метод коэффициента спроса активной мощности нагрузок.

Формула для расчета среднесменных активных мощностей по помещениям:

$$P_c = K_c \cdot P_{ном}, \quad (1)$$

где K_c – коэффициент спроса активной мощности для данного конкретного помещения;

$P_{ном}$ – номинальная активная мощность электроприемников данного помещения, кВт.

Среднесменные реактивные и полные мощности» [7]:

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}, \quad (3)$$

Пример расчета нагрузок (помещение №1), по формулам (1,2,3):

$$P_c = 0,3 \cdot 17,9 = 5,37 \text{ кВт}$$

$$Q_c = 5,37 \cdot 0,363 = 1,949 \text{ квар}$$

$$S_c = \sqrt{5,37^2 + 1,949^2} = 5,713 \text{ кВА}$$

«Производится группировка электроснабжения помещений по двум распределительным пунктам (РП) согласно требованиям выполнения системы электроснабжения (СЭС) БЦ. РП-1 располагается в помещении №9 (щитовая №1), РП-2 располагается в помещении №17 (щитовая №2)» [23].

Расчет нагрузок помещений сведен в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет нагрузок помещений

№ помещения	Наименование	$P_{\text{ном}},$ кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Средняя нагрузка		
					$P_{\text{с}},$ кВт	$Q_{\text{с}},$ квар	$S_{\text{с}},$ кВА
РП-1							
1	Коридор	17,9	0,94	0,363	5,370	1,949	5,713
2	Блок офисов открытого типа	39,7	0,87	0,567	27,790	15,749	31,943
3	Складское помещение	3,9	0,96	0,292	0,780	0,228	0,813
4	Санузел	9,1	0,82	0,698	3,822	2,668	4,661
5	Помещение ИБП	53,2	0,84	0,646	15,96	10,31	19,00

Продолжение таблицы 3

№ помещения	Наименование	$P_{ном},$ кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка		
					P_c , кВт	Q_c , квар	S_c , кВА
6	Тамбур	5,1	0,89	0,512	2,55	1,31	2,87
7	Мастерская	9,2	0,85	0,620	6,44	3,99	7,58
8	Складское помещение	4,9	0,96	0,292	1,96	0,57	2,04
9	Щитовая	13,1	0,89	0,512	11,659	5,97	13,10
10	Офис	5,3	0,89	0,512	3,18	1,63	3,57
11	Проходная	6,2	0,85	0,620	2,17	1,34	2,55
12	Конференц-зал	9,7	0,82	0,698	3,88	2,71	4,73
13	Венткамера	11	0,83	0,672	7,7	5,17	9,28
14	Офис	9,1	0,89	0,512	5,46	2,80	6,13
15	Офис	5,1	0,89	0,512	3,060	1,568	3,438
16	Офис	19,2	0,89	0,67	30,060	19,815	36,178
Σ РП-1	Итого по РП1	221,7	0,88	0,540	131,841	77,782	153,598
РП-2							
17	Щитовая	15,1	0,89	0,512	13,590	6,962	15,270
18	Офис	14,9	0,89	0,512	7,45	3,82	8,37
19	Офис	19,1	0,89	0,512	9,55	4,89	10,73
20	Туалеты	4,9	0,92	0,426	1,47	0,63	1,60
21	Туалеты	4,9	0,92	0,426	1,47	0,63	1,60
22	Офис	14,8	0,89	0,512	8,880	4,549	9,978
23	Офис	19,1	0,89	0,512	11,46	5,87	12,88
24	Складское помещение	3,9	0,96	0,292	0,780	0,228	0,813
25	Вентиляционная	22	0,83	0,672	13,2	8,87	15,90
26	Насосная	44	0,85	0,620	30,8	19,09	36,24
27	Офис	7,1	0,89	0,512	4,260	2,182	4,787

Продолжение таблицы 3

№ помещения	Наименование	$P_{\text{ном}}$, кВт	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	Средняя нагрузка		
					P_c , кВт	Q_c , квар	S_c , кВА
Σ РП-2	Итого по РП2	169,8	0,89	0,505	102,910	57,713	118,158
Σ	Итого	391,5	0,91	0,457	234,751	135,495	271,048

2.3 Проектирование энергоэффективной системы освещения

Энергоэффективная система освещения выполняется на основе современных светодиодных светильников и программируемых реле *Siemens LOGO*, обеспечивающих интеллектуальное управление освещением помещений (а также наружным освещением), параметры управления освещением настраиваются индивидуально по освещаемым участкам.

Нормы освещенности принимаются согласно эксплуатационно-технической документации БЦ [23]. Нормативные освещенности помещений показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Нормативные освещенности помещений

№ помещения	Наименование	$E_{\text{нор}}$, лк
1	Коридор	100
2	Блок офисов открытого типа	400
3	Складское помещение	50
4	Санузел	300
5	Помещение ИБП	300
6	Тамбур	100
7	Мастерская	300

Продолжение таблицы 4

№ помещения	Наименование	Е _{нор} , лк
8	Складское помещение	75
9	Щитовая	300
10	Офис	400
11	Проходная	100
12	Конференц-зал	300
13	Венткамера	75
14	Офис	400
15	Офис	400
16	Офис	400
17	Щитовая	300
18	Офис	400
19	Офис	400
20	Туалеты	150
21	Туалеты	150
22	Офис	400
23	Офис	400
24	Складское помещение	50
25	Вентиляционная	75
26	Насосная	75
27	Офис	400
Наружное освещение		30

«Система освещения рассчитывается методом коэффициента использования светового потока.

Индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (4)$$

где A – длина, м;

B – ширина, м;

h – высота, м.

Требуемый световой поток от светильников:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{K_u}, \quad (5)$$

где E – нормируемая освещенность, лк;

S – площадь помещения, м²;

K_z – коэффициент запаса;

Z – коэффициент минимальной освещенности;

K_u – коэффициент использования светового потока.

Необходимое число светильников:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_c}, \quad (6)$$

где Φ_c – световой поток одного светильника, лм» [2].

Пример расчета и выбора светильников для помещения №1.

Принимаются к установке светильники СВО ЛП02, 20 Вт, световой поток 1700 лм [2].

Проводим расчеты по формулам (4, 5, 6):

$$i = \frac{30,9 \cdot 1,5}{3,2 \cdot (30,9 + 1,5)} = 0,45.$$

$$\Phi = \frac{100 \cdot 47,46 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,71} = 11029,4 \text{ лм.}$$

$$N = \frac{11029,4}{1700} \approx 7 \text{ шт.}$$

Устанавливается 7 светильников. Расчет освещения показан в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет освещения помещений

№ помещения	Наименование	$E_{нор}$, лк	F , м ²	Φ , лм	N , шт	$\Phi_{с}$, лм	Светильники
1	Коридор	100	47,46	11029,4	7	1700	СВО ЛПО2, 20 Вт
2	Блок офисов открытого типа	400	120,54	126149,6	20	6150	СВО ЛПО2, 80 Вт
3	Складское помещение	50	17,745	2055,8	5	490	Вартон 6Вт
4	Санузел	300	18,27	14211,5	5	3200	СВО ЛПО2, 40 Вт
5	Помещение ИБП	300	25,8	14030,1	5	3200	СВО ЛПО2, 40 Вт
6	Тамбур	100	10,29	1818,7	2	1700	СВО ЛПО2, 20 Вт
7	Мастерская	300	6,825	3824,1	2	3200	СВО ЛПО2, 40 Вт
8	Складское помещение	75	5,145	852,2	2	490	Вартон 6Вт
9	Щитовая	300	14,07	9909,9	4	2900	LLT ССП-458, 36 Вт
10	Офис	400	9,24	7605,3	5	1700	СВО ЛПО2, 20 Вт
11	Проходная	100	40,425	8129,2	5	1700	СВО ЛПО2, 20 Вт
12	Конференц-зал	300	23,73	12504,2	8	1700	СВО ЛПО2, 20 Вт
13	Венткамера	75	9,345	1192,6	3	490	Вартон 6Вт
14	Офис	400	8,505	8534,9	3	2900	LLT ССП-458, 36 Вт

Продолжение таблицы 5

№ помещения	Наименование	$E_{\text{нор, лк}}$	$F, \text{ м}^2$	$\Phi, \text{ лм}$	$N, \text{ шт}$	$\Phi_{\text{с, лм}}$	Марка светильника
15	Офис	400	6,825	5820,6	2	2900	LLT ССП-458, 36 Вт
16	Офис	400	49,35	54014,5	9	6150	СВО ЛП02, 80 Вт
17	Щитовая	300	13,335	8243,8	3	3200	СВО ЛП02, 40 Вт
18	Офис	400	28,98	21621,6	7	3200	СВО ЛП02, 40 Вт
19	Офис	400	59,64	42696,6	7	6150	СВО ЛП02, 80 Вт
20	Туалеты	150	10,71	3154,4	2	1700	СВО ЛП02, 20 Вт
21	Туалеты	150	10,08	2695,9	2	1700	СВО ЛП02, 20 Вт
22	Офис	400	43,26	36727,6	6	6150	СВО ЛП02, 80 Вт
23	Офис	400	41,58	27997,6	9	3200	СВО ЛП02, 40 Вт
24	Складское помещение	50	26,67	2333,5	5	490	Вартон 6Вт
25	Вентиляционная	75	36,33	4932,8	10	490	Вартон 6Вт
26	Насосная	75	14,385	1940,7	4	490	Вартон 6Вт
27	Офис	400	12,39	11562,8	4	3200	СВО ЛП02, 40 Вт
Наружное освещение		30	1089,4	66265,2	12	5350	NT-PROM 48 Ex

«Линии освещения запитаны от ближайших РП и распределительных коробок. Расположение РП и распределительных коробок обусловлено схемой силовой сети электроснабжения» [23].

Управление освещением будет автоматизировано с помощью программируемых реле.

План системы освещения показан на рисунке 13.

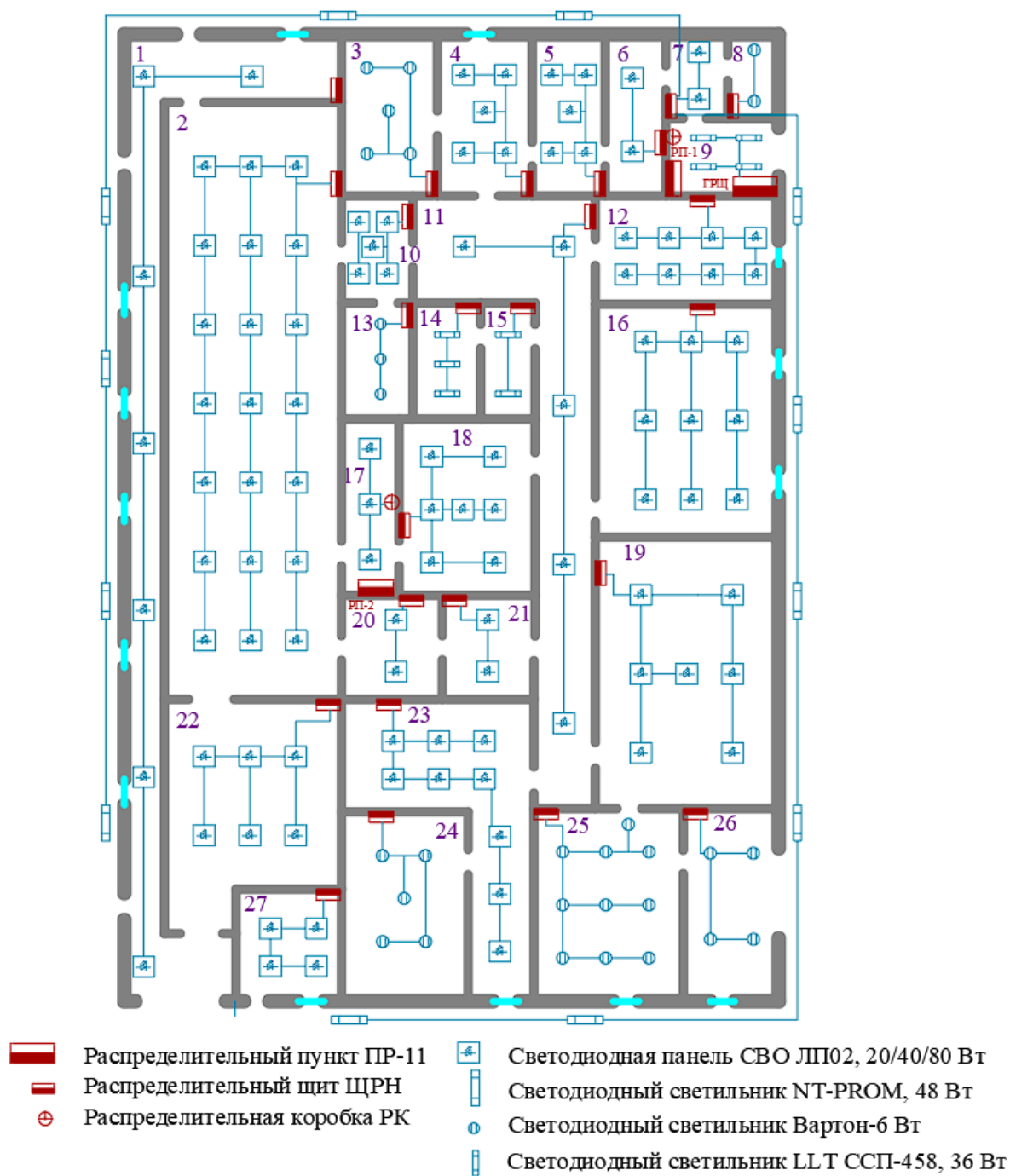


Рисунок 13 – План системы освещения

Нагрузка освещения учитывается в общей нагрузке. Пример расчета для помещения №1.

Осветительная нагрузка, с учетом числа и мощности светильников:

$$P_o = 7 \cdot 0,02 = 0,14 \text{ кВт};$$

$$Q_o = 0,14 \cdot 0,88 = 0,123 \text{ квар};$$

Нагрузки помещения с освещением:

$$P_p = 5,37 + 0,14 = 5,51 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 1,949 + 0,123 = 2,072 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{5,51^2 + 2,072^2} = 5,887 \text{ кВА}$$

Расчет нагрузок помещений (с учетом освещения) сведен в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет нагрузок помещений (с учетом освещения)

Участок	S, м ²	P _о , кВт	Q _о , квар	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Коридор	47,46	0,140	0,123	5,510	2,072	5,887
Блок офисов открытого типа	120,54	1,600	1,408	29,390	17,157	34,032
Складское помещение	17,75	0,030	0,026	0,810	0,254	0,849
Санузел	18,27	0,200	0,176	4,022	2,844	4,926
Помещение ИБП	12,81	0,200	0,176	16,160	10,485	19,264
Тамбур	10,29	0,040	0,035	2,590	1,342	2,917
Мастерская	6,83	0,080	0,070	6,520	4,062	7,682
Складское помещение	5,15	0,012	0,011	1,972	0,582	2,056
Щитовая	14,07	0,080	0,070	11,739	6,043	13,203
Офис	9,24	0,100	0,088	3,280	1,717	3,702
Проходная	40,43	0,100	0,088	2,270	1,433	2,684
Конференц-зал	23,73	0,160	0,141	4,040	2,849	4,944
Венткамера	9,35	0,018	0,016	7,718	5,190	9,301
Офис	8,51	0,060	0,053	5,520	2,850	6,212
Офис	6,83	0,040	0,035	3,100	1,603	3,490

Продолжение таблицы 6

Участок	S, м ²	P _о , кВт	Q _о , квар	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Офис	49,35	0,720	0,634	30,780	20,449	36,953
Наружное освещение	1089,4	0,576	0,507	0,576	0,507	0,767
Итого по РП1				135,997	81,439	158,869
Щитовая	13,34	0,120	0,106	13,710	7,068	15,425
Офис	28,98	0,280	0,246	7,730	4,063	8,733
Офис	59,64	0,560	0,493	10,110	5,385	11,455
Туалеты	10,71	0,040	0,035	1,510	0,661	1,649
Туалеты	10,08	0,040	0,035	1,510	0,661	1,649
Офис	43,26	0,480	0,422	9,360	4,972	10,598
Офис	41,58	0,360	0,317	11,820	6,188	13,342
Складское помещение	26,67	0,030	0,026	0,810	0,254	0,849
Вентиляционная	36,33	0,060	0,053	13,260	8,923	15,983
Насосная	14,39	0,024	0,021	30,824	19,109	36,267
Офис	12,39	0,160	0,141	4,420	2,323	4,993
Итого по РП-2				105,064	59,609	120,942
Итого всего	1787,335	6,310	5,553	241,061	141,048	279,294

2.4 Компенсация реактивной мощности

Компенсирующие устройства (КУ) устанавливаются в ГРЩ здания, обеспечивая компенсацию избыточной реактивной мощности, снижение рабочих токов аппаратов и токоведущих частей на вводе ГРЩ, снижение потерь электроэнергии в питающей КЛ от ТП 10/0,4 кВ до ГРЩ и силовых трансформаторах ТП.

«Компенсация реактивной мощности (КРМ) производится до нормативного значения коэффициента мощности $\cos \varphi = 0,95$. Требуемая

мощность компенсирующих устройств (КУ) определяется по формуле:

$$Q_{к.у.} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (7)$$

где α – коэффициент учитывающий повышение $\cos \varphi$ естественным способом, принимается $\alpha = 0,9$;

P_p – активная расчетная мощность нагрузки, кВт;

$tg\varphi$ – тангенс угла φ до компенсации;

$tg\varphi_k$ – нормативный тангенс угла φ после компенсации

(соответствует нормативному значению $\cos \varphi = 0,95$)» [8], [16].

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 241,061 \cdot (0,585 - 0,33) = 55,35 \text{ квар.}$$

Для КРМ принимается две установки АУКРМ-0,4-30 по 30 квар.

Расчет КРМ показан в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет КРМ

Показатели	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Всего на НН	0,863	0,585	241,061	141,048	279,294
КУ, квар	-	-	-	60	-
Всего на НН с КРМ	0,948	0,336	241,061	81,048	254,321

Итого полная нагрузка на вводе ГРЩ мощность с учетом КРМ:

$$S_p = \sqrt{241,061^2 + (141,048 - 2 \cdot 30)^2} = 254,321 \text{ кВА.}$$

2.5 Расчет питающей линии 0,4 кВ

Исходя из полученной расчетной нагрузки на вводе ГРЩ, проведем расчет питающей кабельной линии 0,4 кВ.

«Максимальный рабочий ток линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n}, \quad (8)$$

где $S_{p.mn}$ – итоговая расчетная мощность ТП, кВА;

U_n – номинальное напряжение линии, кВ;

n – число цепей, шт» [17].

$$I_p = \frac{254,321}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 367,081 \text{ A.}$$

Выбираем кабель АВБШв-4х185+1х95, длительно допустимый ток 385 А [21]. Сечение проходит по току.

«Проверяем выбранное сечение по потере напряжения по формуле:

$$\Delta U_l = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot L \cdot 100}{U_n} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (9)$$

где $I_{\max}$ – максимальный расчетный ток линии, А;

L – длина линии, км;

r_0 – удельное активное сопротивление кабеля, Ом/км;

x_0 – удельное индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км» [18].

$$\Delta U_l = \frac{\sqrt{3} \cdot 367,081 \cdot 0,102 \cdot 100}{0,4} (0,169 \cdot 0,948 + 0,078 \cdot 0,319) = 0,75 \% \leq 5 \%.$$

2.6 Расчет распределительной сети

«Электроснабжение помещений необходимо выполнить на основании ТЗ на проектирование. Необходимо обеспечить индивидуальное электроснабжение участков (радиальная схема). Для ответственных потребителей здания обеспечивается I категория электроснабжения посредством установки устройств АВР либо питания данных потребителей через источники бесперебойного питания двойного преобразования (тип – online). Для распределительной сети должна быть применена система нейтрали TN-C-S. В помещении №9 расположена щитовая №1, в которой должен быть установлен главный распределительный щит (ГРЩ). Электроснабжение ГРЩ требуется выполнить по двум взаиморезервируемым вводам КЛ 0,4 кВ от подстанции энергосистемы, расположенной на расстоянии 102 м. В подстанции энергосистемы расположены два трансформатора ТМГ-6300-10/0,4 кВ. На базе автоматических выключателей и терминала «Сириус-АВР» организованы функции автоматического включения резерва (АВР). От ГРЩ отходят питающие кабели к распределительным пунктам РП-1 и РП-2. Защита силовых кабелей должна осуществляться посредством установки в ГРЩ автоматических выключателей. Используется групповая прокладка кабелей в металлических коробах. От ГРЩ будут запитаны РП-1, который находится в щитовой №1 (помещение №9) и РП-2, который находится в щитовой №2 (помещение №17). От РП-1 и РП-2 будут также запитаны распределительные щитки марки ЩРН и распределительные коробки марки РК, от которых питаются все потребители и освещение помещений. Электроснабжение участков первой и второй категории надежности обеспечивается по двухцепным кабельным линиям; третьей категории – по одноцепным» [23].

Согласно данным требованиям, составляется схема электроснабжения помещений (рисунок 14).

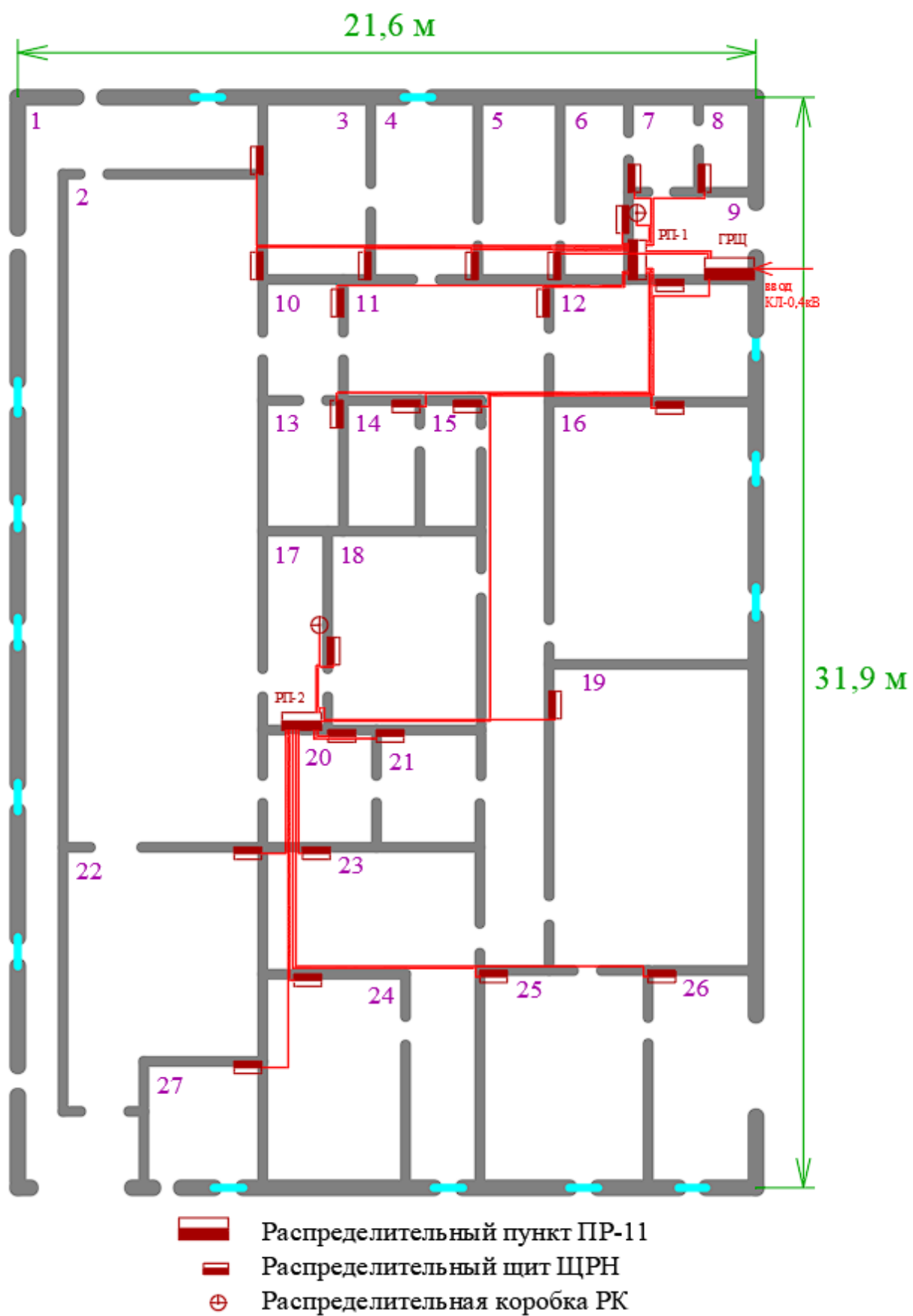


Рисунок 14 – Схема электроснабжения помещений

«Расчётные токи КЛ (3 фазы) определяются по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (10)$$

где S_p – полная мощность нагрузки, кВт;

U_n – напряжение КЛ, кВ.

Расчётные токи КЛ (1 фаза) определяются по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{U_n}, \quad (11)$$

где S_p – полная мощность нагрузки, кВт;

U_n – напряжение КЛ, кВ» [15].

Для помещения №1:

$$I_p = \frac{5,89}{0,22} = 26,76 \text{ А.}$$

Принимается кабель *НУМ-3·2,5* с допустимым током 30 А.

«Индуктивным сопротивлением проводов в сети до 1 кВ можно пренебречь» [2]. Потери напряжения в КЛ, по формуле (9):

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{26,76 \cdot 15,57 \cdot 100}{0,22} (7,36 \cdot 0,94 + 0 \cdot 0,341) = 1,394 \% \leq 5 \%.$$

Выбор кабелей для электроснабжения помещений сведен в таблицу 8.

Таблица 8 – Выбор кабелей для электроснабжения помещений

Участок	S_p , кВА	I_p , А	Кабель	$I_{доп}$, А	r_0 , Ом/м	L , м	ΔU , %
РП-1							
1	5,89	26,76	NYM-3·2,5	30	0,00736	15,57	1,394
2	34,03	51,71	NYM-5·6	52	0,00307	13,24	0,958
3	0,85	3,86	NYM-3·2,5	30	0,00736	9,39	0,121
4	4,93	22,39	NYM-3·2,5	30	0,00736	5,60	0,420
5	19,26	87,56	NYM-3·16	95	0,00115	2,69	0,123
6	2,92	13,26	NYM-3·2,5	30	0,00736	0,80	0,036
7	7,68	11,67	NYM-5·2,5	28	0,00736	2,55	0,100
8	2,06	3,12	NYM-5·2,5	28	0,00736	3,93	0,041
9	4,50	6,84	NYM-5·2,5	28	0,00736	1,24	0,028
10	3,70	16,83	NYM-3·2,5	30	0,00736	10,84	0,610
11	2,68	12,20	NYM-3·2,5	30	0,00736	3,57	0,146
12	4,94	22,47	NYM-3·2,5	30	0,00736	0,95	0,071
13	9,30	14,13	NYM-5·2,5	28	0,00736	15,50	0,735
14	6,21	28,24	NYM-3·2,5	30	0,00736	12,95	1,224
15	3,49	15,86	NYM-3·2,5	30	0,00736	10,92	0,579
16	36,95	56,15	NYM-5·10	76	0,00184	5,24	0,247
РП1-нар. осв.1	0,384	1,74	NYM-3·1,5	23	0,01230	6,19	0,060
РП1-нар. осв.2	0,384	1,74	NYM-3·1,5	23	0,01230	7,06	0,069
Σ РП-1	158,87	241,38	NYM-4·70+1·35	270	0,00026	2,55	0,073
РП-2							
17	4,50	20,45	NYM-3·2,5	30	0,00736	2,84	0,194
18	8,73	13,27	NYM-5·2,5	28	0,00736	2,26	0,100

Продолжение таблицы 8

Участок	Sp, кВА	Ip, А	Кабель	Iдоп, А	r ₀ , Ом/м	L, м	ΔU, %
19	11,45	17,40	NYM-5·2,5	28	0,00736	8,88	0,518
20	1,65	7,49	NYM-3·2,5	30	0,00736	0,73	0,018
21	1,65	7,49	NYM-3·2,5	30	0,00736	2,55	0,064
22	10,60	16,10	NYM-3·2,5	30	0,00736	5,20	0,281
23	13,34	20,27	NYM-5·2,5	28	0,00736	4,51	0,307
24	0,85	3,86	NYM-3·2,5	30	0,00736	8,95	0,116
25	15,98	24,28	NYM-3·2,5	30	0,00736	15,28	1,245
26	36,27	55,10	NYM-5·10	76	0,00184	21,03	0,972
27	4,99	22,70	NYM-3·2,5	30	0,00736	12,81	0,973
ΣРП-2	120,942	183,76	NYM-4·50+1·25	385	0,00037	29,12	0,903

Кабели системы освещения выбираются аналогично, результаты сведены в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор кабелей системы освещения

№ участка	Участок	Ip, А	Кабель	Iдоп, А
1	Коридор	0,81	NYM-3·1,5	21
2	Блок офисов открытого типа	9,28	NYM-3·1,5	21
3	Складское помещение	0,17	NYM-3·1,5	21
4	Санузел	1,16	NYM-3·1,5	21
5	Помещение ИБП	1,16	NYM-3·1,5	21
6	Тамбур	0,23	NYM-3·1,5	21
7	Мастерская	0,46	NYM-3·1,5	21

Продолжение таблицы 9

№ участка	Участок	I_p , А	Кабель	$I_{доп}$, А
8	Складское помещение	0,07	NYM-3•1,5	21
9	Щитовая	0,46	NYM-3•1,5	21
10	Офис	0,58	NYM-3•1,5	21
11	Проходная	0,58	NYM-3•1,5	21
12	Конференц-зал	0,93	NYM-3•1,5	21
13	Венткамера	0,10	NYM-3•1,5	21
14	Офис	0,35	NYM-3•1,5	21
15	Офис	0,23	NYM-3•1,5	21
16	Офис	4,17	NYM-3•1,5	21
17	Щитовая	0,70	NYM-3•1,5	21
18	Офис	1,62	NYM-3•1,5	21
19	Офис	3,25	NYM-3•1,5	21
20	Туалеты	0,23	NYM-3•1,5	21
21	Туалеты	0,23	NYM-3•1,5	21
22	Офис	2,78	NYM-3•1,5	21
23	Офис	2,09	NYM-3•1,5	21
24	Складское помещение	0,17	NYM-3•1,5	21
25	Вентиляционная	0,35	NYM-3•1,5	21
26	Насосная	0,14	NYM-3•1,5	21
27	Офис	0,93	NYM-3•1,5	21
Наружное освещение		3,34	NYM-3•1,5	21

Далее проводится выбор аппаратов защиты линий.

2.7 Выбор автоматических выключателей

«Выбор автоматических выключателей (АВ) для защиты КЛ производится по условиям:

- по напряжению:

$$U_{ном} > U_c, \quad (12)$$

- по току теплового расцепителя:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot I_p, \quad (13)$$

Пример выбора АВ для защиты КЛ к помещению №1.

Ток уставки теплового расцепителя:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 26,76 = 29,43 \text{ А.}$$

Выбираем АВ серии ВА-47-29 на номинальный ток 32 А. Выбор АВ для защиты КЛ силовой сети сведен в таблицу 10.

Таблица 10 – Выбор АВ силовой сети

Участок	I_p , А	$1,1 \cdot I_p$, А	Выключатель	$I_{ном}$, А
РП-1				
1	26,76	29,43	ВА-47-29	32
2	51,71	56,88	ВА-47-29	63
3	3,86	4,24	ВА-47-29	5
4	22,39	24,63	ВА-47-29	25
5	87,56	96,32	ВА-47-100	100

Продолжение таблицы 10

Участок	I_p, A	$1,1 \cdot I_p, A$	Выключатель	$I_{ном}, A$
6	13,26	14,58	BA-47-29	16
7	11,67	12,84	BA-47-29	13
8	3,12	3,44	BA-47-29	4
9	6,84	7,52	BA-47-29	8
10	16,83	18,51	BA-47-29	20
11	12,20	13,42	BA-47-29	16
12	22,47	24,72	BA-47-29	25
13	14,13	15,54	BA-47-29	16
14	28,24	31,06	BA-47-29	32
15	15,86	17,45	BA-47-29	20
16	56,15	61,76	BA-52-39	63
РП1-нар. осв.1	1,74	1,92	BA-47-29	2
РП1-нар. осв.2	1,74	1,92	BA-47-29	2
Σ РП-1	241,38	265,52	BA-52-39	320
РП-2				
17	20,45	22,50	BA-47-29	25
18	13,27	14,60	BA-47-29	16
19	17,40	19,14	BA-47-100	20
20	7,49	8,24	BA-47-29	10
21	7,49	8,24	BA-47-29	10
22	16,10	17,71	BA-47-29	20
23	20,27	22,30	BA-47-100	25
24	3,86	4,24	BA-47-29	5
25	24,28	26,71	BA-47-29	32
26	55,10	60,61	BA-52-39	63
27	22,70	24,97	BA-47-29	25
Σ РП-2	183,76	202,13	BA-52-39	250

АВ осветительной сети выбираются аналогично, результаты сведены в таблице 11.

Таблица 11 – Выбор АВ осветительной сети

№ участка	Участок	$1,1 \cdot I_p, A$	Выключатель	$I_{ном}, A$
1	Коридор	0,89	ВА-47-29	1
2	Блок офисов открытого типа	10,20	ВА-47-29	10
3	Складское помещение	0,19	ВА-47-29	0,5
4	Санузел	1,28	ВА-47-29	1,6
5	Помещение ИБП	1,28	ВА-47-29	1,6
6	Тамбур	0,26	ВА-47-29	0,5
7	Мастерская	0,51	ВА-47-29	0,5
8	Складское помещение	0,08	ВА-47-29	0,5
9	Щитовая	0,51	ВА-47-29	0,5
10	Офис	0,64	ВА-47-29	1
11	Проходная	0,64	ВА-47-29	1
12	Конференц-зал	1,02	ВА-47-29	1
13	Венткамера	0,11	ВА-47-29	0,5
14	Офис	0,38	ВА-47-29	0,5
15	Офис	0,26	ВА-47-29	0,5
16	Офис	4,59	ВА-47-29	5
17	Щитовая	0,77	ВА-47-29	1
18	Офис	1,79	ВА-47-29	2
19	Офис	3,57	ВА-47-29	4
20	Туалеты	0,26	ВА-47-29	0,5
21	Туалеты	0,26	ВА-47-29	0,5
22	Офис	3,06	ВА-47-29	3

Продолжение таблицы 11

№ участка	Участок	$1,1 \cdot I_p, A$	Выключатель	$I_{ном}, A$
23	Офис	2,30	ВА-47-29	2,5
24	Складское помещение	0,19	ВА-47-29	0,5
25	Вентиляционная	0,38	ВА-47-29	0,5
26	Насосная	0,15	ВА-47-29	0,5
27	Офис	1,02	ВА-47-29	1

2.8 Выбор электродвигателей и частотных преобразователей для энергоэффективной работы систем вентиляции и водоснабжения

Выбор электродвигателей.

Для систем вентиляции и водоснабжения требуется выбрать АД с короткозамкнутым ротором номинальной мощностью 5,5 кВт 1000 об/мин и 7,5 кВт 1500 об/мин соответственно [23].

Выбираем АД серии 7AVER. «Электродвигатели серии 7AVER имеют следующие преимущества:

- специальная адаптация для применения в составе частотно-регулируемого привода;
- высокая энергоэффективность;
- повышенное значение сервис фактора (способность сохранять работоспособность при перегрузках);
- улучшенная эргономичность, сниженный уровень шума и вибрации» [24].

Внешний вид электродвигателя серии 7AVER показан на рисунке 15.

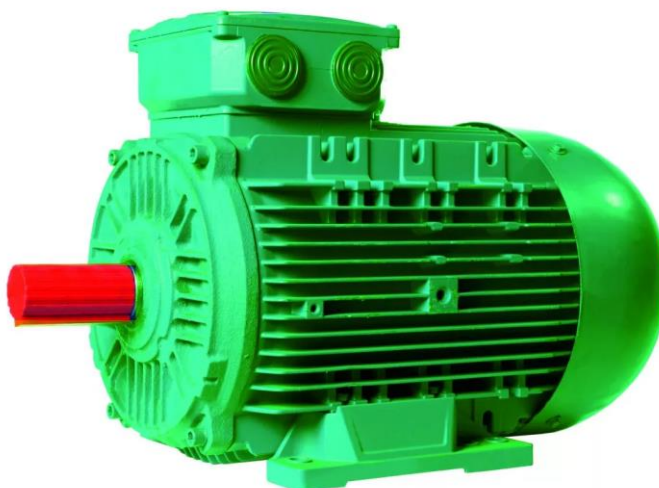


Рисунок 15 – Внешний вид электродвигателя серии 7AVER

«Расшифровка полей паспортной таблички электродвигателей серии 7AVER показана на рисунке 16.

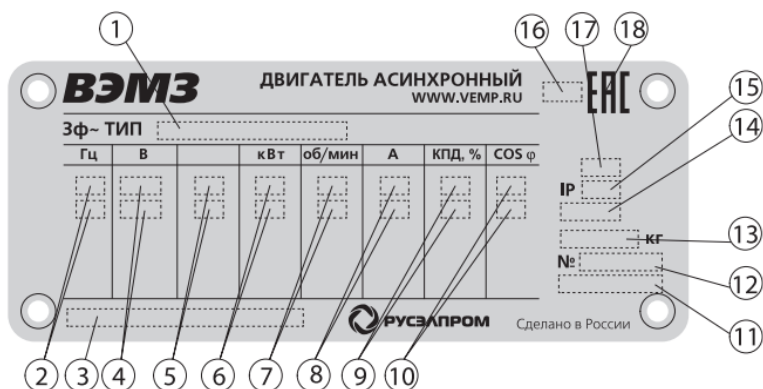


Рисунок 16 – Расшифровка полей паспортной таблички электродвигателей

На рисунке 3.2 обозначено:

- 1 - наименование типа двигателя;
- 2 - частота сети, Гц;
- 3 - обозначение нормативного документа;
- 4 - напряжение, В;
- 5 - схема соединения;
- 6 - мощность, кВт;
- 7 - частота вращения, об/мин;

- 8 - номинальный ток, А;
- 9 - КПД;
- 10 - коэффициент мощности;
- 11- дата выпуска двигателя (месяц и год);
- 12 - заводской номер двигателя;
- 13 - масса двигателя, кг;
- 14 - класс изоляции;
- 15 - степень защиты;
- 16 - класс энергоэффективности;
- 17 - режим работы двигателя;
- 18 - знак соответствия *EAC*.

Например, расшифровка обозначения для электродвигателя 7AVER132S6IE2:

7AVER – серия;

132 – высота оси вращения, мм;

S – установочный размер;

6 – число полюсов статора;

IE2 – высокий класс энергоэффективности, по IEC60034» [24].

Выбираем АД марок 7AVER132S6IE2 и 7AVER132S4IE2, характеристики приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристики АД систем вентиляции и водоснабжения

Параметры	7AVER132S6IE2 (вентиляция)	7AVER132S4IE2 (водоснабжение)
Напряжение, В	380	380
Мощность, кВт	5,5	7,5
КПД, %	85	87,5
$\cos \varphi$	0,8	0,86
Частота вращения (синхронная), об/мин	1000	1500
Степень защиты, IP	55	54
Масса, кг	63	64

Выбор частотных преобразователей.

«Функциональные схемы управления электроприводом с ТрЧП показаны на рисунке 17.

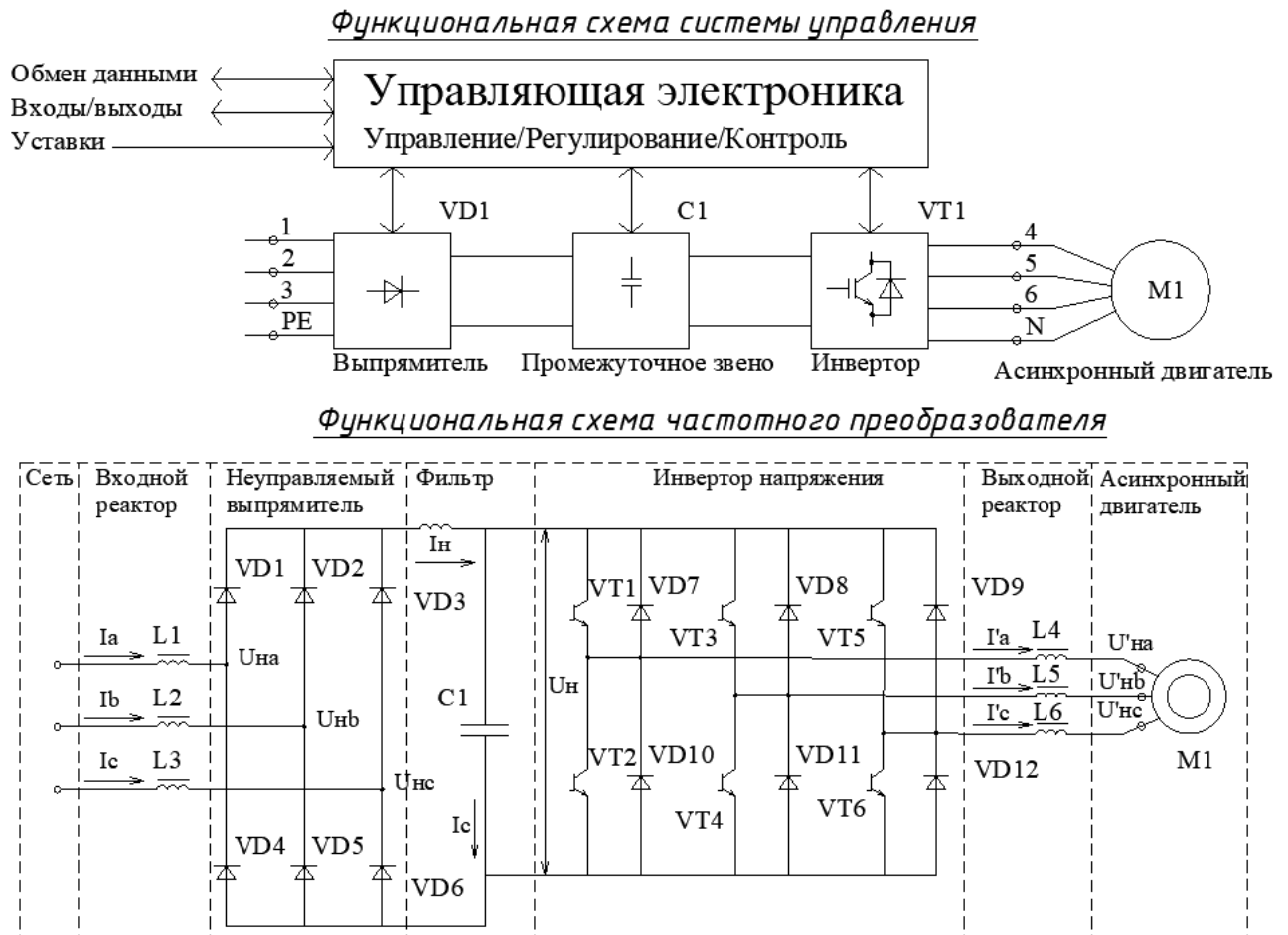


Рисунок 17 – Функциональные схемы управления электроприводом с ТрЧП

Напряжение сети подается через сглаживающий импульсы тока входной реактор на неуправляемый трехфазный выпрямитель. Далее через фильтр, сглаживающий пульсации, постоянное напряжение подается на транзисторный инвертор, где происходит генерация переменного тока с задаваемой частотой и напряжением, что обеспечивает широкий диапазон и точную регулировку частоты вращения и мощности ЭП. Через сглаживающий импульсы тока выходной реактор, переменный ток с задаваемой частотой и напряжением подается на электродвигатель. Применение частотного

регулирования обеспечивает существенное повышение энергоэффективности и значительное энергосбережение. Современные ТрЧП на основе *IGBT*-транзисторов могут быть рекомендованы для применения в электроприводах систем вентиляции и водоснабжения самых различных объектов» [5].

Выбираем современные ТрЧП марки *FR-A840* фирмы *Mitsubishi*.

«Данные ТрЧП имеет следующие особенности:

- возможность интеграции со специализированными контроллерами;
- перегрузка по току 200%;
- 64-битная архитектура процессора;
- поиск скорости для достижения максимального КПД; 15 программируемых установок скорости;
- векторное управление с автоматической настройкой и коррекцией параметров двигателя при нагреве);
- многоязыковое программное обеспечение (*VFD-Setup*) под *Windows* для программирования и управления» [22].

Внешний вид ТрЧП серии *FR-A840* показан на рисунке 18.



Рисунок 18 – Внешний вид ТрЧП серии *FR-A840*

Для электроприводов вентиляции (мощности АД 5,5 кВт) выбирается ТрЧП марки *FR-A840-00170-2-60*. Для электроприводов водоснабжения (мощности АД 7,5 кВт) выбирается ТрЧП марки *FR-A840-00250-2-60*.

2.9 Выбор оборудования АИИСКУЭ

Выбирается оборудование АИИСКУЭ «Энергомера» от АО Концерн Энергомера. «Данный продукт работает на базовом специализированном ПО *cEnergo 4.7*. Отличительные особенности данной АИИСКУЭ:

- отечественный производитель и поставщик комплектующих;
- отечественный разработчик ПО;
- повышенная отказоустойчивость ПО;
- все комплектующие разработаны и производятся АО «Концерн Энергомера»;
- дополнительные возможности по программному управлению приборами учета.

Достоинства данной АИИСКУЭ:

- отечественный производитель и поставщик комплектующих;
- отечественный разработчик ПО;
- повышенная отказоустойчивость ПО;
- расширенные возможности ПО.
- дополнительные возможности по программному управлению приборами учета;
- относительно невысокая стоимость;
- производитель и поставщик—это крупный и известный концерн, что гарантирует отличную техническую, информационную поддержку и долгосрочное сотрудничество.

В составе АИИСКУЭ «Энергомера» используется оборудование: счетчики СЕ 303, СЕ 304, ЦЭ 6850М, УСПД СЕ 805 (рисунок 19)» [22].

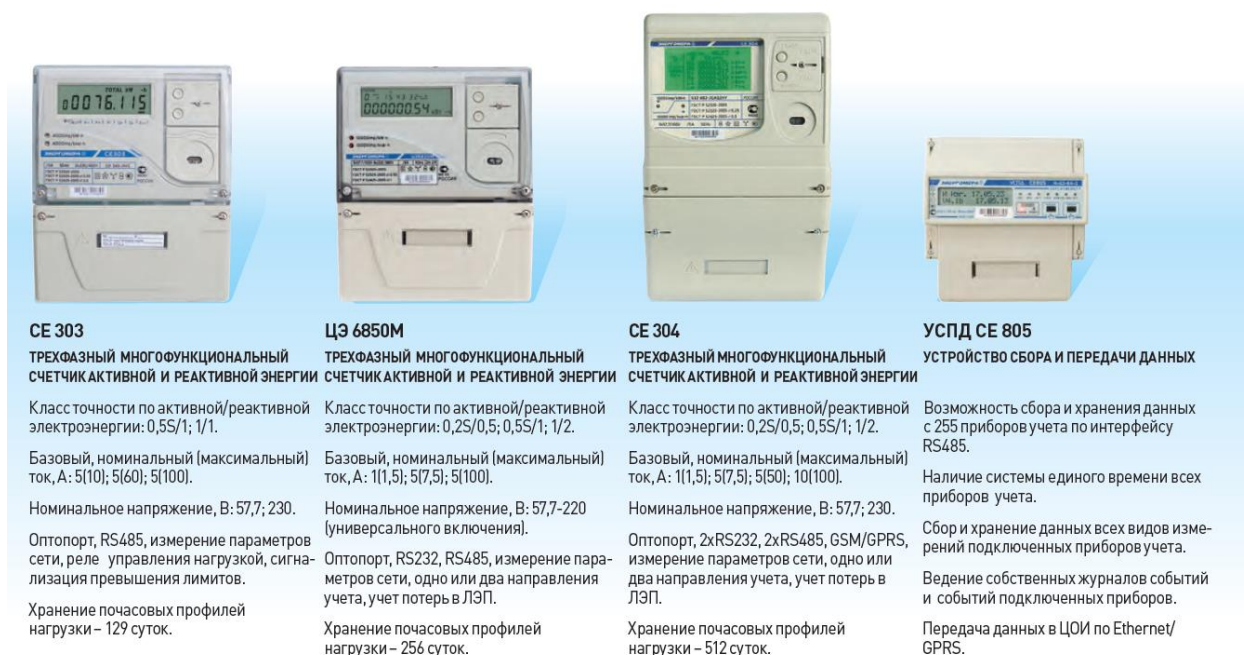


Рисунок 19 – Оборудование АИИСКУЭ «Энергомера»

«Для передачи данных по силовым линиям используется PLC-модем *CE 832C5*. Для организации центра обработки информации (ЦОИ) АИИСКУЭ «Энергомера» используется центральный сервер *Hyperion RS230 G4*.

Применение АИИСКУЭ позволит максимально эффективно оптимизировать электропотребление потребителей БЦ. Применение АИИСКУЭ позволяет также своевременно выявлять отклонения от нормативных режимов работы электроприемников, тем самым предупреждая и минимизируя аварийные ситуации и связанные с ними экономические и другие потери» [22].

«Рассмотрим особенности программного управления счетчиками АИИСКУЭ на примере модели *CE 303*, которая является базовой для учета потребляемой э/э в трехфазных сетях 380 В.

Внешний вид счетчика *CE303* показан на рисунке 20.

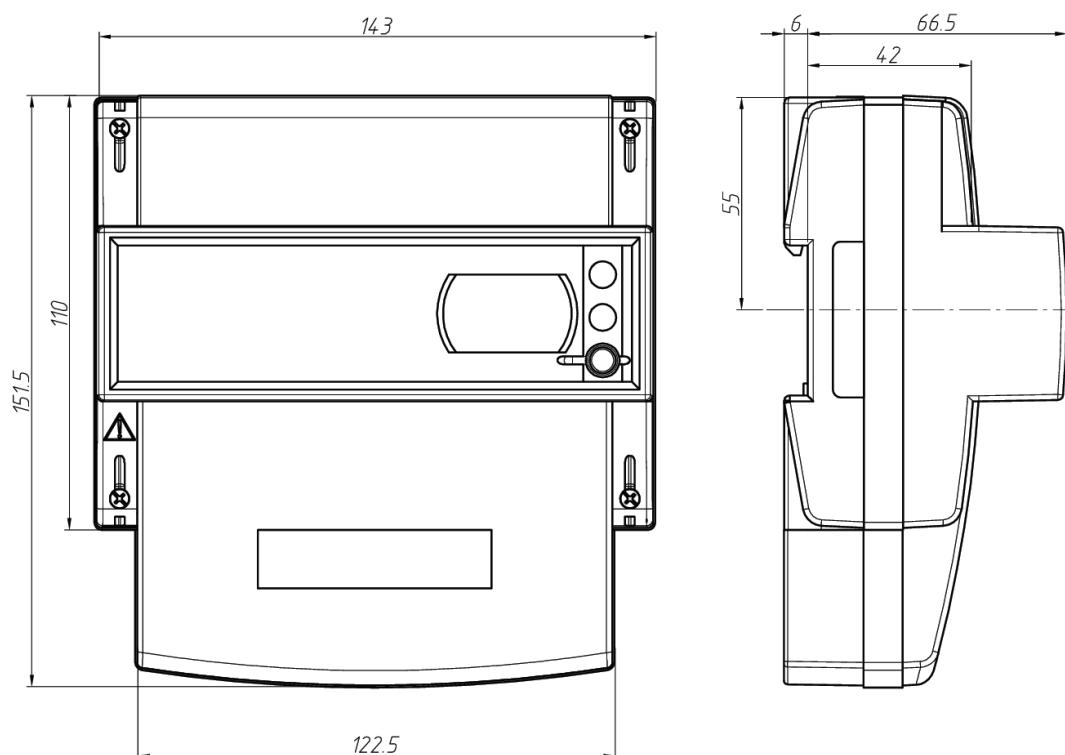


Рисунок 20 – Внешний вид счетчика *CE303*

Счетчики *CE 303* предназначены для измерения и многотарифного учета активной и реактивной электроэнергии. Программное управление позволяет вести точный учет потерь, профилей мощности нагрузки, а также учитывать специфику электропотребления каждого конкретного потребителя. Также обеспечивается мониторинг основных показателей электропотребления и качества электроэнергии. Внешний вид жидкокристаллического индикатора (ЖКИ) показан на рисунке 21.

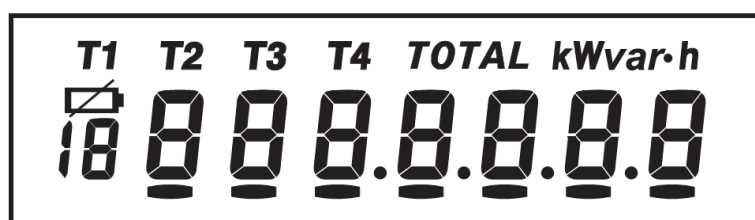


Рисунок 21 – Внешний вид ЖКИ счетчика *CE303*

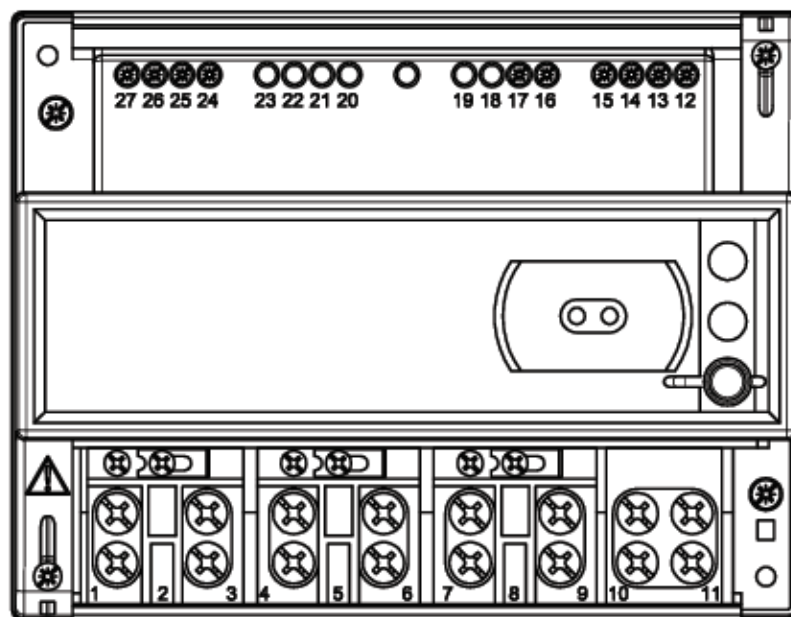
Для подключения счетчиков используются переходные (испытательные) коробки, что обеспечивает удобство при эксплуатации, ремонте и проверке счетчиков. Переходные коробки позволяют производить замыкание токоведущих цепей трансформаторов тока и разрыв цепей напряжения, и выполнять работы со счетчиком без прямого доступа к трансформаторам тока.

Со счетчиков информация передается в ЦОИ по каналам связи *PLC*. Для поддержания единого системного времени синхронизация времени осуществляется от уровня ИВК, который располагается в ЦСОИ. Синхронизация осуществляется при наличии расхождения более 0 сек., но не чаще 1 раза в сутки» [22].

«Специальные испытательные переходные коробки монтируются перед счетчиками и обеспечивают удобство их проверки и обслуживания. Для предотвращения несанкционированного доступа испытательные переходные коробки пломбируются.

Между счетчиками и шкафом связи проложены кабели, предназначенные для организации линий связи на основе интерфейса *RS-485*, который обеспечивает высокую надежность передачи данных и помехозащищенность. Рядом со счетчиками установлен набор клемм для разветвления интерфейса *RS-485*. Для удобства обслуживания в шкафу связи устанавливается разветвитель интерфейсных линий связи.

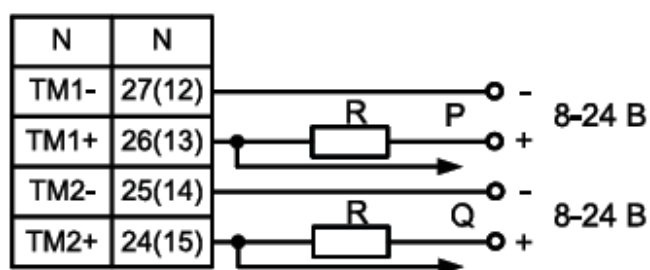
Монтаж кабелей осуществляется в соответствии с требованиями ПУЭ, СНиП и рабочего проекта по монтажу. Защита от помех должна выполняться согласно СТО 56947007-29.240.044-2010. Для программирования счетчиков используются дополнительные контакты. Обозначения дополнительных контактов счетчика *CE303 R33* показаны на рисунке 22.



б) контакты 27, 26 – подключение импульсных выходов ТМ1 (Р);
 контакты 25, 24 – подключение импульсных выходов ТМ2 (Q);
 контакты 15, 14 – подключение «-», «+» внешнего блока питания 9 В, 100 мА интерфейса EIA485;
 контакты 13, 12 – «В» и «А» сигналы подключения интерфейса EIA485;
 контакты 17, 16 – подключение РУ и РС (реле 1).

Рисунок 22 – Обозначения дополнительных контактов счетчика *CE303*

Также на дополнительные контакты 24-27 необходимо подать питание в соответствии с рисунком 23.



Примечание – номера контактов
 в зависимости от исполнения кожуха.
 а) – CE303 R33

Рисунок 23 – Схема подачи питания на дополнительные контакты счетчика

Для начала программирования счетчик необходимо подключить к ПК. Схема подключения представлена на рисунке 24.

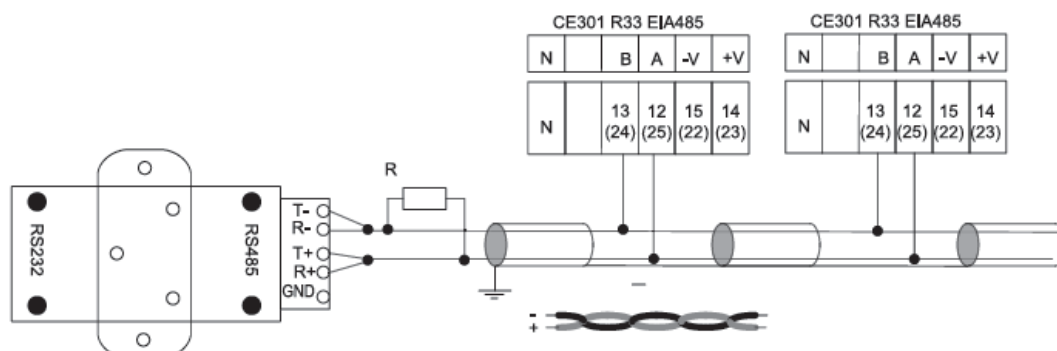


Рисунок 24 – Схема подключения счетчика *CE303* к ПК

Программирование выполняется согласно инструкции от производителя ИНЕС.411152.081 ИС1, при этом все параметры программирования фиксируются в журнале событий» [22].

«Предусматривается возможность программирования счетчика на различные режимы работы, отображения параметров учета на ЖКИ, вывода и сохранения параметров учета через интерфейсы. Также устанавливается поправка на коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения (если они установлены в первичной цепи), при этом выводится на ЖКИ и передается по интерфейсам информация с учетом поправки по коэффициентам трансформации. Задается время и интервал усреднения профилей нагрузки, режимы работы радиомодулей и реле. Параметры программирования отображаются на ЖКИ, пример показан на рисунке 25.

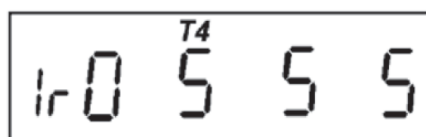


Рисунок 25 – Отображение параметров программирования на ЖКИ

В данном случае на рисунке 25 отображается:

- скорость передачи данных через оптопорт – 0;
- начальная скорость передачи данных через интерфейс – 5;
- рабочая скорость передачи данных через интерфейс – 5;
- время ответа через интерфейс – 5 мс;
- действующий тариф – №4.

Также в режиме программирования возможна проверка и настройка электронной пломбы.

Настройка многотарифного учета производится:

- раздельно, с числом тарифов до 4;
- по дополнительному тарифу (при невозможности определения текущего тарифа);
- суммарно, с учетом всех текущих тарифов;
- по тарифному суточному и/или сезонному расписанию» [22].

Точная программная настройка счетчиков АИИСКУЭ позволит обеспечить максимальную оптимизацию электропотребления БЦ в целом, автоматизировать учет ЭЭ для организаций-арендаторов помещений, исключить хищения ЭЭ.

2.10 Автоматический ввод резерва 0,4 кВ

«АВР 0,4 кВ на шинах ГРЩ предназначен для автоматического переключения питания ответственных потребителей на резервный источник при пропадании либо несоответствии норме показателей качества питания с основного источника.

Упрощенная схема АВР 0,4 кВ – на рисунке 26» [10].

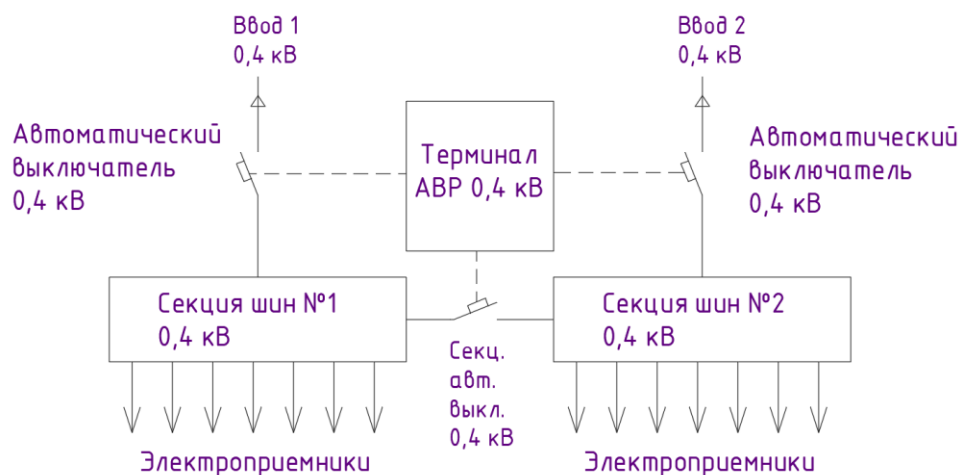


Рисунок 26 – Упрощенная схема АБР 0,4 кВ

Внешний вид Сириус-АБР – на рисунке 27.



Рисунок 27 – Внешний вид Сириус-АБР

«Для обеспечения дистанционного управления и контроля состояния, вводные и секционный автоматические выключатели на вводе 0,4 кВ и секционной перемычке ГРЩ выбираются с электромагнитным приводом. Терминал Сириус-АБР обеспечивает автоматический ввод резервного источника при пропадании напряжения на одном из питающих вводов и автоматическое восстановление схемы нормального режима питания. В нормальном режиме работы питание подается на оба ввода 0,4 кВ, секционный

выключатель отключен. При пропадании напряжения на одном из вводов, АВР отключает выключатель этого ввода ($QF1$ или $QF2$) и включает секционный выключатель ($QF3$). После проведения необходимых ремонтно-восстановительных работ и появлении питания на втором вводе 0,4 кВ, терминал АВР автоматически восстанавливает схему нормального режима питания, включая выключатель ввода ($QF1$ или $QF2$) и отключая секционный выключатель ($QF3$)» [10].

«Уставка пускового органа минимального напряжения выбирается по условию:

$$U_{C.P} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad (14)$$

где $U_{НОМ}$ – номинальное напряжение сети, В» [10].

$$U_{C.P0,4} = 0,7 \cdot 380 = 266 \text{ В.}$$

«Напряжение срабатывания максимального реле напряжения, контролирующего наличие напряжения на другой секции, выбирается по условию» [10]:

$$U_{C.P} = (0,6 \div 0,65) \cdot U_{НОМ}, \quad (15)$$

$$U_{C.P0,4} = (0,6 \div 0,65) \cdot 380 = 228 \div 247 \text{ В.}$$

«Время срабатывания реле времени пускового органа напряжения АВР выбирается по условию:

$$t_{C.P.ABP} = t_1 + \Delta t, \quad (16)$$

где t_1 – наибольшее время срабатывания автоматических выключателей

при КЗ на отходящих линиях, с;

Δt – ступень селективности, с» [10].

$$t_{C.P.ABP} = 0,05 + 0,5 = 0,55 \text{ с.}$$

Схема АВР 0,4 кВ – на рисунке 28.

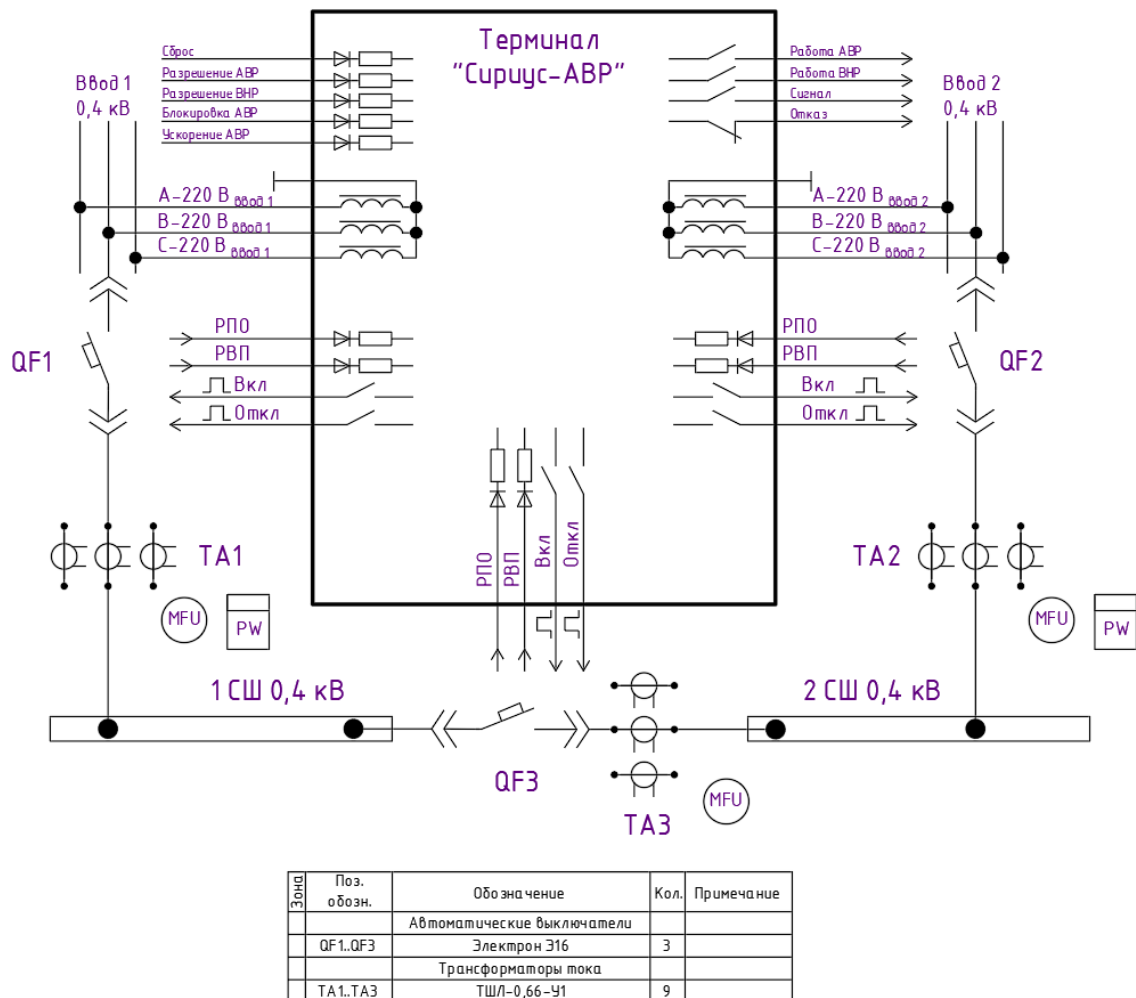


Рисунок 28 – Схема АВР 0,4 кВ

2.11 Расчет контура заземления ГРЩ

Заземление ГРЩ необходимо выполнить для обеспечения нормальной работы распределительной сети с системой нейтрали *TN-C-S* [3], [14].

«Удельное сопротивление грунта для вертикальных и горизонтальных электродов с учетом коэффициента сезонности определяется по формуле:

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (17)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта (известняк), 2000 Ом · м;
 K_c – коэффициент сезонности» [20].

$$\rho_{p\phi} = 2000 \cdot 1,1 = 2200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{p\epsilon} = 2000 \cdot 1,4 = 2800 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

«Используем контурное заземление. Для вертикальных электродов (ВЭ) используем угловую сталь 50х50 мм, для горизонтального электрода (ГЭ) используем полосовую сталь 50х5 мм» [15],

«Сопротивление растеканию для одного ВЭ:

$$R_{\text{овэ}} = \frac{\rho_{p\phi}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right] \quad (18)$$

где l – длина ВЭ, м;

d – диаметр (для угловой стали приведенный диаметр) ВЭ, м;

t – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (19)$$

где b – ширина уголка, мм» [20].

Сопротивление растеканию для одного ВЭ:

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475 \text{ м}$$

$$t = 3 / 2 + 0,8 = 2,3 \text{ м}$$

$$R_{\text{овэ}} = \frac{2200}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right] = 60,962 \text{ Ом}$$

«Расчетное число вертикальных электродов определяется по формуле:

$$n' = R_{\text{огз}} / R_n \quad (20)$$

где R_n – максимально допустимое сопротивление заземления, Ом» [20].

$$n' = 60,962 / 4 = 15,2 \approx 16 \text{ шт}$$

«Длина горизонтальной полосы определяется по формуле:

$$l_z = 1,05 \cdot a \cdot n' \quad (21)$$

где a – расстояние между ВЭ, м.

$$a = l_{\text{пер}} / n' \quad (22)$$

где $l_{\text{пер}}$ – периметр площадки контура заземления, м» [23].

$$l_{\text{пер}} = 2 \cdot (9,3 + 7) = 32,6 \text{ м}$$

$$a = 32,6 / 16 = 2,04 \text{ м}$$

$$l_z = 1,05 \cdot 2,04 \cdot 16 = 34,27 \text{ м}$$

«Сопротивление растеканию ГЭ:

$$R_{\text{зз}} = \frac{\rho_{\text{pz}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left(\frac{l^2}{d \cdot t} \right) \quad (23)$$

где l – длина горизонтального электрода, м;

d – диаметр (для полосы расчетный диаметр) электрода, м;

t – расстояние от поверхности до центра ГЭ, м.

$$d = 0,5 \cdot b, \quad (24)$$

где b – ширина полосы, м» [20].

Сопротивление растеканию для ГЭ:

$$d = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025 \text{ м}$$

$$t = 0,05 / 2 + 0,8 = 0,825 \text{ м}$$

$$R_{\text{э}} = \frac{2800}{2 \cdot 3,14 \cdot 34,27} \cdot \ln \left(\frac{34,27^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 2,757 \text{ Ом}$$

«Эквивалентное сопротивление группового заземлителя:

$$R_{\text{зп}} = \frac{R_{\text{обэ}} \cdot R_{\text{э}}}{R_{\text{обэ}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot n + R_{\text{э}} \cdot \eta_{\text{г}}} \quad (25)$$

где $\eta_{\text{в}}$ – коэффициент использования вертикальных электродов;

$\eta_{\text{г}}$ – коэффициент использования горизонтальных электродов» [20].

$$R_{\text{зп}} = \frac{60,962 \cdot 2,757}{60,962 \cdot 0,51 \cdot 16 + 2,757 \cdot 0,3} = 3,792 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

Выводы.

Проведена разработка энергоэффективного электроснабжения бизнес-центра. Рассчитаны нагрузки помещений, выбрано современное электрооборудование СЭС и технические решения, обеспечивающие высокую энергоэффективность и надежность электроснабжения.

3 Оценка экономической эффективности предлагаемого варианта энергоэффективного электроснабжения бизнес-центра

3.1 Сметная стоимость проекта

«Суммарная стоимость электрооборудования (ЭО) каждого типа:

$$C = C_{eo} \cdot n, \quad (26)$$

где C_{eo} – стоимость единицы ЭО, тыс.руб.;

n – число единиц ЭО, шт (м)» [11].

Например, цена АУКРМ-0,4-30 составляет 105,6 тыс. руб. [25].
Стоимость данного типа ЭО:

$$C = 105,6 \cdot 2 = 211,2 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость всего ЭО:

$$\sum C = C_1 + C_2 + \dots C_i, \quad (27)$$

$$\sum C = 211,2 + 450,56 + \dots 5,6 = 4588,504 \text{ тыс. руб.}$$

«Дополнительные расходы рассчитываются исходя из суммарной сметной стоимости ЭО, например, транспортные расходы (5% от стоимости ЭО)» [11]:

$$C_{mp} = 0,05 \cdot \sum C, \quad (28)$$

$$C_{mp} = 0,05 \cdot 4588,504 = 229,425 \text{ тыс. руб.}$$

Расчет сметной стоимости проекта – в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет сметной стоимости проекта электроснабжения БЦ

Оборудование	кол-во, шт (м)	Цена, тыс. руб.	Σ стоимость, тыс. руб.
AУКРМ-0,4-30	2	105,6	211,20
7AVER132S6IE2	8	56,32	450,56
7AVER132S4IE2	10	78,43	784,30
FR-A840-00170-2-60	8	64,54	516,32
FR-A840-00250-2-60.	10	99,61	996,10
Siemens LOGO	28	6,56	183,68
УЗО, 10 мА	28	0,53	14,84
ВА-47-29 1-р	17	0,12	2,04
ВА-47-29 3-р	8	0,23	1,84
ВА-47-100 1-р	2	0,352	0,70
ВА-52-39 3-р	3	1,564	4,69
ГРЩ Импульс-630	1	45,63	45,63
ПР-11	2	24,6	49,20
ЩРН-6	10	0,852	8,52
ЩРН-12	15	1,235	18,53
Распределительная коробка РК	2	0,084	0,17
Светильники СВО 20 Вт	49	2,36	115,64
Светильники СВО 40 Вт	25	3,58	89,50
Светильники СВО 80 Вт	22	6,24	137,28
Вартон-6 Вт	29	0,53	15,37
Светильники LLT 36 Вт	9	2,84	25,56
Светильники NT-PROM 48 Ex	12	5,12	61,44
АВБШв-4·185+1·95	210	1,798	377,58
НУМ-4·70+1·35	2,55	3,96	10,10

Продолжение таблицы 13

Оборудование	кол-во, шт (м)	Цена, тыс. руб.	Σ стоимость, тыс. руб.
НУМ-4·50+1·25	29,12	3,11	90,56
НУМ-3·16	2,69	0,517	1,39
НУМ-5·10	27,1	0,619	16,77
НУМ-5·6	13,24	0,408	5,40
НУМ-5·2,5	124,3	0,205	25,48
НУМ-3·2,5	84,6	0,123	10,41
НУМ-3·1,5	245,8	0,086	21,14
Комплект АИИСКУЭ «Энергомера»	1	217,4	217,40
Сириус-АВР	1	32,6	32,60
Сталь угловая 50х50х5 мм, 3 м	16	2,56	40,96
Полоса стальная 50х5 мм	35	0,16	5,60
Итого стоимость оборудования (СО)			4588,504
Стоимость тары и упаковки (6% от СО)			275,310
Транспортные расходы (5% от СО)			229,425
Складские расходы (0,5% от СО)			22,943
Стоимость строительно-монтажных работ (20 % от СО)			917,701
СО + СМР			5506,205
Сметная прибыль 20%			1835,402
Итого			7869,284

Итоговая сметная стоимость проекта: 7869,284 тыс. руб.

3.2 Ожидаемые экономический эффект и срок окупаемости

«По результатам энергоаудита БЦ, дополнительные расходы на эксплуатацию, ремонт и ТО действующей СЭС ввиду технологического устаревания и износа, а также недостаточной энергоэффективности составляют, в среднем, 2351,2 тыс.руб./год (без учета амортизационных

отчислений). Амортизационные отчисления для действующего заменяемого ЭО составляют 711,64 тыс. руб./год» [23].

«Расчет амортизационных отчислений (АО) для заменяемого ЭО производится по нормам в зависимости от типа:

$$O_{ам} = n_{ам} \cdot C_{о.ф.}, \quad (29)$$

где $n_{ам}$ – норма АО, %;

$C_{о.ф.}$ – суммарная стоимость ЭО данного типа, тыс. руб.

Например, для силового электротехнического ЭО» [11]:

$$O_{ам} = 0,07 \cdot 6831,032 = 478,172 \text{ тыс. руб./год}$$

Расчёт АО сведём в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчёт амортизационных отчислений

Типы ЭО	Осн. фонды, тыс.р.	Норма АО, %	АО, тыс. р.
Силовое ЭО	6831,032	7	478,172
Кабели	958,402	2,4	23,002
Элементы контура заземления	79,850	2,1	1,677
Итого:	7869,284		502,851

«Снижение АО после реализации проекта составит:

$$\Delta O_{ам} = O_{ам1} - O_{ам}, \quad (30)$$

где $O_{ам1}$ – АО для действующего заменяемого ЭО, тыс. руб./год» [11].

$$\Delta O_{ам} = 711,64 - 502,851 = 208,789 \text{ тыс. руб./год}$$

«Прогнозируемый приблизительный срок окупаемости:

$$T_{ок} = \frac{\sum C_{см}}{P_{доп} + \Delta O_{ам}}, \quad (31)$$

где $\sum C_{см}$ – сметная стоимость проекта, тыс. руб.;

$P_{доп}$ – дополнительные расходы на эксплуатацию, ремонт и ТО

действующей СЭС ввиду технологического устаревания и износа,
а также недостаточной энергоэффективности (без учета АО),
тыс.руб./год;

$\Delta O_{ам}$ – снижение АО после реконструкции, тыс.руб./год.

$$T_{ок} = \frac{7869,284}{2351,2 + 208,789} \approx 3,07 \text{ года}$$

Ожидаемый экономический эффект» [11]:

$$\mathcal{E} = P_{доп} + \Delta O_{ам}, \quad (32)$$

$$\mathcal{E} = 2351,2 + 208,789 = 2559,989 \text{ тыс. руб./год}$$

Выводы.

Приблизительный срок окупаемости проекта энергоэффективного электроснабжения БЦ составляет 3,03 года. Предполагается годовой экономический эффект в 2559,989 тысяч рублей. Установленный проект обладает большим экономическим эффектом, следовательно, рекомендован к осуществлению.

Заключение

Проведена разработка энергоэффективного электроснабжения бизнес-центра. Выполнены задачи:

- проведен анализ способов повышения энергоэффективности СЭС, выделены наиболее эффективные и используемые в настоящее время способы: компенсация реактивной мощности, энергоэффективное освещение, снижение потерь электроэнергии в линиях электропередач, энергоэффективное силовое электрооборудование, повышение энергоэффективности с помощью применения программируемых цифровых реле, повышение энергоэффективности с помощью АСТУЭ (АИИСКУЭ);
- систематизированы исходные данные по проектируемой СЭС бизнес-центра: составлен план помещений, приведены характеристики нагрузок и данные по источнику питания;
- определены силовые электрические нагрузки по помещениям (от 0,813 кВА до 36,24 кВА) и БЦ в целом (234,751 кВт; 135,495 квар; 271,048 кВА);
- выполнено проектирование энергоэффективной системы освещения на основе светодиодных светильников, определены итоговые нагрузки помещений (от 0,849 кВА до 36,267 кВА) и БЦ в целом (241,061 кВт; 141,048 квар; 279,294 кВА);
- эффективная КРМ будет обеспечиваться установкой на шинах ГРЩ двух автоматических установок АУКРМ-0,4-30 по 30 квар, с учетом КРМ нагрузки БЦ составили 241,061 кВт; 81,048 квар; 254,321 кВА);
- рассчитана питающая линия 0,4 кВ до ГРЩ (выбран кабель АВБШв-4×185+1×95), силовая и осветительная сети (кабели НУМ). Нами были выбраны сечения жил по допустимому току, КЛ проверены по потерям напряжения, не более допустимых 5 % по ПУЭ. Составлены план прокладки КЛ и план системы освещения;

- для защиты КЛ выбраны автоматические выключатели серии ВА, установленные в ГРЩ, РП и ЩРН. ГРЩ выбран марки Импульс-630, РП марки ПР-11, ЩРН марок ЩРН-6 и ЩРН-12;
- проведен выбор электродвигателей и частотных преобразователей для обеспечения энергоэффективной работы систем вентиляции и водоснабжения (выбраны электродвигатели серии 7AVER с повышенным КПД и ТрЧП марки FR-A840 фирмы *Mitsubishi*);
- выбрано оборудование АИИСКУЭ «Энергомера» с ПО *cEnergO 4.7*. Программная настройка счетчиков позволит оптимизировать электропотребление БЦ в целом, автоматизировать учет ЭЭ для организаций-арендаторов помещений, исключить хищения ЭЭ;
- проведен расчет контура заземления ГРЩ, что обеспечит надежную и безопасную работу СЭС;
- проведена оценка экономической эффективности предлагаемого варианта энергоэффективного электроснабжения БЦ .

Приблизительный срок окупаемости проекта энергоэффективного электроснабжения БЦ составляет 3,03 года. Предполагается годовой экономический эффект в 2559,989 тысяч рублей. Установленный проект обладает большим экономическим эффектом, следовательно, рекомендован к осуществлению.

Практическая значимость работы состоит в проектировании эффективных мероприятий по повышению энергоэффективности СЭС бизнес-центра, реализация которых, при проведении реконструкции СЭС, обеспечит значительное снижение затрат на оплату электроэнергии, амортизационные и прочие технико-эксплуатационные расходы. Также предлагаемый вариант энергоэффективного электроснабжения БЦ может быть использован при постройке и вводе в эксплуатации аналогичного здания БЦ. Результаты работы могут применяться при разработке энергоэффективных СЭС других аналогичных объектов и зданий, а также при реконструкции и модернизации действующих СЭС.

Список используемых источников

1. Арутюнян А. А. Основы энергосбережения: моногр. – М.: Энергосервис, 2020. – 600 с.
2. Анчарова Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. – 416 с.
3. ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда. – М.: Энергия, 2022. 45 с.
4. ГОСТ 31532-2012. Энергетическая эффективность. Состав показателей. – М.: Энергия, 2022. 57 с.
5. <https://elibrary.ru/item.asp?id=48563329> Кореньков Е.В. Применение частотного регулирования в системах вентиляции для повышения энергоэффективности // Вестник магистратуры 2-2 (125), 2022. С. 32-34.
6. Кудрин Б.И., Жилин Б.В, Матюгина Ю.В. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие. - М.: МЭИ, 2018. 412 с.
7. Кудрин Б. И. Электроснабжение: Учебное пособие. - М.: Academia, 2019. 352 с.
8. Куско А., Томпсон М. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии. - М.: Додэка XXI, 2018. 336 с.
9. Меркер Э. Э. Энергосбережение в промышленности и эксергетический анализ технологических процессов. Учебное пособие. – М.: ТНТ, 2020. – 316 с.
10. Миллер Г. Р. Автоматизация в системах. - М.: Государственное энергетическое издательство, 2018. 176 с.
11. Можаяева С.В. Экономика энергетического производства: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. 208 с., ил.
12. Нестеренко Д.Д., Сахнюк К.С. Применение автоматизированной системы технического учета электроэнергии (АСТУЭ) для повышения энергоэффективности и надежности систем электроснабжения предприятий // Вестник магистратуры 3-2 (126), 2022. С. 43-45.

13. Нестеренко Д.Д., Сахнюк К.С. Применение программируемых реле для повышения энергоэффективности систем электроснабжения и автоматизации систем управления // Вестник магистратуры 3-2 (126), 2022. С. 46-50.
14. Охрана труда в энергетике: Учебник для техникумов / под ред. Князевского Б.А. – М.: Энергопромиздат, 2020. 376 с.
15. Полуянович Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Лань, 2019. 400 с.
16. Правила устройства электроустановок, издание 7. – М.: Энергия, 2022. 648 с.
17. Свидерская О. В. Основы энергосбережения. - М.: Тетра-Системс, 2019. – 176 с.
18. Фролов Ю. М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения. - М.: Лань, 2018. 480 с.
19. Хорольский В. Я., Тпранов М.А. Эксплуатация систем электроснабжения. - М.: Дрофа, 2018. 288 с.
20. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. - М.: Форум, Инфра-М, 2019. 216 с.
21. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. - М.: Форум, Инфра-М, 2019. 136 с.
22. Школа электрика. Информационный портал. [Электронный ресурс]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 20.02.2022).
23. Эксплуатационно-техническая документация. Электроснабжение бизнес-центра. 2022. 198 с.
24. Энергосбережение. Информационный портал. [Электронный ресурс]. – <http://energo-save.ru/> (дата обращения: 21.02.2022).
25. ЭТМ компания. Каталог товаров. [Электронный ресурс]. – <https://www.etm.ru/> (дата обращения: 10.05.2022).
26. Biegelmeier G. Electro supply system. – Bulletin. Int. Sek, 2020. 428 p.

27. Dalziel C.F., Lee W. Electricity and power supply. – IEEE Spectrum, 2018, №2. p. 44-50.
28. Discussion on construction of green power grid enterprises. Zhang Hong; Guiyang Power Supply Bureau. 2019-08. P 87–91.
29. K. A. Khomiakov. Improving the accuracy of calculations of electrical loads for industrial enterprises. Journal of Physics, 06 October 2019.
30. Vlasyuk, I.V. The influence of reactive power compensation on energy saving by agricultural enterprises. AGRIS, 2018, P 40–46.
31. https://www.centerir.ru/preimuschestva_svetodiodnogo_osvescheniya