

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)

Режимы работы электрических источников питания, подстанций, сетей и систем

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка системы бесперебойного электроснабжения многопрофильного
лечебного учреждения

Обучающийся

А.И. Евдокимова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., профессор, В.В. Вахнина

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

Тольятти 2023

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ особенностей системы электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения.....	9
1.1 Структура многопрофильного лечебного учреждения.....	9
1.2 Требования к надежности системы электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения.....	10
1.3 Требования многопрофильного лечебного учреждения к качеству электроэнергии.....	15
1.4 Требования многопрофильного лечебного учреждения к безопасности электроснабжения.....	22
2 Разработка обобщенной схемы электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения.....	27
2.1 Система бесперебойного электроснабжения.....	27
2.1.1 Общая характеристика системы бесперебойного электроснабжения.....	27
2.1.2 Основные принципы построения систем бесперебойного электроснабжения МЛУ.....	28
2.2 Общая характеристика системы бесперебойного электроснабжения.....	36
2.3 Основные принципы построения систем бесперебойного электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения.....	44
2.4 Мероприятия по обеспечению качества электроэнергии системы электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения.....	48
2.5 Медицинская система ИТ.....	54
3 Проектирование системы электроснабжения ЦРБ Клявлинская МЛУ...	62
3.1 Анализ существующей структуры электрохозяйства объекта с описанием схемы внешнего электроснабжения.....	62

3.2 Полный расчет электрических нагрузок на корпуса больницы.....	64
3.2.1 Полный расчет освещения и оборудования корпусов лечебно-медицинского учреждения.....	64
3.2.2 Полный расчет искусственного освещения лечебно- медицинского учреждения.....	69
3.3 Установка силовых трансформаторов в ЛМУ с компенсацией реактивной мощности.....	72
3.4 Установка источников бесперебойного питания (ИБП).....	78
3.5 Выбор типа и расчет мощности дизельной электростанции (ДЭС)	80
3.6 Полный расчет токов КЗ на стороне низшего и высшего напряжения для электроснабжения ЛМУ.....	81
3.6.1 Полный расчет токов КЗ на стороне выше 1кВ для ЛМУ.....	81
3.6.2 Полный расчет токов КЗ на стороне ниже 1кВ для ЛМУ.....	84
3.7 Полный расчет и установка электрических проводников для силового электрооборудования в ЛМУ.....	93
3.7.1 Установка электрических проводников для силового электрооборудования в ЛМУ на стороне ВН.....	93
3.7.2 Установка электрических проводников для силового электрооборудования в ЛМУ на стороне НН.....	97
Заключение.....	100
Список используемой литературы и используемых источников.....	102
Приложение А Расчет электрических нагрузок третьего корпуса.....	109
Приложение Б Расчет нагрузок 0,4 кВ в ЛМУ.....	109
Приложение В Каталожные данные трансформаторов.....	112
Приложение Г Расчет электрических нагрузок системы СБЭ.....	113
Приложение Д Расчет электрических нагрузок II категории ЭСН.....	114
Приложение Е Расчет токов КЗ.....	115
Приложение Ж Перечень коммутационных аппаратов.....	116
Приложение И Электрический расчет питающих линий.....	117

Введение

С начала 2006 года был запущен проект, который получил название «Здоровье». Этот проект стал национальным приоритетным проектом и был создан для осуществления предложений Президента Российской Федерации, Владимира Путина, по улучшению медицинской помощи в стране и созданию условий для ее модернизации.

Основная цель проекта заключается в улучшении ситуации в здравоохранении и расширении доступности высокотехнологичной медицинской помощи: создание новых медицинских центров высоких технологий, оснащение медучреждений необходимым оборудованием и решение такой проблемы, как высокий износ оборудования уже имеющихся лечебных учреждений.

Проведенный анализ технического состояния электрических сетей учреждений здравоохранения показал, что в большинстве случаев фактические схемы электроснабжения не соответствуют требуемым категориям надежности. Ситуацию усугубляет сильный износ сетевого хозяйства, достигающий, например, в Удмуртии порядка 60 процентов. Требуется реконструировать и подвести дополнительные линии электропередачи к лечебным учреждениям, установить трансформаторные подстанции (КТП и ЗТП) в целях создания дополнительных центров питания. В ряде больниц необходимо смонтировать устройства автоматического ввода резервного питания 0,4 кВ в распределительных и трансформаторных подстанциях.

Так как большинство технических аппаратов, которые находятся в разделе «реанимационной аппаратуры» имеют более сложную конструкцию, то прослеживается прямая связь с бесперебойным обеспечением электрической энергии и надежности электроснабжения. Малейшая авария даже в зоне «тепловой части» может привести к значительному снижению качества электрической энергии и выходу из строя всего

электрооборудования. Эти слова легко подтверждаются примерами аварий в Российской Федерации.

25 мая 2005 года произошел пожар на электрической подстанции под названием «Чагино». В результате аварии произошел полный «блекаут» всего московского района. Под раздачу попали и местные больницы количество которых насчитывается более пятнадцати штук. Медсестра одной из больниц давала интервью местному телеканалу «РИА НОВОСТИ», в котором поведала что в первые минуты после отключения у них осталось очень много больных, подключенных к ИВЛ (искусственная вентиляция легких). Мед персоналу приходилось обеспечивать работу данного аппарата своими силами с помощью техники первой помощи «изо рта в рот».

27 мая 2006 года на Украине в Закарпатской области (город Ужгород) произошло отключения от электроснабжения онкологического центра. В результате аварии огромное количество пациентов оказались на грани «жизни и смерти». Местным властям пришлось задействовать службу «МЧС», которая в свою очередь смогла обеспечить переносное временное электроснабжение.

В марте 2010 года в Семее в роддоме отключили электроэнергию, и врачи целый час боролись за жизнь двоих новорожденных. После тяжелых родов младенцев, остро нуждавшихся в кислороде и тепле, доставили в реанимацию родильного дома. Их поместили в специальные кюветы, которые работают на электричестве. В этот момент отключили свет. Состояние детей сразу ухудшилось, и врачи принялись бороться за их жизнь вручную.

Роддом остался без энергоснабжения из-за аварии на одной из подстанций. неполадку устранили в течение часа. Однако неизвестно, как сказалось на здоровье новорожденных часовое отключение от аппаратов.

5 июля 2010 в 10 часов утра в Тольятти произошла технологическая авария на электролинии около ТЭЦ ВАЗа. В результате форс-мажора без электроэнергии остались полностью 10 кварталов нового города - это 4, 10, 12, 14, 16, 17,18, 19, 20, 21, промзона Автозаводского района, а также электроснабжение частично прекратилось в некоторых других кварталах. К

счастью, отключение не коснулось вазовского медгородка, так как дополнительного запаса мощности на все операционные и отделения реанимации в больнице не хватает. Если вдруг внезапно прекратится электроснабжение, возникнет риск для здоровья и жизни пациентов. Кроме прочего медперсонал вместе с больными может застрять в лифте.

Для повышения надежности системы электроснабжения многопрофильных лечебных учреждений необходимо предусматривать варианты резервирования, независимые источники электроснабжения. Этот вариант является более дорогостоящим, чем вариант без прямого резервирования, а эффективность его не всегда оправдана. Например, избыточное резервирование может приводить, как к удорожанию, так и к увеличению вероятности отказа оборудования, и, как следствие, снижению надежности.

Так как в результате технического прогресса все электрооборудование смещается в сторону микропроцессорной техники, следовательно, медицинские электроаппараты не стали исключением. Микропроцессорное оборудование более чувствительно к перебоям в электроснабжении и как следствие для бесперебойного и надежного питания электрической энергией необходимы более лучшие условия снабжения помещений больниц. Недооценка обеспечения требований по безопасности, качеству электроснабжения может привести к нанесению непоправимого вреда для пациентов как в результате прямого поражения электрическим током, так и выхода из строя ответственных систем жизнеобеспечения.

Стоит отметить также, что электропотребители многопрофильных лечебных учреждений и сами оказывают влияние на качество электроэнергии в сети, вызывая несимметрию, несинусоидальность, колебания напряжения, электромагнитные переходные помехи. Это вызвано неравномерным распределением по фазам однофазных потребителей, резкопеременным и нелинейным характером нагрузки, и, в свою очередь, приводит к увеличению

потерь мощности и электроэнергии, т.е. сказывается на экономических показателях.

Чтобы избежать проблем с установкой зарубежного электрооборудования необходимо тщательно сверять паспортные параметры этого оборудования с электрической сетью медицинского учреждения. Зачастую этим пунктом пренебрегают, в результате чего приходится менять не только электрическую схему электропитания, а также частично или полностью проводить реконструкцию самого медицинского учреждения (помещения).

Современному многопрофильному лечебному учреждению необходимо качественно поставлять электрическую энергию, с соблюдением всех норм, отраженных в нормативных документах (ГОСТов, ПУЭ и т.д.). Для этого нужно спроектировать систему электроснабжения.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что проблема построения и проектирования системы электроснабжения многопрофильных лечебных учреждений является актуальной.

Объект исследования – многопрофильное лечебное учреждение.

Предмет исследования – система электроснабжения МЛУ.

Цель работы: разработать методику проектирования надежной, безопасной системы электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения с учетом требований к качеству электрической энергии.

Гипотеза исследования состоит в том, что при построении системы ЭСН могут возникнуть трудности с обеспечением бесперебойного питания в помещении МЛУ с ЭП относящимися к особой группе по надежности электроснабжения и соответствующего качества показателей электрической энергии.

Чтобы достичь поставленную цель работы необходимо выполнить следующие задачи:

- проанализировать характерные для многопрофильных лечебных учреждений электроприемники, предъявляемые ими к системе

электроснабжения требований в отношении надежности, качества электроснабжения, безопасности;

- определить возможные варианты построения схемы электроснабжения, выбора оборудования, дать им оценку;
- разработать схему электроснабжения МЛУ Клявлинская центральная районная больница с учетом рекомендаций, изложенных в методике.

Методы исследования – основные законы электротехники, методы теории электрических сетей и электрических машин, методы математических вычислений.

Научная новизна исследования заключается в:

- построена временная диаграмма работы комплекса СБЭ-СГЭ, а также выбрана электрическая схема электроснабжения МЛУ с медицинской ИТ-системой;
- разработаны и выбраны мероприятия по обеспечению качества электроэнергии системы электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения.

Практическая значимость исследования заключается в том, что данный проект может быть реализован на реально существующем объекте, не только в Клявлинской поликлинике, но в любом МЛУ подобного типа.

Личное участие автора заключается в самостоятельных математических расчетах, анализе теоретических источников, построение схемы ЭСН для МЛУ и выборе предполагаемого силового оборудования на ПС.

На защиту выносятся:

- ряд требований, предъявляемый к показателям качества электроэнергии в многопрофильном лечебном учреждении;
- предполагаемая диаграмма работы комплекса СБЭ-СГЭ и выбор электрической схемы электроснабжения МЛУ;
- полный расчет системы электроснабжения (освещение, нагрузка в помещениях, работа в бесперебойном режиме и т.д.).

1 Анализ особенностей системы электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения

1.1 Структура многопрофильного лечебного учреждения

В зависимости от потребностей населения обслуживаемой зоны лечебного учреждения в стационарной помощи различаются показатели мощности и структура больницы [1]. На рисунке 1 показана схема многопрофильных больниц в зависимости от района обслуживания.

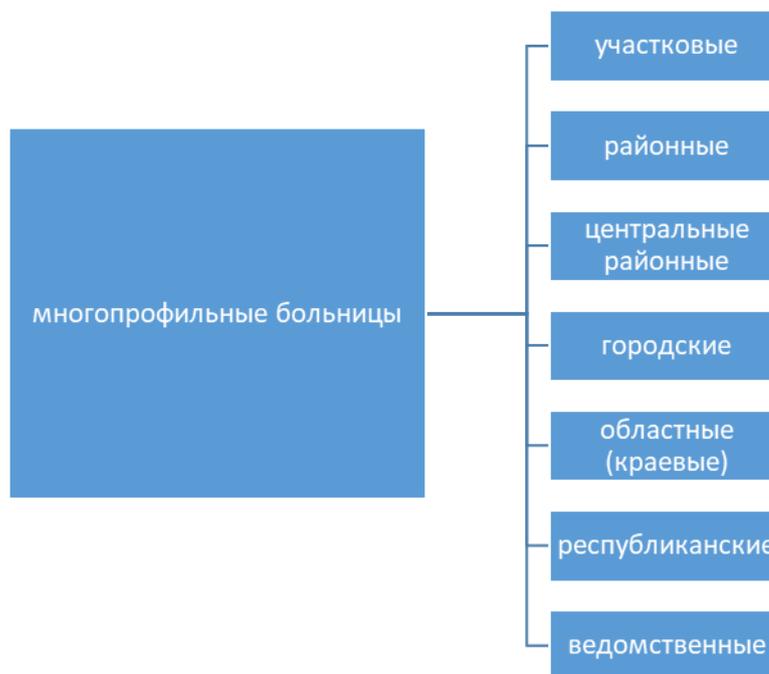


Рисунок 1 – Классификация лечебных учреждений по району обслуживания.

Выделяют также самостоятельные больницы (детские); специализированные больницы, в которых оказывают особую помощь в соответствии с профилем (наркологическая, офтальмологическая, отоларингологическая, психоневрологическая, психиатрическая и т.д.); родильные дома, где оказывают медицинскую помощь будущим матерям, новорожденным, женщинам с гинекологическими заболеваниями.

Состав стационарных учреждений очень разнообразен, в него могут входить такие структурные подразделения, как отделения (палатные, приемные, рентгеновские и т.д.), кабинеты (эндоскопические, физиотерапевтические и т.д.), операционные блоки, специализированные лечебные помещения, лаборатории (клинико-диагностические), аптеки, помещения (складские, служебные, бытовые) и еще многое другое в зависимости от специализации лечебного учреждения.

В соответствии с функциями и особенностями помещений лечебного учреждения приемники электричества также различаются по назначению и выполняемым функциям. Исходя из ряда признаков их можно проклассифицировать и сформулировать ряд требований, которые необходимо предъявлять к системе электроснабжения относительно ее надежности, качества и безопасности. Далее рассмотрим эти требования.

1.2 Требования к надежности системы электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения

Резервирование – это основной метод для повышения надежности системы энергоснабжения. Он состоит в использовании дополнительных средств и/или возможностей, позволяющих обеспечить работоспособное состояние объекта при выходе из строя одного или нескольких его элементов. В связи с требованиями надежности, предъявляемыми к электроприемникам, определяются объемы и способы резервирования.

Электроприемники можно разделить на три категории надежности, в I категории выделяется особая группа [5].

К I особой категории относятся электроприемники, обеспечивающие бесперебойную работу, которая предотвращает любые угрозы жизни людей. В многопрофильном лечебном учреждении это электропотребители в операционных и послеоперационных палатах, реанимационных палатах, приемно-смотровых боксах.

К I категории в целом относятся электроприемники, обеспечивающие электроснабжение, при перерыве которого возникает опасность для жизни людей. В многопрофильном лечебном учреждении значительное число таких электроприемников (пожарная сигнализация; вентиляторы подпора воздуха, дымоудаления; пассажирские лифты и подъемные платформы и т.д.).

II категория включает электроприемники, при перерыве электроснабжения их отключение приводит к нарушению нормального режима функционирования учреждений.

Чем надежнее электроприемник, тем короче допустимый перерыв электроснабжения, соответственно электроприемники I категории могут быть отключены только на время автоматического ввода резерва, т.е. на доли секунд. На необходимое для включения резервного питания дежурным персоналом или оперативной бригадой время можно отключать электроприемники II категории.

Третий независимый источник питания для особой группы электроприемников и для остальных электроприемников первой категории может быть представлен местной электростанцией, электростанцией энергосистемы, специализированными источниками специального назначения (с бесперебойным питанием), аккумуляторами и т.д.

Системы электроснабжения для питания электроприемников, исходя из требований надежности, также подразделяются на несколько видов, в том числе на СБЭ, СГЭ и СОЭ [2]. В многопрофильных лечебных учреждениях используют, как правило, все три системы электроснабжения. Более подробно СБЭ, СГЭ, СОЭ будут рассмотрены в разделе 2.

Система бесперебойного электроснабжения (питания) или СБЭ (СБП). Именно от нее электроприемники I категории получают питание. Термин «СБП» является более широким, но и термин «СБЭ» можно применять, так как его происхождение напрямую связано с источниками бесперебойного питания.

Система бесперебойного электроснабжения или (СБЭ) представляет собой устройство, которое обеспечивает энергией электросеть в случае отключения основных источников внешнего электроснабжения. Она работает за счет энергии, которая хранится в специальных аккумуляторах, и позволяет поддерживать нормальное функционирование электросистемы в течение определенного времени, пока не будет восстановлено внешнее электроснабжение или не будут включены резервные источники гарантированного электроснабжения. Кроме того, СБЭ позволяет обеспечить электроприемники электроэнергией, аналогичной по качеству нормальному режиму. СБЭ сохраняет безразрывность электроснабжения и возможность корректно завершить технологические процессы с сохранением информации и перейти на временный автономный режим работы. При этом, как отмечено ранее, качество электроэнергии соответствует требуемым показателям, а оборудование осуществляет функционирование с сохранением электромагнитной совместимости.

Система гарантированного электроснабжения (СГЭ) – это электроустановка, которая осуществляет электроснабжение потребителей при отключении основных источников питания. При нормальном режиме работы резервный источник отключен, и потребители II категории получают питание вместе с потребителями III категории напрямую от основных источников питания.

В качестве резервных источников питания на данный момент используют:

- источники бесперебойного питания (ИБП или UPS) – это система, состоящая из аккумуляторной батареи, зарядного устройства и инвертора. К достоинствам ИБП можно отнести практически полное отсутствие паузы при переключении на резервное питание и обратно, автономность и доступность технического обслуживания до момента износа аккумуляторной батареи. Недостатками ИБП являются зависимость времени работы от ёмкости батареи (в случае отсутствия

дополнительных источников электроснабжения ее невозможно зарядить), большой удельный вес и высокая стоимость (ИБП высокой мощности);

- солнечные батареи – альтернативный источник электроэнергии, высокая экологичность которого сопряжена с низким КПД (зависимость от климатических условий) и сложностью обслуживания, высокой стоимостью. Кроме того, их использование также требует наличия аккумулятора (для обеспечения работы в ночные часы и облачные дни, распределения потоков излучения) и инвертора;

- портативные гидроэлектростанции – относительно новое изобретение, которое пока не получило широкого распространения, так как нуждается в наличии поблизости быстротечной реки, разрешении местных органов власти и экологических организаций;

- газовые электростанции – адаптированные под использование газа бензиновые генераторные станции и станции с газопоршневыми двигателями. Бензиновые станции отличаются низким уровнем надёжности, они не защищены по умолчанию (в частности, от перегрева двигателя и утечки газа), их очень дорого автоматизировать и модифицировать. Станции с газопоршневыми двигателями рассчитаны на более высокие мощности (от 20кВт) и используются для электроснабжения населенных пунктов и крупных промышленных предприятий;

- ветряные электрогенераторы – еще один альтернативный источник электроэнергии, который имеет ряд недостатков: нуждается в определённых климатических условиях (ветер), удаленное местоположение (сопровождается звуковым излучением, в ряде случаев опасным для здоровья). Аналогично солнечным батареям нуждается в наличии аккумулятора и инвертора;

- бензиновые и дизельные генераторные станции – на данный момент наиболее распространённый источник резервного питания. К его

достоинствам относят высокую длительность работы с возможностью дозаправки, доступность топлива, большое разнообразие моделей (от недорогих ручных станций до полностью автоматизированных систем). Вышеуказанные достоинства нивелируют недостатки: шум, низкую экологичность, временные затраты на запуск и прогрев двигателя.

Проанализировав вышесказанное, можно отметить, что наиболее применимыми резервными источниками питания являются станции с газопоршневыми двигателями, бензиновые и дизельные генераторные станции.

Наиболее важное требование к резервному источнику питания – его независимость [13]. Независимость источника электроснабжения определяется многими факторами. Например, типом применяемого исходного топлива: если давление в топливной магистрали значительно упадет или вовсе подача природного газа прекратится, то электростанция с газопоршневыми двигателями не будет вырабатывать электроэнергию, следовательно, необходимо использовать еще один резерв в виде ИБП или бензиновой станции. Это скажется на финансовых затратах. Выбирая между бензиновым и дизельным генератором, необходимо учесть, что стоимость эксплуатации дизельного генератора ниже стоимости эксплуатации бензинового, причем дизельный генератор имеет больший ресурс. Следовательно, в зависимости от целей эксплуатации нужно приобретать тот или иной генератор: если необходима долгая и бесперебойная эксплуатация, то лучше приобрести генератор с дизельным двигателем, а если требуется небольшая мощность при редком использовании – бензиновый.

Медицинское учреждение относится, конечно же, к первому случаю: резервный источник должен обеспечивать электроснабжение в случае выхода из строя основного источника питания так долго, как это возможно, поэтому целесообразнее использовать генератор с дизельным двигателем.

Система общего электроснабжения (СОЭ) – это система электроснабжающей организации, которая обеспечивает электроэнергией различных потребителей.

1.3 Качественные требования к электроэнергии в многопрофильном лечебном учреждении

Проектируя медицинское учреждение, необходимо принимать во внимание показатели качества электроэнергии: их отклонения от нормируемых значений могут стать причиной выхода из строя медицинского электрооборудования ввиду нарушения условий эксплуатации.

Кроме того, колебания в системе часто вызваны самими электроприемниками с несимметричной и нелинейной нагрузкой. Такая особенность электроприемников связана с электромагнитной несовместимостью – т.е. неспособностью технического оборудования функционировать должным образом в созданной электромагнитной обстановке; в таких условиях средство генерирует недопустимые значения электромагнитных помех для остального оборудования.

Медленное изменение нагрузки вызывает отклонение напряжения от нормы. Существуют значения нормально допустимых отклонений напряжения на выводах приемников электрической энергии, которые составляет $\pm 5\%$ от номинального напряжения электрической сети, и значения предельно допустимых отклонений – их величина $\pm 10\%$ от номинала [3, 4, 5]. И понижение, и повышение напряжения оказывает негативное влияние на работу всех электроприемников сети. Асинхронные двигатели и осветительные лампы особенно чувствительны к отклонению напряжения. Если напряжение, подводимое к асинхронным двигателям, снижается, то происходит резкое уменьшение вращающего момента двигателя и значительный рост утечки электроэнергии пропорционально росту рабочего тока. Как известно, асинхронный двигатель способен саморегулироваться по

мощности: активная мощность двигателя практически не изменяется при изменении напряжения, т.е. величина тока изменяется (увеличивается/уменьшается) обратно пропорционально напряжению. Снижение напряжения инициирует активный рост реактивной мощности. Последняя рассеивается за счет реактивного сопротивления линий электропередачи и трансформатора.

Когда напряжение повышается, возрастает и потребляемая мощность, и световой поток люминесцентных ламп. Снижение напряжения соответственно уменьшает эти же показатели, однако не в столь значительной степени, как у ламп накаливания. Вообще, важно понимать, что любое отклонение напряжения (и отрицательное, и положительное) оказывает негативное воздействие на люминесцентные лампы: ухудшает зажигание, сокращает эксплуатационный срок и т.д. Такое качество люминесцентных ламп, как усиленное потребление реактивной мощности в случае увеличения подводимого к ним напряжения, признано существенным недостатком этих устройств.

Как и другое современное оборудование, медицинская аппаратура постоянно совершенствуется, модифицируется с применением передовых технологий и, в настоящее время, неразрывно связана с ЭВМ. Приборы подключены к компьютерам управления, позволяющим хранить электронные результаты анализов, исследований, диагностические аппараты работают по заданным программам, оснащены сенсорными дисплеями, термодатчиками, осуществляют связь с серверами, обновляют базы данных больных и т.д.

Эта связь вызывает и негативные последствия: скачки напряжения приводят к сбоям в работе оборудования, потере данных. Повышенное потребление тока при колебаниях напряжении вызывает отказ блоков питания (при пониженном напряжении), к перегреву оборудования (при повышенном напряжении). Изменения в напряжении электросети связаны с колебаниями нагрузки на сеть, которые могут происходить в течение нескольких секунд или даже полупериода. Такие колебания возникают из-за работы мощных

электроприборов, которые потребляют большое количество активной и реактивной мощности с резкими, импульсными изменениями [4]. Медицинское оборудование также относится к таким приемникам: это характерно для УЗИ, маммографов, электродвигателей при пуске, а также аппаратов, лечебное действие которых основывается на воздействии импульсов (аппарат магнитотерапии, электростимуляции, фонофореза, прибор ударно-волновой терапии и т.д.).

Когда значения колебаний напряжения повышаются более, чем на 15%, нормальная работа электродвигателей может быть нарушена, контакты магнитных пускателей могут отпадать и как следствие отключать работающие двигатели. Даже в пределах 10-15% колебания напряжения способны оказывать влияние на батареи конденсаторов, выводить их из строя [6]. Таким образом, колебания напряжения приводят к разнообразным негативным последствиям: отключению автоматических систем управления, повреждению оборудования, вибрациям в механизмах и многому другому [6].

Пульсация светового потока ламп освещения, вызванная колебаниями напряжения, называется фликером. В небольших дозах такое «мигание» просто утомляет, при длительном воздействии оказывает влияние на психосоматическое и физическое здоровье людей. Мера восприятия человеком пульсаций светового потока так и называется – дозой фликера. Максимально раздражающее воздействие фликера проявляется при следующих показателях: частота колебаний – 8,8 Гц, размах изменения напряжения – $\delta U_t = 29\%$. При этих показателях лампы накаливания пульсируют сильнее, чем газоразрядные лампы, поэтому в помещениях с лампами накаливания, которые имеют повышенную освещенность, размах изменения напряжения (δU_t) имеет более низкий уровень по сравнению с другими помещениями. В то же время, в помещениях с лампами накаливания, где проводится работа, которая требует значительного напряжения зрения, доза фликера (P_f) также имеет сниженную норму. Так, хирургическая операционная оснащена ярким, небликующим светом с четкими контурами

ламп и достаточной глубиной освещения. Именно поэтому при проектировании многопрофильных лечебных учреждений важно обратить пристальное внимание на мероприятия, снижающие колебания напряжения в сети. Кратковременная доза фликера P_{st} в точках общего присоединения потребителей электрической энергии с лампами накаливания в помещениях для процедур, выполняемых со значительным зрительным напряжением, при колебаниях напряжения с прямоугольной формой равна 1,0. Для длительной дозы фликера P_{Lt} в этих же точках предельно допустимое значение составляет 0,74 [6].

Под влиянием неравномерного распределения нагрузок в трёхфазной сети возникает несимметрия напряжений. Вероятной причиной несимметрии напряжений [4] являются несимметричные потребители электроэнергии с разным числом фаз (однофазные и двухфазные) и симметричные потребители (трехфазные). Несимметрия напряжений может привести к сокращению срока службы оборудования, например, силовых трансформаторов. Эксплуатация потребителей с 1-ой, 2-мя и 3-мя фазами в условиях ненормального режима напряжения вызывает тот же эффект, что и отклонение напряжения. Конденсаторные батареи также подвержены воздействию несимметрии напряжения. Разница в значениях напряжения фаз изнашивает аппаратуру. В качестве примера этого отрицательного воздействия рассмотрим обычную лампу накаливания, которую подключили на фазу с повышенным напряжением, в результате чего ее освещенность возрастет, но срок эксплуатации при этом значительно снизится. Релейная защита и автоматика медицинской техники также страдает от несимметрии напряжений: возникают ложные срабатывания на сигнал или отключение.

Когда синусоида (форма кривой напряжения) искажается, то такая кривая характеризуется несинусоидальностью напряжения. Искажение возникает по причине падения напряжения на фоне протекания по элементам электрической сети тока, потребляемого электроприёмниками с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Такое искажение синусоидальной формы

напряжения можно наблюдать при перегрузке трансформатора: при работе в близком к насыщению режиме или на фоне бесперебойного питания от батарей. Напряжение способно изменять форму от меандра (прямоугольная) до практически чистой синусоиды. Несинусоидальные линии напряжения способны нарушить изоляцию кабельных линий электропередач (и конденсаторов) и привести к однофазным коротким замыканиям на землю. Всё это оказывает негативное воздействие на электрические машины, в том числе и трансформаторы: приносит значительные суммарные потери, возбуждает рост неучтённой электроэнергии, вызванный тормозящим воздействием гармоник обратной последовательности на индукционные счётчики, формирует ошибки в работе устройств управления и защиты, выводит из строя компьютеры и другую высокотехнологичную технику.

При недостаточной мощности электростанций системы происходит снижение частоты. Большие аномалии частоты появляются в результате медленного систематического изменения нагрузки при недостаточном запасе активной мощности. Отклонение частоты – изменение фактической частоты переменного напряжения (f_{ϕ}) относительно номинального значения ($f_{\text{ном}}$) в установившемся режиме работы системы электроснабжения [4]. Если частота в электроэнергетической сети отклоняется от номинальной, то это может привести к увеличению утрат активной мощности в сети и увеличению потребления активной и реактивной мощностей. Снижение частоты на 1% может привести к утечкам в сети на 2%.

Пониженная частота может также негативно сказаться на работе электротехники, такой как электродвигатели, трансформаторы, реакторы с железными магнитопроводами и т.д. Это связано с увеличением тока намагничивания в агрегатах со сталью и дополнительным нагревом стальных сердечников.

Отказы оборудования могут происходить из-за ЭМПП. Причина возникновения ЭМПП, это классический переходный процесс (ПП) которые возникают в сети при переходных процессах. Диапазон длительности ПП

варьируется от нескольких периодов, до нескольких секунд, а частота ЭМПП на пике значений может достигать величины равной 10-12 МГц.

Не существует какого-либо эталонного численного значения помехи, но ее принято рассматривать как нарушение электросовместимости.

Резкое увеличение напряжения продолжительностью менее 10 миллисекунд называется импульсом напряжения. Импульсное напряжение возникает во время грозы при коммутациях (в том числе при выключении токов КЗ) такого оборудования, как трансформаторов, движков, конденсаторов и кабелей. Например, отключение разделительного трансформатора мощностью 1 кВт сети 220/220В вызывает выброс высоковольтного импульса напряжением всей накопленной трансформатором энергии (до 2 кВ). Коммутационные импульсы в сети 380 В составляют не более 4,5 кВ.

Если питание на трансформаторную подстанцию 10/0,38кВ подается посредством воздушных линий электропередач, то возможно появление грозового импульса в кабельной сети, который проникает в нее вместе с воздухом, так бывает, например, в сетях сельской местности. Городские сети, как правило, не подвержены возникновению грозового импульса, так как линии высокого и низкого напряжения являются кабельными.

Внезапное и значительное повышение напряжения (более 110% $U_{НОМ}$) длительностью более 10 миллисекунд называют временным перенапряжением, которое возникает при коммутации оборудования и при коротких замыканиях на землю.

Если в трехфазной сети с $U_{НОМ} < 1000$ Вольт происходит обрыв нулевого рабочего проводника, который заземлен, то возникает временное перенапряжение между фазой и землей. Это перенапряжение может достигать уровня межфазного напряжения и продолжаться до нескольких часов, особенно если нагрузки на фазах несимметричны. Такой обрыв может привести к сбоям в работе оборудования, сократить их срок службы и вызвать

нарушение рабочего режима, а в крайних случаях даже привести к возгоранию электрооборудования и электроприемников.

Также вредны и провалы напряжения с последующим восстановлением напряжения – внезапные значительные снижения напряжения (менее 90 % $U_{ном}$), длящиеся до нескольких десятков секунд. Причин таких провалов напряжения может быть несколько: во-первых, это срабатывание средств защиты и автоматики во время непогоды и ложные срабатывания защиты, во-вторых, возникновение короткого замыкания (КЗ) и в-третьих, ошибочные действия оперативного персонала.

Увеличение мощности энергосистемы и количества воздушных линий вроде бы должны повышать надежность электроснабжения, но существует парадокс: это может иметь и негативные последствия, так как они могут снизить надежность функционирования сложных электронных систем управления и повысить число отказов помехочувствительных электроприемников. Когда дело касается медицинской техники, то это недопустимое явление.

Низкое качество электроэнергии может привести к поломке устройств компенсации нелинейных, несимметричных и ударных нагрузок, что может вызвать асимметрию колебаний и гармоник напряжения. Это может привести к ложному срабатыванию релейной защиты, аварийному отключению оборудования или другим негативным последствиям. При наличии гармоник и сбоя в передаче информации по силовой цепи могут быть поданы неверные команды управления коммутационной аппаратурой.

Как было замечено ранее, разнообразное электрооборудование многопрофильных лечебных учреждений в той или иной мере подвержено возможным неполадкам в энергоснабжении разной степени исходя из вида возникающих искажений. Эти неполадки оказывают существенное влияние на качество электроэнергии: чем выше аварийность электросети, тем ниже показатели качества электроэнергии, даже если они лежат в допустимых интервалах.

Мероприятия по обеспечению качества электроэнергии в многопрофильных лечебных учреждениях, которые необходимо предусматривать на стадии проектирования, рассмотрены в разделе 2.

1.4 Требования многопрофильного лечебного учреждения к безопасности электроснабжения

При проектировании многопрофильных лечебных учреждений очень важно обратить особое внимание на безопасность электропитания медицинских помещений. Недостаточная обеспеченность требований безопасности может нанести тяжелые и даже летальные последствия для здоровья пациентов.

Всё электрооборудование разделяют на 4 группы по классу защиты (рисунок 2) [3]:

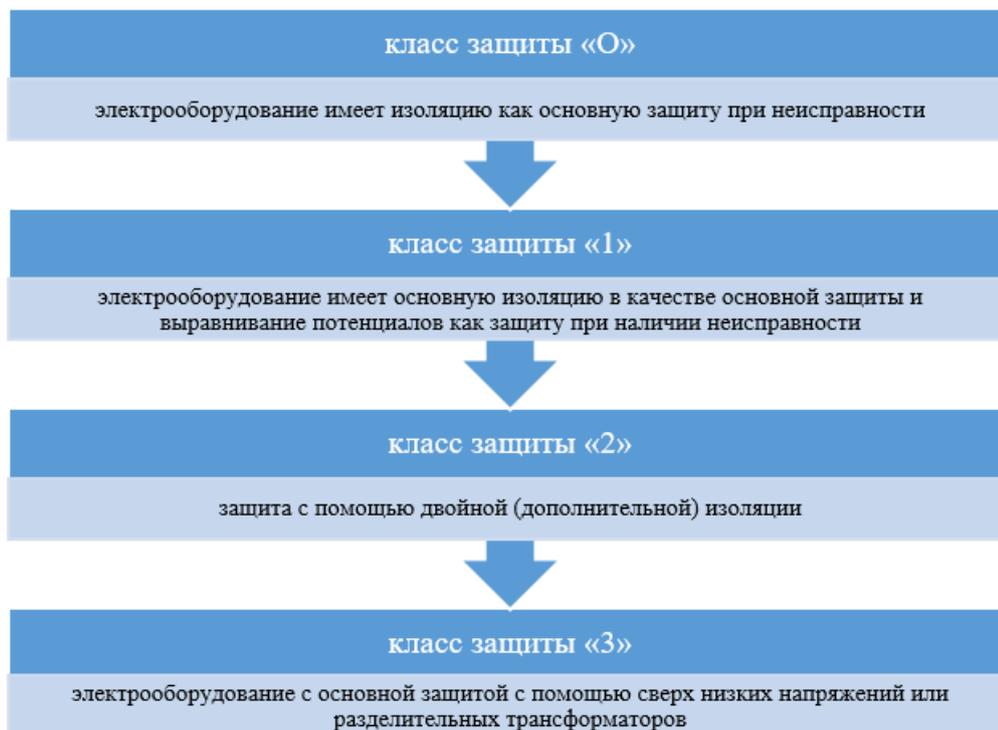


Рисунок 2 – Классы защиты электрооборудования по уровню электробезопасности

Уровни электробезопасности классов принципиально отличаются. Электрооборудование с классом защиты «О» не отключается при повреждении изоляции, а значит, подвержено возникновению опасности удара током человека. Если происходит повреждение и замыкание в электрической сети с классом защиты «1», то происходит защитное отключение, которое осуществляется с помощью автоматического выключателя или УЗО.

К медицинским помещениям относят диагностические кабинеты, операционные комнаты, амбулаторные палаты и другие помещения, выполняющие аналогичные функции. То есть, в медицинское помещение – это и лифт, и хозяйственные пристройки и многое другое. Каждое из указанных помещений имеет свои специфические требования к защите от поражения электрическим током. Однако, общей практикой для всех является использование различных видов защиты, таких как защитное заземление, изоляция проводов, применение защитных устройств и т.д. В случае защиты от прямого прикосновения к электрическим элементам, используется основная изоляция, недостижимое для человеческого тела размещение оборудования и помещение электроприборов в специальную оболочку, кожух. Специфика лечебных учреждений запрещает использование различных ограждений и барьеров как основной меры электрозащиты. При повреждении изоляции электроустановки можно избежать косвенного прикосновения, если использовать специальные виды защиты. К ним относятся автоматическое отключение, система с изолированной нейтралью и система уравнивания потенциалов. Они позволяют предотвратить возможные опасности для человека при косвенном прикосновении.

К преимуществам IT сети или сети с изолированной нейтралью относят ее повышенную безопасность. Эта ситуация возникает, когда человек одновременно касается заземленного корпуса электрооборудования и одного из силовых выходов разделительного трансформатора (рисунок 3) токовый контур не возникает, следовательно, такая сеть безопасна для человека относительно поражения электрическим током. IT-сеть характеризуется

повышенной надежностью, потому что первичный пробой ее изоляции не считается аварийным. Короткое замыкание на заземленный корпус выхода трансформатора приводит к тому, что IT-система, имеющая изолированную нейтраль, становится TN-системой с глухозаземленной нейтралью (рисунок 3). В этом случае сеть не представляет опасности как для людей (поражения электрическим током), так и для оборудования (повреждение); продолжается работа потребителей в штатном расписании.

IT - сеть является перспективным вариантом для использования в медицинском лечебном учреждении в качестве системы ЭСН. Она удовлетворяет всем критериям по электробезопасности для различных помещений разной категории надежности потребителей, начиная с третьей и заканчивая особой группой первой категории.

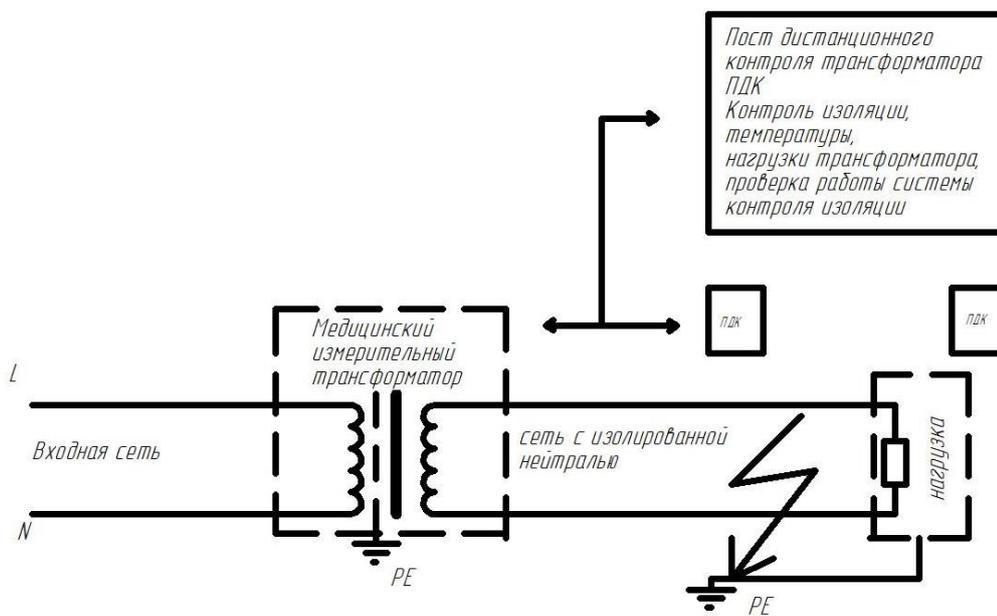


Рисунок 3 – IT (изолированная) сеть

В медицинских учреждениях используются IT-сети, которые защищены разделительным трансформатором с несколькими постами ПДК. Если происходит авария фазного или нейтрального провода (попадание молнии) электрический удар невозможен, так как замкнутый токовый контур

отсутствует и возникает короткое замыкание трансформатора на заземленный корпус, то сеть переходит в TN-режим с глухозаземленной нейтралью [9].

Сеть с изолированной нейтралью характеризуется низкой пожароопасностью, так как при пробое изоляции величина тока повреждения крайне мала. Опасность возгорания в таком случае практически отсутствует, что особенно ценно для помещений с горючими жидкостями и медицинскими газами.

Еще одно неоспоримое преимущество IT-сетей – их надежность. Электрооборудование в них (изолирующий трансформатор с экранированием) крайне эффективно для подавления помех и обеспечения «выделенной» сети электроснабжения для жизнеобеспечивающих систем [10].

И наконец, легкость контроля и диагностики такой сети также считается еще «плюсом». Изоляция, температура и ток нагрузки – все эти показатели легко отслеживаются, обнаруживаются системой управления, что помогает диагностировать и устранять неисправности электросети [11].

Все вышеперечисленное свидетельствует о более высоком уровне безопасности IT-сети обладает по сравнению с TN-сетью. Процедуры и операции в условиях применения современных технологий в области медицины протекают с использованием множества электрических приборов. Система электроснабжения с глухозаземленной нейтралью может стать причиной электрического поражения или сбоя в питании, если изоляция будет нарушена. Это может стать критическим фактором при сохранении здоровья и жизни работников и пациентов. IT-сеть позволяет избежать возникновения такой опасности за счет перехода в разряд сети с глухозаземленной нейтралью при первичном нарушении изоляции, которое не сопровождается негативными последствиями.

Более подробно медицинская система IT, система уравнивания потенциалов, разделительные трансформаторы рассмотрены в разделе 2.

Выводы по разделу 1. Проанализированы основные классы защиты электрооборудования по уровню электробезопасности, относящиеся к многопрофильному лечебному учреждению. Проанализированы качественные требования к электроэнергии в многопрофильном лечебном учреждении. Рассмотрена структура многопрофильного лечебного учреждения. Произведен анализ двух схем соединения с нейтральным проводником с помощью системы IT (изолированная нейтраль) и системой TN (система с глухозаземленной нейтралью) в результате которого было выявлено что система с изолированной нейтралью (IT) обладает более высоким уровнем безопасности чем система с глухозаземленной нейтралью (TN), так как система электроснабжения с глухозаземленной нейтралью может стать причиной поражения электрическим током, в аварийной ситуации если изоляция проводников будет нарушена. Система (IT) характеризуется низкой пожароопасностью, если изоляция проводников будет нарушена, то ток в месте повреждения будет незначительным.

2 Разработка обобщенной схемы электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения

2.1 Система бесперебойного электроснабжения

2.1.1 Общая характеристика системы бесперебойного электроснабжения

Система бесперебойного электроснабжения – это электроустановка, предназначенная для автономного обеспечения электроприемников электроэнергией, если основные источники вышли из строя по каким-либо причинам. Система способна обеспечить период работы (минимальное время), которого хватит на запуск системы резервного электроснабжения, например, бензиновой генераторной станции.

СБЭ базируется на источниках бесперебойного питания, которые отличаются техническими характеристиками, мощностью и конструкцией, но выполняют общую функцию: обеспечивают надежное и стабильное наличие электроэнергии. Когда речь заходит о многопрофильных лечебных учреждениях, то лучше использовать ИБП со способностью поддерживать должный уровень качества электроэнергии на входе электроприемника в нормальном режиме работы системы внешнего электроснабжения. Если же качество электроэнергии будет недопустимым, то источник отреагирует переходом системы в автономный режим, то есть режим питания от батарей. Изменение качества связано в первую очередь с напряжением δU , которое на входе в ИБП не должно выходить за установленные рамки, иначе система опять-таки переключится на автономный режим работы. Это самый проблемный фактор ИБП, так как они достаточно невосприимчивы к остальным нарушениям показателей качества электроэнергии.

Для СБЭ характерны следующие показатели: установленная мощность, избыточное резервирование и время автономной работы. В целом номинальная мощность ИБП зависит от расчетной мощности и степени

избыточного резервирования. Если последнее максимально, то СБЭ включает два источника бесперебойного питания - рабочий и резервный. Это не самый популярный вариант ввиду дороговизны. А вот самый распространенный способ резервирования – это N+1 или схема «горячего резерва». Она называется именно так, потому что резервируется только часть мощности ИБП, находящегося под нагрузкой, которая и будет использоваться если рабочий источник выйдет из строя. Можно построить система бесперебойного энергоснабжения вообще не резервируя мощность, но обычно так не делают по причине того, что практика и теория сильно отличаются: по идее время автономной работы на номинальной нагрузке зависит только от емкости аккумуляторных батарей, но в реальной энергоустановке оно сильно возрастает как раз из-за избыточного резервирования и дискретности шкалы номинальных мощностей.

2.1.2 Основные принципы построения систем бесперебойного электроснабжения МЛУ

Итак, подход к строительству СБЭ и выбору схем зависит от таких факторов, как требования к надежности работы системы, количество фидеров, необходимая мощность.

Обычно выделяют две классические системные структуры: распределенная (электроприемник питаются от отдельных ИБП (рисунок 4)) и централизованная (питание от мощного ИБП (рисунок 5)) [13,36].

К достоинствам распределенной системы можно отнести простоту применения (возможно подключение ИБП малой мощности прямо в розетку, расположенную в помещении), легкость настройки, возможность только частичного отключения для замены вышедшего из строя ИБП, логистическую простоту (не нужно выделять специальное помещение). Централизованная СБЭ и распределительная СБЭ имеют общие характерные признаки. Ниже мы рассмотрим каждую систему по отдельности.

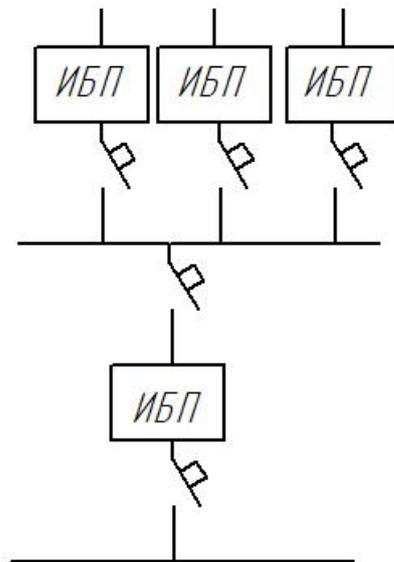


Рисунок 4 – Распределительная СБЭ

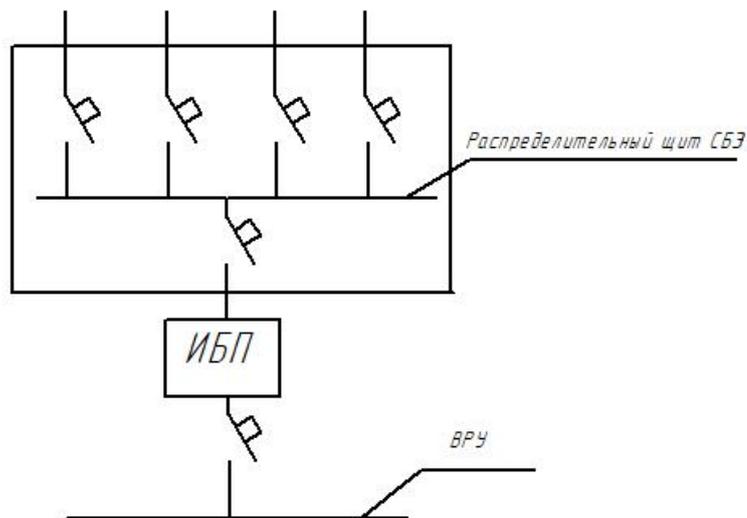


Рисунок 5 – Централизованная СБЭ

У распределенной системы также есть недостатки. Из-за того, что все ИБП не могут выдать номинальную нагрузку, установленная мощность используется неэффективно, а время автономной работы для всех нагрузок разное. Если будет подключена дополнительная нагрузка или произойдет КЗ в цепи, то есть вероятность столкновения с недостаточной перегрузочной

способностью системы.

Нейтральный проводник, как правило, предназначен для возврата тока от нагрузки к источнику питания. Однако в некоторых случаях в нейтральном проводнике могут появляться токи, превышающие токи фазовых проводников. Это может привести к перегрузке нейтрального проводника и нарушению электромагнитной совместимости всей системы. Нельзя избежать этих возникновений, ни создав максимально симметричную нагрузку, ни используя режим offline или line-interactive [35].

У централизованной структуры СБЭ есть плюсы (высокая эффективность установленной мощности ИБП и емкости батарей, устойчивость к перегрузкам), отсутствие перегрузок нейтрального проводника на участке от ввода до ИБП. В автономном режиме СБЭ работает значительно дольше, чем распределенная (из-за плана «деградации»). Также в централизованной системе не возникает перегрузки. Недостаток централизованной системы (самый существенный) – это невозможность абстрагироваться от распределительной сети бесперебойного электроснабжения или ИБП, следовательно, их поломка приводит к нетрудоспособности всей системы.

Системы редко встречаются в эксплуатации сами по себе, чаще всего используется совмещение централизованной (снабжение электроэнергией оборудования с однородной структурой) и распределенной системы (рисунок 6).

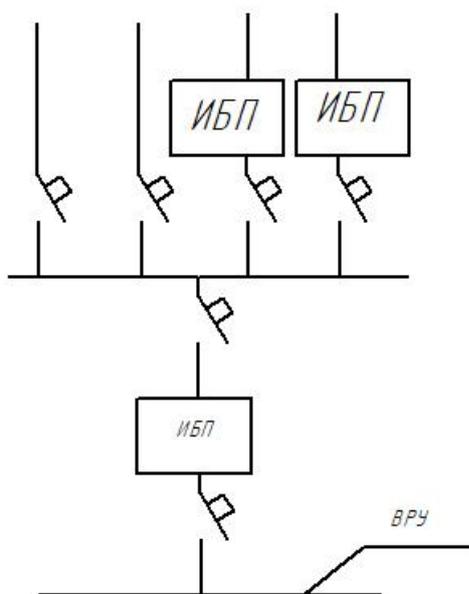


Рисунок 6 – Двухуровневая СБЭ

Под надежностью системы понимается совокупность явлений, обеспечивающих сохранение режима работы системы в целом, даже если в ней вышли из строя некоторые компоненты. В надежность системы также включаются поиск и замена этих компонентов для восстановления работоспособности всех элементов.

СБЭ устойчива к отказам из-за ранее описанного принципа N+1 (двухуровневая схема электроснабжения и избыточность комплекса ИБП). Чтобы работа системы продолжалась даже в случае отказа одного или нескольких ее элементов, важнейшие компоненты системы подвергаются резервированию. Параллельный комплекс из мощных трехфазных ИБП продолжит функционировать при отказе одного из них (рисунок 7). Количество ИБП определяется так, чтобы исправные источники, оставшиеся в работе при неисправности других, продолжили питать нагрузку согласно принципу RPA – Redundant Parallel Architecture [7].

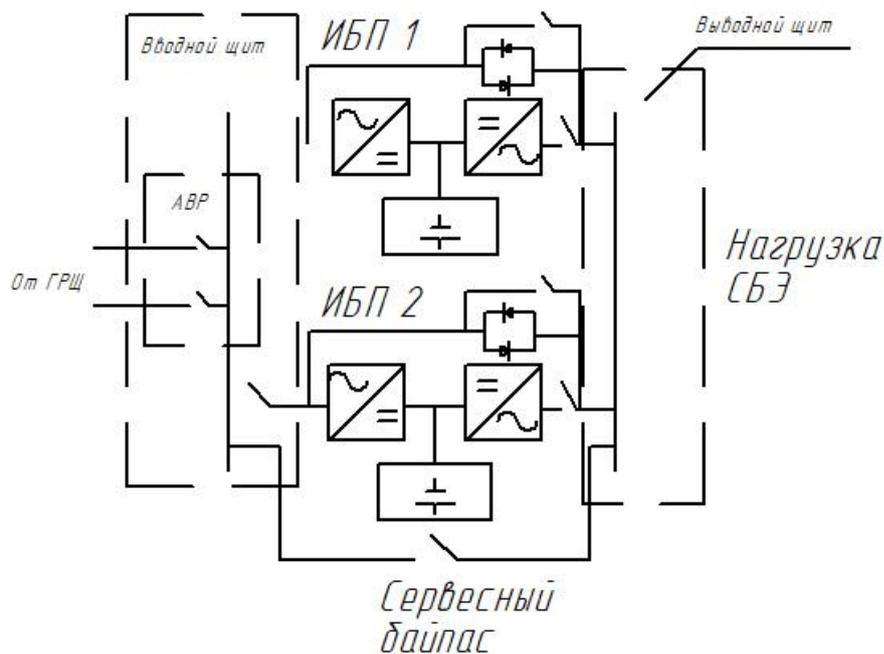


Рисунок 7 – Параллельный комплекс ИБП

Можно построить параллельный комплекс двумя способами. Первый способ – централизованный. Постройка производится путем создания статического переключателя обходной цепи байпаса (объединительного блока). Этим переключателем учитывается вся выходная мощность комплекса. Второй способ называется модульным или децентрализованным. Схема, что вытекает из названия, строится без общего блока. Таким способом можно без ограничений укрупнять комплекс путем добавления новых источников бесперебойного питания. В наше время преимущественно используется именно второй метод [12].

Эта система управления не имеет единого центра управления, который бы управлял централизованной или модульной структурой. Блок управления, который синхронизирует работу параллельного комплекса в источниках бесперебойного питания (ИБП), может быть заменен на любой аналогичный, что обеспечивает простоту и надежность системы в случае поломки. Если какой-либо элемент выходит из строя, его можно легко заменить или отремонтировать, не прерывая нормальной работы системы. Поэтому

параллельный модульный комплекс без объединительного блока с резервированием шины управления является наиболее популярным выбором, включая в сетях медицинских учреждений [8].

Помимо параллельной схемы СБЭ возможно и построение последовательной схемы: резервирование осуществляется через добавление резервного ИБП на вход байпаса (рисунок 8). Несмотря на наличие включённого резерва, в рабочем процессе он не участвует. Последовательный способ применяют в зданиях, не допускающих параллельной централизованной СБП (ее там просто негде разместить). Тогда как последовательный метод используется, когда нужно разместить ИБП в небольших, не специально созданных помещениях в поликлинике [14].

Электрическая схема СБЭ в режиме работы Ву-pass имеет ряд преимуществ, перед электрической схемой параллельного комплекса ИБП.

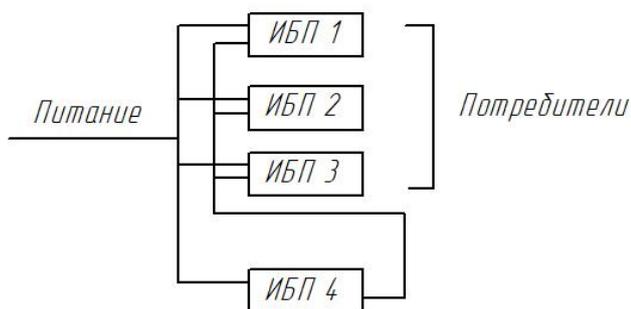


Рисунок 8 – Электрическая схема СБЭ в режиме работы Ву-pass

На рисунке 9 изображена схема последовательного «горячего резерва». Именно они являются «родоначальниками» отказоустойчивых систем. На данный момент такие схемы несколько утратили актуальность из-за появления систем RPA и наличия изъянов, которые отсутствуют в параллельных системах.

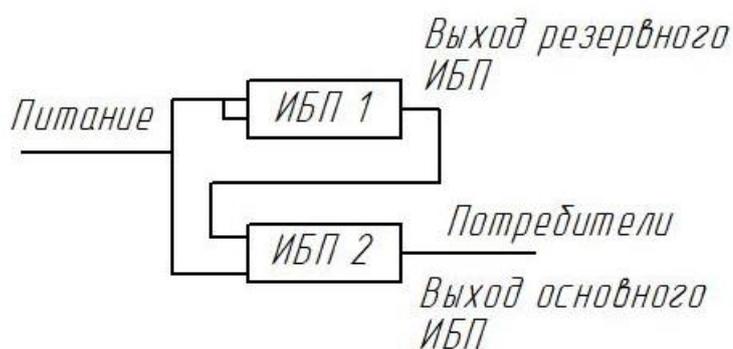


Рисунок 9 – Электрическая схема соединений «горячего резерва»

Проектирование многопрофильных лечебных учреждений подразумевает ряд требований: «Медицинские учреждения необходимо обеспечивать аварийными источниками электропитания, которые позволяли бы поддерживать нормальную работу медицинского оборудования в течение заданного периода времени и время приведения в действие которых не превышало бы времени, установленного соответствующими нормами. Если на одном или нескольких линейных проводниках главного распределительного устройства напряжение понизится более чем на 10 % относительно номинального, должна автоматически включаться система аварийного электроснабжения. Переключение электропитания должно происходить с задержкой времени, достаточной для нормального срабатывания коммутационных аппаратов и предотвращения ложных срабатываний» [3].

Выделяют следующие СБЭ (по времени и скорости переключения):

- системы, которые переключаются за время менее половины секунды. В поликлиниках такие системы позволяют сохранить освещение в процессе операционного вмешательства, автономное питание длится более 3 часов [16];
- системы со временем переключения от 0,5 до 15 секунд. В поликлинике они отвечают за аварийный свет, лифты, дымоотвод, мед. оборудование для подачи газа, введение анестезии, функционирование системы пожарной сигнализации и пожаротушения. Такие системы

поддерживают электропитание максимум в течение суток. Период может быть значительно короче, около 3 часов, в случае если особенность медицинского учреждения дает возможность на протяжении данного периода завершить все без исключения неотложные операции и эвакуироваться [17];

- системы, которые переключаются в временном диапазоне от пятнадцати секунд. Это обеспечение работы оборудования, которое не относится к наиболее важным для подключения и обычно используется в вспомогательных целях (стерилизаторы, кондиционеры, холодильники, зарядные устройства и т.д.). Время питания составляет минимум 24 часа.

Если основная питающая сеть окажется неисправной, освещение обеспечит аварийная. Важно, чтобы аварийное освещение сработало не более, чем через 15 секунд после отказа, так как именно оно нужно для подсветки эвакуационных выходов и путей, освещения аварийного электрооборудования (например, генераторов) и других жизненно важных объектов многопрофильного медицинского учреждения [19].

Система аварийного электроснабжения должна иметь возможность переключения на источник питания в течение 15 секунд. Этот источник может быть представлен либо резервным вводом с другого трансформатора на подстанции, либо источником бесперебойного питания (ИБП). Другие варианты невозможны, так как в других случаях минимальное время переключения слишком велико, например, переключение на дизель-генератор «горячего резерва» займет 1-1,5 минуты, так как двигатель нужно прогреть вхолостую во избежание глушения [20].

Таким образом, для многопрофильного медицинского учреждения выбирать следует параллельные и двухуровневые (избыточные) схемы СБЭ (второй уровень – оборудование для операций, проведения реанимации, обеспечение функционирования палат интенсивной терапии и т.д.).

2.2 Система гарантированного электроснабжения

Система гарантированного электроснабжения (СГЭ) называют запасную аварийную систему. Она обеспечит работу сети и будет эксплуатироваться, когда основные источники питания выйдут из строя. В качестве системы гарантированного энергоснабжения часто используют дизель-генераторные установки (ДГУ), входящие в состав дизель-электрической станции (ДЭС). Когда ДГУ запускаются, фидеры особой группы I категории надежности снабжаются электричеством от аккумуляторов ИБП. На рисунке 10 можно увидеть, как функционирует комплекс СБЭ-СГЭ во время аварийного отключения питания и после ликвидации неполадок [21].

Работа комплекса СБЭ-СГЭ начинается с момента отказа основного питания и перехода на питание от ИБП. Фидеры особой категории питаются от аккумуляторов (указано выше). Затем менее чем за 2 минуты запускается и выходит в номинальный режим ДГУ, обеспечивается питание системы с нормальной нагрузкой. Вся система бесперебойного энергоснабжения автоматически переключается на питание от дизель-генераторной установки, которая также питает источники бесперебойного энергоснабжения, а те в свою очередь подзаряжают аккумуляторы.

Когда основное питание восстановлено, фидеры переходят на СОЭ, а работа ДГУ прекращается вплоть до возникновения новой аварии.

Работа СГЭ и СБЭ сильно зависит от времени автономности. Для первой системы оно определяется объемом дизеля, то есть объемом баков, для второй – емкостью аккумулятора.

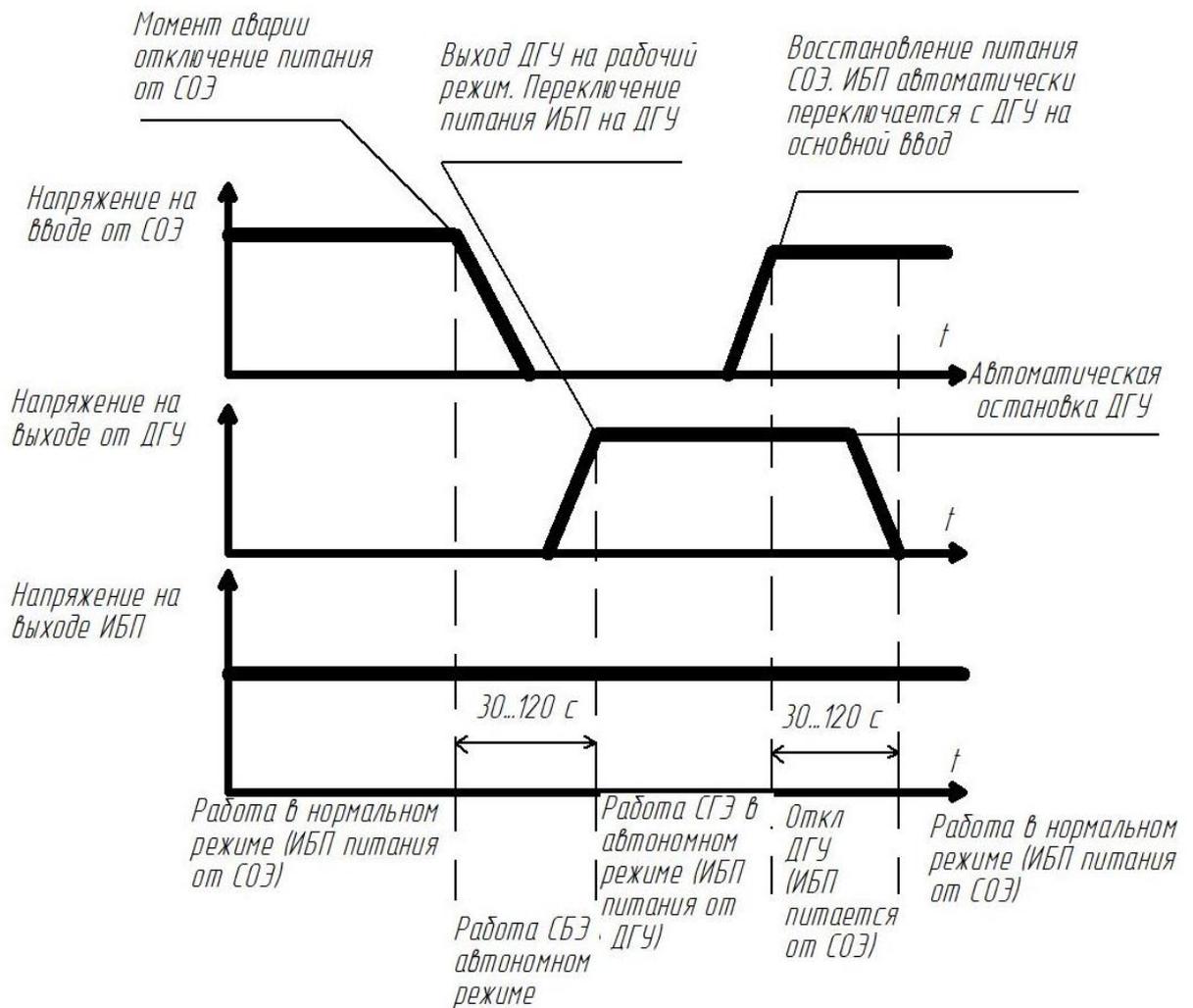


Рисунок 10 – Временная диаграмма работы комплекса СБЭ-СГЭ

Проектирование системы гарантированного электроснабжения подразумевает необходимость выделения отдельной секции шин 0,4 кВ для нагрузки потребителей I и II категорий, в результате чего удастся оптимизировать установленную мощность ДГУ и повысить отказоустойчивость системы.

АВР – это устройство автоматического ввода резерва, которое автоматически переключает питание на дизель генераторную установку, когда отказывает основной источник. Самыми распространенными АВР являются электромеханические устройства на контакторах. Они характеризуются высокой скоростью действия (от 10 до 100 миллисекунд) и уступают только

тиристорным.

АВР отличаются большим разнообразием схем, но все они подразделяются на двухвходовые (рисунок 11) и трехвходовые (рисунок 12) [13].

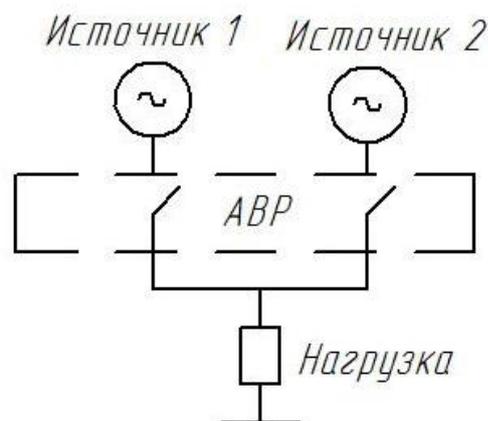


Рисунок 11 – Схема двухвходового автоматического включения резерва

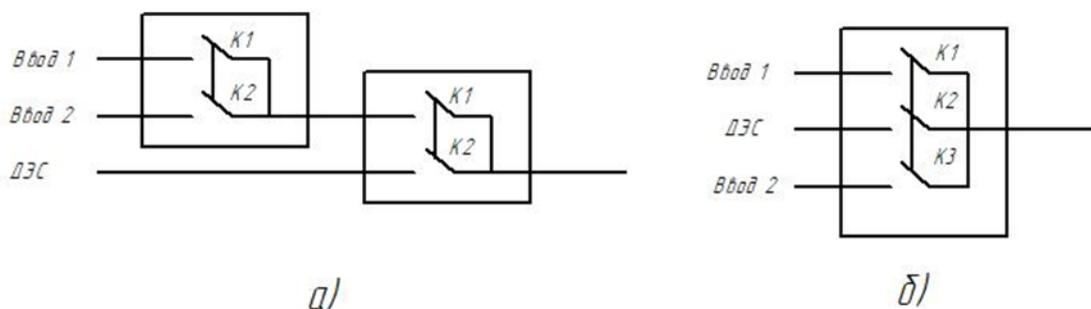


Рисунок 12 – Схема трехвходового автоматического включения резерва:
а) трехвходовое АВР с механической блокировкой на базе двухвходовых;
б) трехвходовое АВР с механической блокировкой.

Двухвходовая и трехвходовая АВР помимо электрической блокировки характеризуются механической блокировкой контакторов – классический механизм из рычагов, очень нежидный и долговечный, количество вводов в нем, по сути, бесконечное (если только не выйдет из строя автоматика, управляющая контакторами).

Двухвходовая и трехвходовая АВР позволяют отслеживать уровень напряжения, отрегулировать задержки и регулировать действие ДЭС. В обычном режиме, автоматическая система контролирует напряжение, которое поступает на вход. Если это напряжение существенно падает (выходит за установленные границы), то это сигнализирует о неисправности и приводит к отключению питания устройства, а также к переключению нагрузки на другой вход с допустимым напряжением. Если напряжение пропало совсем ненадолго или величина его отклонилась незначительно, то переключения на резервный вход не произойдет – существует специальная временная задержка. Сигнал запуска ДГУ выдастся после этой самой отсрочки, если вводы все же отключились (благодаря регулируемой работе генератора).

При проектировании системы гарантированного электроснабжения (СГЭ) необходимо рассчитать мощность, которая должна обеспечивать корректную работу системы даже при малых нагрузках, а также учитывать отказоустойчивость и взаимодействие комплекса источников бесперебойного питания (ИБП) и дизель-генераторной установки (ДГУ). Все эти задачи взаимосвязаны и должны быть учтены при расчете мощности СГЭ.

При проектировании резервных дизель-генераторных установок (ДГУ) очень важно учитывать определенные факторы, которые могут повлиять на их эффективную работу в критических ситуациях, необходимо предусмотреть тот факт, что система ДГУ в течение длительного времени должна надежно и стабильно работать в режиме малых ли вообще отсутствующих нагрузок [34]. Это очень важно, ведь неравномерность загрузки ДГУ (и временная, и с точки зрения величины напряжения) может стать проблемой. Современные дизельные двигатели работают при нагрузке от 25 до 40% номинальной 1-2 часа, иногда 15-30 мин, из-за чего его нужно прожигать на нагрузке от 70 до 80% величины номинальной [22].

Поэтому работа дизельной электростанции на самых разных мощностях поддерживается установкой дизель-генераторных установок, добавлением грамотного управления. Последнее позволит при повышении нагрузки

последовательно и автоматически ввести в работу новые элементы с необходимыми значениями и тут же остановить их при спаде нагрузки. ДГУ в системах характеризуются разной мощностью и разными пределами минимальной нагрузки. На дизельной электростанции она в первую очередь связана с теми же характеристиками запущенной в систему дизель-генераторной установки. Когда резервная дизельная электростанция состоит из одинаковых и одновременно включенных ДГУ, только одной из них хватит мощности, чтобы обеспечить всю расчетную нагрузку. Эта нагрузка будет подключена к той ДГУ, которая первой вошла в режим готовности к приему после команды «пуск». Оставшиеся ДГУ прекращают работу после временной выдержки. Это очень надежный и в то же время самый затратный вариант дизельной электростанции. Таким образом, сразу несколько ДГУ сильно понижают величину разрешенной минимальной нагрузки, но не снижают высокую стоимость оборудования, не облегчают использование аппаратуры. При этом минимально допустимая нагрузка хоть и снижается, но не способна дойти до холостого хода.

Параллельный режим работы генераторов предъявляет требования по выполнению специальных условий, обязательных для включения генераторов ДЭС на параллельную работу без возникновения аварийной ситуации и стабильной, безопасной работы нескольких ДЭС в процессе эксплуатации. К ним относятся такие условия, как одинаковое чередование фаз, равенство выходных напряжений и частот.

Помимо проблем, связанных с минимальной нагрузкой, сам ее характер (индуктивный или ёмкостной) может создать гармонические искажения тока. Если ДГУ учитывает всю активно-индуктивную нагрузку, а график потребления тока – это синусоида, то перед нами идеальные условия, математическая модель, воспроизвести которую в реальной жизни, невозможно. Чтобы избежать ошибок в работе, необходимо согласовать работу ДГУ и ИБП, и даже это не станет всё учитывающим решением проблем, но по крайней мере (Это означает, что при проектировании резервных

источников электропитания необходимо учитывать все параметры ИБП, чтобы уменьшить уровень гармонических искажений, вызванных работой выпрямителя ИБП. Расчет всех параметров, включая количество импульсов выпрямителя и фильтр гармоник, поможет достичь этой цели. [33]).

Токи гармоник и как следствие искажения напряжения возникают именно из-за выпрямителя ИБП. Так как напряжение нестабильно, возникают всяческие проблемы в системе энергоснабжения: перегрев аппаратуры, потери в компенсаторах, искажение номинальных параметров двигателей и др [23].

Есть разные способы подавить гармонические искажения. Первый способ важно использовать еще до строительства распределительной сети – это внедрение в сеть разделительного трансформатора, отделяющего ИБП от остальной техники. Еще есть особые фильтры, подавляющие гармоники или увеличивающие число импульсов выпрямителя (двухмостовые выпрямители или фазосдвигающие трансформаторы). Последние два способа нужны далеко не всегда, так как фильтры не сочетаются с дизель генераторной установкой из-за их ёмкостного характера сопротивления. При нем ДГУ включать запрещено.

Вообще, использование ДГУ связано с соблюдением многих правил. Во-первых, от 10 до 35% номинального значения индуктивного сопротивления генератора составляет переходная реакция генератора. Это позволяет без проблем управлять генератором при минимальной величине. Когда напряжение искажается из-за токов гармоник выпрямителя, то величина переходной реакции генератора будет также влиять на работу системы. Во-вторых, от конфигурации ИБП зависит число искажений. Оно должно быть минимальным, иначе неправильная работа регулятора напряжения генератора снизит стабильность и качество электроснабжения. Третий важный фактор – подавление токов гармоник. Если этого не делать, то система будет подвержена влиянию негативным факторов: потерям или перегреву трансформатора. Для предотвращения токов на генераторе не рекомендуется использовать фильтры, так как это может привести к поломке регуляторов или

перенапряжению в цепи. Вместо этого рекомендуется использовать 12-импульсный двойной мостовой выпрямитель, при условии, что учитываются мощность и характер нагрузок генератора, чтобы избежать всех этих проблем [24].

Режим малых нагрузок неразрывно связан с мероприятиями по обеспечению достаточной нагрузки двигателя. Обеспечить необходимую мощность потребления от ДГУ позволяют неотключаемые нагрузки – специальные реостаты. Энергия, которая идет на обеспечение режима минимальной нагрузки, вполне может быть использована для других целей, например, теплообработки воды [25].

ДГУ допустимо эксплуатировать с индуктивной нагрузкой, $\cos \varphi$ которой должен быть больше 0,8 (емкостная нагрузка для ДГУ не желательна). Выбор ДГУ при переводе в автономный режим зависит от характера наброса нагрузки.

Недостаточная нагрузка на ДГУ (что плохо само по себе, так как приводит к неэффективному использованию установленной мощности) ускоряет износ цилиндра, вызванный появлением нагара, повреждениями внутренних стенок, отложением масел и сажи. Чтобы избежать всех этих последствий, нужно обеспечить достаточно высокую скорость переключения ИБП на ДГУ (можно использовать, например, ДГУ с турбонаддувом) и максимально сократить время выхода на номинальные значения параметров

При увеличении числа фидеров неизбежно растет общая потребляемая мощность параллельного комплекса ИБП, поэтому при расчете мощности ДГУ нужно учесть и ее, и аккумуляторы, и прочее оборудование.

Чтобы избежать возрастания мощности ДГУ (ограничено мгновенным набросом мощности), нагрузка ДГУ ИБП должна быть равномерной и размеренной, либо выполняться ступенчато при помощи «мягкого» (soft-start) пуска выпрямителя ИБП. Эта технология обеспечивает приложение нагрузки к генератору (и дизелю) за тот период времени, который позволяет дизелю выйти в нормальный режим.

Учитывая ранее рассмотренное, сформулируем ряд важных условий для использования СГЭ, исходя из данных о надежности. Во-первых, автоматизированная ДГУ может быть использована как резервирующий источник питания, если схема АВР позволяет. Это уточнение связано с необходимостью исключить работу двух независимых источников питания на общие шины и электрическую и механическую блокировку коммутационной аппаратуры. Когда в системе есть ИБП, не нужно беспокоиться о времени переключения резерва, так как оно не является особо решающим фактором и целиком основывается на качествах и количествах фидеров. Чтобы система не срабатывала напрасно при переключении АВР на стороне высокого напряжения, надо учесть, что напряжение может принять нормальные значения и дать некую паузу срабатывания, прежде чем система начнет переключаться, когда откажет питание. Меняя пороги срабатывания АВР для каждого ввода, сохраняя их в контролируемых пределах, можно подключать ИБП к выходу АВР с учетом согласованных диапазонов входных напряжений обоих устройств и вовремя переключится на резервное питание (если после временной задержки напряжение так и не вернется в нужный диапазон). Это позволит сократить время работы ИБП от батарей, заменив их на резервные вводы. В АВР важно предусмотреть систему индикации и возможность ручного управления. В АВР электромеханического типа, выполненных на контакторах, управление базируется на автоматических выключателях и переключателях с электроприводом, это наиболее рациональные способы управления. Чтобы исключить потенциальное взаимное замыкание двух входов, нужно использовать механическую блокировку. Наконец, схема АВР (если она – резервный источник ДЭС), состоит из элементов, которые позволяют управлять ее работой (включение и выключение).

2.3 Основные принципы построения систем бесперебойного электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения

Система общего электроснабжения (СОЭ) представляет собой комплекс элементов, включающий электролинии, аппаратуру и механизмы, которые находятся на пути электрической цепи от ввода питающих линий объекта до вводных коммутационных аппаратов СБЭ и СГЭ. Эти элементы обеспечивают надежное электроснабжение объекта и позволяют контролировать и защищать электрическую сеть. Но и этих элементов недостаточно, чтобы сформировать полное представление о системе энергоснабжения. Один из ключевых компонентов СОЭ – это трансформаторная подстанция (ТП). Небольшое сооружение, которое потребляет мощность не более 200 кВА, питается от обособленно стоящей ТП. В таком случае речь идет об ограничениях СОЭ с точки зрения баланса. Главная задача СОЭ – это принимать и распределять электроэнергию от внешнего источника. Сам путь этой энергии в данном случае не играет роли. В качестве внешнего используют понизительную подстанцию с напряжением на высокой стороне 10 кВ (6 кВ) и на низкой стороне 0,4 кВ или шину с аналогичными напряжениями на высокой стороне. Если же на генераторе есть напряжение, то его используют без каких-либо трансформаций. Если же заходит речь о питании большого сооружения, то оно снабжается сетью с указанным ранее напряжением с поправкой – уже построенные на 6 кВ, те, что будут установлены – на 10 кВ. Для отдельно стоящей трансформаторной подстанции напряжение равно 0,4кВ.

Система энергоснабжения характеризуется прежде всего надежностью, величина которой определяется количеством независимых взаимно резервирующих источников. Существуют различные категории надежности для системы электроснабжения, которые влияют на время переключения на резервный источник питания. Например, в первой категории надежности время переключения зависит от автоматического выключения при отклонении напряжения от заданных значений, а во второй категории надежности время

переключения зависит от оперативных действий человека. Чтобы избежать потенциального отказа системы и поддержать должный уровень качества электроэнергии, лучше иметь свой собственный питающий генератор.

На рисунке 13 изображена СОЭ многопрофильного лечебного учреждения с резервной дизельной электростанцией (РДЭС). Чтобы запитать фидеры I и II категории надежности, используют два независимых ввода 1, 2 и РДЭС 10 с устройством АВР; для потребителей III категории применяют два независимых вводов с АВР. Секции 4 и 5 снабжаются электроэнергией от высоковольтных кабелей 1 и 2 через соответствующие трансформаторы 3.

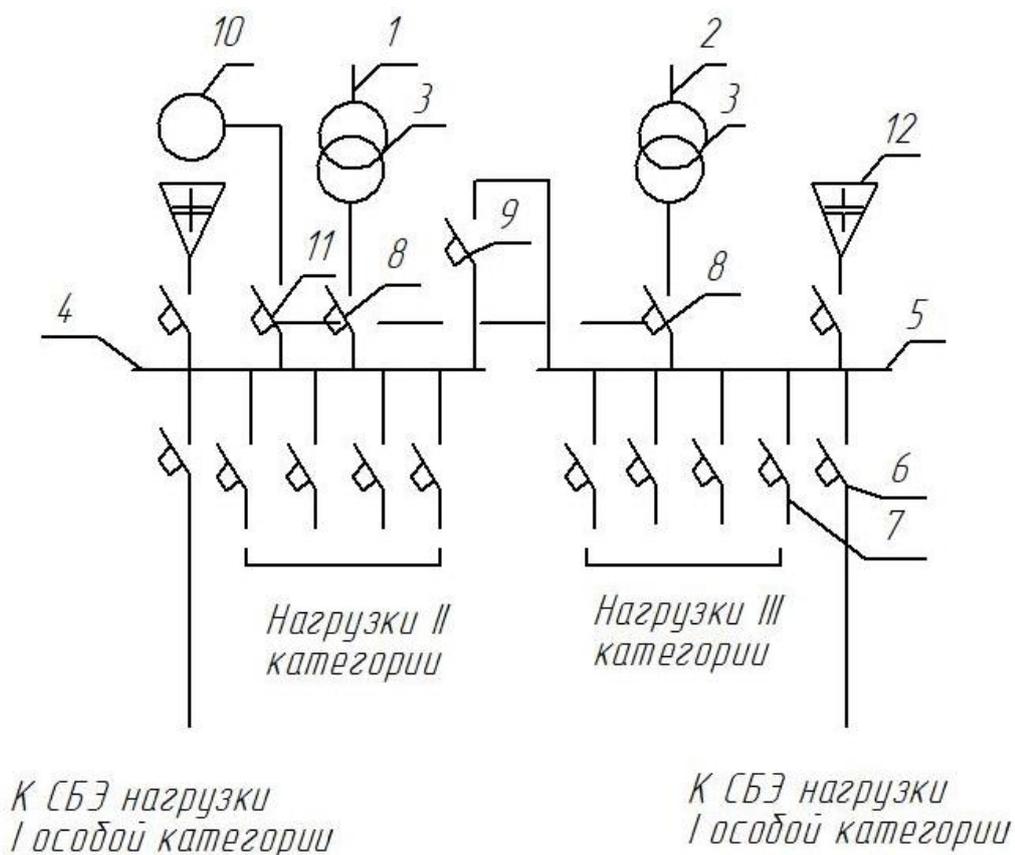


Рисунок 13 – Система электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения

Главный распределительный щит автоматически включает резерв на выключателях 8, 9, 11 и потребителей от РДЭС 10. Каждый из выключателей содержит специальный «умный» модуль - микропроцессор, который дает

возможность дистанционного управления и фиксирует электротехнические параметры. Интеллектуальный модуль соединен с системой автоматизации управления ГРЩ, что позволяет отказаться от применения специально выделенного щита гарантированного электроснабжения. Система ГРЩ дает возможность контролировать и регулировать нагрузки, следить за состоянием автоматики, сигнализировать о положении выключателя и измерять ток нагрузки на отходящих линиях 7. Кроме того, система блокирует одновременное включение энергоемких потребителей при работе РДЭС и исключает внезапное включение фидеров других категорий (не I и II). ГРЩ значительно «разгружает» систему электроснабжения и позволяет вручную запустить автоматы. Система ГРЩ снабжена АВР на вводных (8) и секционных (9) выключателях. Автоматическое включение резерва дизель-генератора (11) реализовано на автоматических выключателях с приводами дистанционного управления. Автоматические элементы системы обеспечения электроснабжения управляются промышленными контроллерами, которые управляют схемами автоматического выключения резервного источника питания и отходящих линий генератора.

Секционный выключатель АВР работает таким образом, что в нормальном режиме он и выключатель ввода РДЭС отключены, а выключатели ввода 0,4 кВ включены. Если напряжение на входе становится нулевым или отклоняется от допустимых значений, срабатывает защита минимального напряжения, в результате чего соответствующий ввод отключается, а секционный выключатель включается. При восстановлении напряжения на входах, система возвращается к нормальному режиму работы.

Что же происходит в АВР ДГУ в момент нулевого или отклонившегося от нормы напряжения? В первую очередь запускается цепь РДЭС, в ней появляется напряжение (на вводе и в цепях управления). Далее включившаяся система автоматической разгрузки отключит фидеров III категории (часть линий 7). А когда будет запускаться ДГУ, то и потребителей II категории система отключит. Далее, второй важный этап – это отключение вводов 8 и

конденсаторных батарей 12. Затем идет черед включений: секционного выключателя 9, ввода РДЭС 11, выключателей 6 в цепях линий 7 нагрузок II категории. Эта функция позволяет ограничить частоту включения энергоемких потребителей, требующих большой мощности, с задержкой между включениями не менее 15 секунд. После проверки нагрузки на дизельном генераторе оператор решает, какую нагрузку подключить к РДЭС. Если на каком-то из вводов 8 есть напряжение, то сигнализируется о запуске дизельного генератора, ввод РДЭС 11 отключается, и соответствующий ввод 8 включается. Это приводит к автоматическому подключению потребителей, которые были отключены в режиме разгрузки, и подключению конденсаторных батарей.

В контроллерах, используемых в устройствах АВР секционного выключателя, есть много функций, но для их правильной работы необходимо соблюдать некоторые условия. Если эти условия не будут выполнены, то система энергоснабжения не сможет работать корректно.

Первое условие для работы АВР - на всех вводах ГРЩ должно быть напряжение. Второе условие - АВР должен сработать только один раз, и не должен повторять свои действия в случае аварийного отключения выключателей ввода или секционного выключателя. «Также АВР запрещено включать многократно при любой неисправности в системе. Третье условие - работа АВР будет заблокирована сразу после отключения автоматических выключателей в цепях контроля напряжения. Четвертое условие - важно соблюдать заданный временной режим: полминуты на отключение выключателей 8 вводов ГРЩ при нулевом напряжении и минуту на включение выключателей 8 вводов ГРЩ при появлении напряжения» [11]. И последнее, но не по важности, условие – исправная работа сигнализации ручного режима АВР и срабатывания АВР.

Появляется шанс реализации гарантированного электроснабжения потребителей, находящихся на любой линии 7 благодаря автоматическим выключателям, которые контролируются согласно установленному

алгоритму.

В большом помещении потребность модификации требований к группе надежности электроснабжения электроприемников достаточно возможна, а также в классическом технологическом процессе электроснабжения затребует перестройки существующей системы.

2.4 Мероприятия по обеспечению качества электроэнергии системы электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения

Качество электроэнергии очень важно в системах электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения, и мероприятия для сохранения показателей качества электроэнергии в допустимых пределах должны быть продуманы еще на стадии проектирования. К таким мероприятиям относят меры, нивелирующие потерю напряжения ΔU . Это, например, необходимость выбора нужного диаметра проводника ЛЭП с учётом потери напряжения [14,15], снижение передачи реактивной мощности по электросетям за счет ее компенсации, использование трансформаторов со специальными устройствами, которые позволяют автоматически менять коэффициент трансформации в соответствии с величиной нагрузки.

Абсолютно все электроприемники переменного тока – это потребители реактивной мощности (РМ), принцип действия которых основывается на использовании переменного магнитного поля (асинхронные двигатели, выпрямители, трансформаторы, ЛЭП, реакторы и другое оборудование).

РМ нужна, чтобы создать электромагнитные поля и создать дополнительную нагрузку на силовые линии. Полезная работа при этом никак не задействуется.

Уровень РМ электроприемников многопрофильного лечебного учреждения зависит от коэффициента мощности потребителя. Этот коэффициент – есть отношение потребляемой активной мощности к полной, действительно взятой из сети мощности, то есть $\cos(\varphi) = P/S$. Когда $\cos \varphi$

почти равен единице, то доля реактивной мощности в сети будет соответственно, почти нулевой. Чтобы ее компенсировать, нужно использовать синхронные компенсаторы и двигателями, косинусные конденсаторы. Выбор конденсаторной установки определяется силовым оборудованием в сети. В зависимости от способа подключения выделяют индивидуальную (параллельное подключение косинусных конденсаторов) и централизованную (конденсаторы подключены к распределительному щитку) конденсацию. Первый вариант проще и дешевле, так как каждый конденсатор соответствует своей нагрузке и размещается рядом с ней. Однако этот способ не подойдет для переменных нагрузок, так как индивидуальная компенсация нерегулируема: при постоянной нагрузке реактивная мощность практически не изменяется, а значит, не нужны и изменения конденсаторов.

Общую компенсацию целесообразно использовать в системах, где много фидеров с разными показателями суточного коэффициента мощности, то есть для переменной нагрузки. Индивидуальная компенсация не используется в таких сетях из-за высокой стоимости (компенсаторов нужно много) дороговизна и возможного появления в сети перенапряжения. Во избежание перенапряжения общая компенсация снабжена особым контроллером, который регулирует реактивную мощность. Кроме того, общая компенсация также оснащена контакторами и предохранителями (то есть защитой). Если $\cos \varphi$ выйдет за допустимые пределы, то по ступеням будут подключены те или иные конденсаторы (после срабатывания защиты и сигнала контроллера). Таким образом, общая компенсация позволяет автоматически отслеживать выравнивание мощностей. Эта опция дает возможность избежать генерации реактивной мощности в сети и перенапряжения.

Компенсаторы реактивной мощности бывают релейными (контакторные) и тиристорными. Классификация основывается на использовании разных коммутаторов.

Обычно компенсация реактивной мощности осуществляется по схеме «треугольник»: трехфазное контакторное соединение конденсаторов с 4

секциями. Возможно также соединение по схеме «звезда», использование которого вызывает потребность в конденсаторах большей емкости. Секций может быть более 12 штук, притом возможно как ручное, так и автоматическое подключение. В последнем режиме коэффициент мощности будет самым высоким за счет автоматических манипуляций (в отличие от ручного, где всё зависит от оператора).

Для переключения трехфазных конденсаторов используют специальные контакторы с быстрым срабатыванием и минимальным дребезгом контактов. Кроме основных контактов, такие контакторы имеют дополнительные контакты, которые замыкаются вначале и предназначены для ограничения и смягчения пусковых токов.

Если для процесса коммутации конденсаторов самым важным фактором является время, то используют тиристорный компенсатор (в системах с резко переменной индуктивной нагрузкой), так как он более быстродействующий, чем контактный (нет паузы для срабатывания разрядки конденсатора). Когда напряжение сети и конденсатора сравнивается, тиристорные компенсаторы сразу подключаются к системе (при этом почти без пусковых токов). Эта особенность, а также наличие предохранителей – защиты от перегрузок значительно повышают их эксплуатационный срок.

Рассмотрим мероприятия, снижающие колебания напряжения. К ним относят использование улучшенного оборудования (со сниженной ΔQ), а также электродвигателей с маленьким пусковым током и стремящимся к единице $\cos \varphi$ при пуске. Еще один способ избежать колебаний напряжения – это подключиться к усиленной системе и развести питание постоянной и переменной нагрузок на разные трансформаторы или секции сборных шин. В таком случае, правда, сильно возрастают потери при неполной загрузке трансформаторов. Часто применяется метод, который заключается в снижении сопротивления питающего участка сети, хотя он и является затратным и может повысить токи КЗ из-за продольной компенсации.

Чтобы избежать несинусоидальности графика и несимметрии

напряжения, нагрузку распределяют по фазам равномерно и применяют устройства симметрии (сопротивление в его фазах компенсирует ток обратной последовательности, который генерируется нагрузкой – источником искажения). Применяют также метод, по которому нелинейная нагрузка питается от отдельных трансформаторов или секций шин, что снижает сопротивление питающего участка сети или же используют фильтрокомпенсирующие устройства.

ИБП генерируют высшие гармоники тока. Они сильно снижают электромагнитную совместимость (ЭМС) системы электроснабжения. Появление несинусоидальности тока оказывает влияние на показатели и форму напряжения других фидеров, подключенных к этой же цепи. Источник бесперебойного питания (ИБП) может создавать высшие гармоники в системе электроснабжения, что может привести к нежелательным эффектам. Поэтому в системах, где нужно обеспечить надежное электроснабжение, требуется использовать специальные методы для устранения высших гармоник. «Для этого можно использовать пассивный фильтр 5-ой гармоники в трехфазных ИБП с 6-полупериодным выпрямителем или активные фильтры гармоник в трехфазных системах.

Иногда, если входные фазные дроссели последовательного соединения не уменьшают токи высших гармоник, используют специальные пассивные LC-фильтры, которые соответствуют определенному порядку гармоник. Такие фильтры могут быть подключены к входу 6-полупериодного выпрямителя, чтобы значительно снизить коэффициент искажения тока (разница между значениями с и без фильтра составляет около 20%)» [23]. На рисунке 14 показано, как трехфазный LC-фильтр применяется в 3-фазных ИБП.

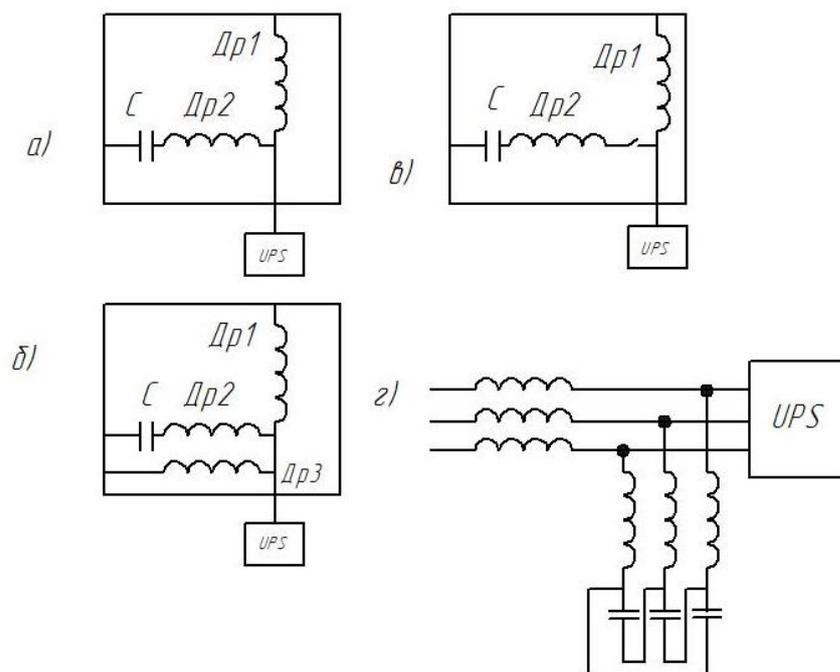


Рисунок 14 – Пассивные LC-фильтры разных видов: а) некомпенсированный; б) компенсированный; в) некомпенсированный с коммутатором; г) трехфазный вариант

На рисунке 14 изображены различные пассивные LC-фильтры: «некомпенсированный, компенсированный и некомпенсированный с коммутатором. Некомпенсированный фильтр состоит из продольной индуктивности $Dr1$ и поперечной цепи, которая включает в себя последовательно соединенные индуктивность $Dr2$ и емкость C , каждая из которых настроена на определенную гармонику (рисунок 14а)» [31]. Например, если фильтр соответствует 5-ой гармонике, то поперечная цепь создаст практически нулевое сопротивление, и ток пройдет мимо этой гармоники. Однако, некомпенсированный фильтр обладает низкой чувствительностью, что может привести к проблемам, таким как перегрузка генератора ДГУ во время "мягкого" старта выпрямителя, когда потребляемая нагрузкой активная мощность равна нулю, а генератор нагружен только емкостным сопротивлением фильтра, то ДГУ не будет нормально функционировать или вовсе отключится. Некомпенсированные LC-фильтры должны четко соотноситься с параметрами генератора и фильтра.

Второй тип фильтра – компенсированный. Он, кроме продольной, имеет еще и поперечную индуктивность $Dp3$. Из-за поперечной индуктивности в целом фильтр и генератор связаны индуктивными отношениями (рисунок 14б). Благодаря этому емкостная составляющая потребляемого тока сильно снижается, а работа генератора в пусковом и установившемся режимах протекает более гладко. Однако эта же поперечная индуктивность может снижать коэффициент мощности всей системы – это недостаток компенсированных фильтров.

Третий тип фильтра – некомпенсированный с коммутатором. Он используется для дизель-генераторных установок с ограниченной мощностью (мощность, соотносимая с мощностями источника бесперебойного питания). Когда ИБП выходит в номинальный режим, то автоматически подключается поперечная цепь фильтра (рисунок 14в). Это исключает применение ДГУ с высокой мощностью и не снижает коэффициент мощности системы (в отличие от фильтров второго типа).

Чтобы защитить систему электроснабжения МЛУ от импульсных перенапряжений, используют защиту двух видов – разрядники и разделительные трансформаторы. Рассмотрим их далее.

Устройство, состоящее из двух токопроводящих пластин с калиброванным зазором, называется разрядником. Между токопроводящими пластинами может возникать и значительно повышаться напряжение. Это приведет к возникновению дугового разряда (чем и обусловлено обозначение устройства). Этот разряд сбросит высоковольтный импульс в землю. Разрядники бывают воздушными и газовыми. В газовом разряднике есть специальная дуговая камера, которая заполняется инертным газом низкого давления. Так как условия в этой камере практически идеальны, то разрядник почти не подвержен внешнему воздействию (перепаду температур, загрязнению, выпадению осадков). У газового разрядника экстремально высокое сопротивление, что делает его идеальным средством защиты высокочастотных устройств.

Если речь идет о воздушном разряднике, то необходимо помнить о выбросе горячего ионизированного газа из дуговой камеры. Следовательно, конструкция щитков должна это учитывать (термостойкость). Обычно разрядники срабатывают при напряжении от 1,5 до 4 кВ где-то за 100 нс.

Второй тип устройств, применяемых для защиты от импульсных напряжений – разделительный трансформатор. Он представляет собой пятидесятигерцовый силовой трансформатор с отдельными обмотками и напряжением, одинаковым на входе и выходе. Трансформатор не отличается быстродействием – он, проще говоря не может так быстро передать короткий высоковольтный импульс во вторичную обмотку. Благодаря этому, казалось бы, недостатку, он идеален для защиты от импульсных перенапряжений (за исключением случаев непосредственного повреждения изоляции).

В определенных условиях разделительный трансформатор способен бесконечно защищать нагрузку от импульсных перенапряжений (в отличие от разрядников, элемент которых при срабатывании постепенно разрушается), однако для сети 100 кВА нужен соответствующий по мощности, громоздкий, массивный и недешевый трансформатор.

Базовый элемент системы защиты – это заземление. Также важно выровнять потенциалы внутри здания. Для этих целей при проведении защитных мероприятий важно также проверить и их, обязательно нужно перейти на системы электропитания TN-S или TN-C-S с разделёнными нулевым рабочим и нулевым защитным проводниками. Этот переход нужен не только для защиты оборудования, но и защиты работников (от травм, пожаров и т.д.).

2.5 Медицинская система ИТ

ИТ-системы используются в медицинских учреждениях для обеспечения электропитания медицинского оборудования и систем поддержки жизнедеятельности пациентов в соответствии с группой риска Гр2. (для

операций, аппаратуры и другой электроники, с помощью которой оказывают медицинскую помощь пациенту). В рамках ИТ-системы всегда используют медицинские разделительные трансформаторы.

Для построения медицинской ИТ-сети придерживаются следующих установок. Сначала необходима хотя бы одна медицинская система ИТ для всех помещений с одинаковым назначением. Далее, систему ИТ нужно оборудовать устройством непрерывного контроля изоляции, к которому также предъявляется ряд требований: внутреннее сопротивление по переменному току не менее 100 кОм; измерительное напряжение не более 25В постоянного тока; максимальное значение измерительного тока, даже при повреждении, не более 1 мА; в системе должно быть встроенное устройство проверки сопротивления изоляции и индикатор понижения сопротивления до 50 кОм; в каждой медицинской ИТ системе есть устройство для световой и звуковой аварийной сигнализации (которую при надобности можно отключить). Третье важное требование для медицинских систем ИТ заключается в том, что каждая такая система должна иметь свой собственный источник питания. Это необходимо для обеспечения надежности и безопасности работы медицинского оборудования и устройств, а также для избежания сбоев в работе электрооборудования.

Медицинские помещения подразделяют на три группы [3]: Гр0, Гр1 и Гр2. Деление основывается на защите от поражения током.

К Гр0 (группе 0) относятся медицинские помещения без контактирующих проводящих частей и приборов (то есть без элементов электроаппаратуры, которая соприкасается с кожей или вводится внутрь). Если в помещениях Гр0 нарушается изоляция и происходит КЗ, то система автоматически отключается.

В помещениях Гр1 (группы 1) контактирующие части и приборы применяют внешне или внутренне, а возникновение аварии силового питания не имеет таких тяжелых последствий, как летальный исход или тяжелый вред здоровью пациента. Если произойдет КЗ, регистрируется токоутечка или

возникнут перебои в питании, то система автоматически отключится. В поликлиниках это обычно различные кабинеты с электротехникой.

В помещениях Гр1 для защиты применяют двойную изоляцию, устройство защитного отключения с номинальным дифференциальным током срабатывания не более 30 мА, безопасное сверхнизкое напряжение (БСНН), заземленные системы безопасного сверхнизкого напряжения (ЗСНН). В последних двух системах номинальное питающее напряжение электроприемников не должно превышать 25В переменного тока (среднеквадратичное значение) или 60В постоянного тока (без пульсаций). Дополнительно уравнивают потенциалы и используют аварийные источники питания.

В помещениях Гр2 представлен аппараты с контактирующими частями и приборами для важнейших медицинских манипуляций (операции под общим наркозом). В таких помещениях даже при обнаружении какой-либо неисправности в цепи, аппаратура должна продолжать работать, а система функционировать что при неисправной изоляции, что при КЗ в корпусе или открытых токопроводящих частях. В этих помещениях применяют следующие виды основной защиты: двойная изоляция, медицинская система IT, разделительные трансформаторы с системой контроля изоляции, тока и температуры, БСНН и ЗСНН. Дополнительная защита – это уравнивание потенциалов и аварийное питание. Применяется достаточно специфическая система защитных устройств, что обусловлено стандартными требованиями по электрозащите и категорической недопустимостью отключения оборудования (так как оборудование напрямую обеспечивает жизнедеятельность пациентов) от электроснабжения.

В помещениях второй группы недопустимо использовать традиционную дополнительную защиту с УЗО от поражения электрическим током при непосредственном контакте с опасными токоведущими частями (в отличие от Гр1 и Гр0). Разделительный трансформатор с экранирующей обмоткой и устройством контроля параметров сети используется для защиты работников

и пациентов во время операций. Этот трансформатор обеспечивает электрическую изоляцию между пациентом и сетью электропитания, а также контролирует параметры сети, такие как изоляция, температура и ток нагрузки. Экранирующая обмотка трансформатора защищает от помех и шумов, которые могут негативно повлиять на работу медицинского оборудования.

Для электропитания ИТ-сетей медицинского оборудования минимальное значение сопротивления изоляции строго регламентировано и составляет 50 кОм [3]. Когда уровень изоляции падает относительно закрепленной величины, то система не должна автоматически отключаться (опасно и приводит к летальному исходу пациента). Медицинская ИТ система не защищена от перегрузок на линиях до и после разделительного трансформатора. Автовыключатели в питающих цепях до разделительного трансформатора, характеризуются отсутствием чувствительности к его пусковым токам, а значит не должны срабатывать при длительных перегрузках, которые вполне допустимы согласно условиям применения разделительного трансформатора.

Аппаратура в помещении, питающаяся от цепи, должна быть защищена от коротких замыканий и перегрузок при помощи автоматических выключателей, вызывающих одновременное отключением фаз, полюсов и нейтрали. Использовать в качестве защиты предохранители запрещено. Также электроаппаратура в помещениях группы 2 должна иметь рабочую поверхность с оболочкой не ниже IP54 (так как в медицинских учреждениях ежедневно проводится влажная дезинфекция помещений).

Специальный силовой трансформатор, применяемый в МЛУ, называется медицинским разделительным трансформатором. Он характеризуется высокой электробезопасностью и надежностью. Для портативного и стационарного оборудования чаще всего применяют трансформаторы, которые разделяют электрические цепи и обеспечивают изоляцию между источником питания и пользователем. В данном случае,

используются трансформаторы с одной фазой и заданной номинальной мощностью от 0,5кВА до 10кВА. Использование более мощных трансформаторов с учетом сразу нескольких помещений поликлиники существенно осложнит контроль над электропотреблением и замедлит оперативный поиск неисправностей при возникновении аварии, что также может привести к летальному исходу пациента. Именно по этой причине следует применять только один разделительный трансформатор для одной медицинской IT-сети помещения.

Если в медицинской системе присутствует трехфазный фидер, то необходимо установить медицинскую систему IT, поэтому используется отдельный трехфазный медицинский разделительный трансформатор с выходным линейным напряжением, которое не превышает 250 В. (чтобы повторный пробой изоляции не привел к попаданию под линейное напряжение). Нагрузка будет подключена между фазами. Такой трансформатор называют понижающим, так как фазное напряжение первичной обмотки равно 220В, а фазное напряжение вторичной обмотки – 127В.

С другой стороны, питание однофазных приборов от трехфазной сети не слишком рационально, потому что обрыв нейтрали может вызвать эффект, при котором точка «N» звезды напряжений будет расположена в любом месте, а значит, потребитель вместо фазного напряжения может получить линейное. Чтобы ограничить пусковые токи, вызывающие срабатывание входных автоматов, медицинский разделительный трансформатор снабжен специальным устройством. Это устройство плавного пуска, обеспечивающее работу трансформатора при его отключении и включении. Важно, чтобы ток утечки вторичной обмотки на землю и оболочки, измеренные при холостом ходе на номинальных показателях разделительного трансформатора, были не более 0,5 мА. Также для разделительного трансформатора характерна повышенная перегрузочная способность. Контроль таких параметров, как нагрузка и температура разделительного трансформатора, нужен, чтобы

персонал смог быстро среагировать в случае неполадок, приняв необходимые меры, и продолжить работу. В качестве прокладки между первичной и вторичной обмотками разделительного трансформатора используют специальную экранирующую обмотку. Эта прокладка помогает избежать пробоя изоляции между входной и выходной сетью. Вообще, для своевременного обнаружения повреждения изоляции в медицинской ИТ-сети, используется незаменимое в любых ситуациях устройство контроля I изоляции.

Это устройство постоянно отслеживает состояние изоляции I, выходной обмотки трансформатора и сети. Еще медицинский разделительный трансформатор включает светозвуковую аварийную индикацию и выносные посты контроля состояния трансформатора. Они устанавливаются прямо в зоне работы персонала, что позволяет дистанционно оценить состояние и контролировать работоспособность системы.

Уравнивание потенциалов – это электрическое соединение проводящих частей при помощи защитных проводников, что и позволяет достигнуть равенства их потенциалов. Система уравнивания потенциалов (СУП) обязательно должна быть предусмотрена в медицинских помещениях, в особенности в операционных, где создает равный потенциал всех металлических конструкций, к которым можно прикоснуться. Вместе с защитной заземляющей шиной используют медную (или из иного материала) шину выравнивания потенциалов сечением более 80 кв. мм.

Шина выравнивания потенциалов – это кратчайший путь, соединяющий защитную заземляющую шину с медным проводником. Ее нужно располагать в части помещения, не охваченной шиной защитного заземления. Если же заземляющая шина распределена по всему периметру операционной, то не нужно использовать отдельную шину выравнивания потенциалов. Система уравнивания потенциалов также обязательно включает в себя все проводящие конструкции, к которым можно прикоснуться. Такие конструкции могут оказаться под напряжением или же ввести его в помещение.

Помимо этого, СУП состоит из специальных проводников, металлических оболочек кабелей, трубопроводов медицинских газов и специальных металлических сеток, вмонтированных в пол каждого этажа сооружения и др. Систему уравнивания потенциалов, соединяют с главной заземляющей шиной (ГЗШ).

Медицинское помещение первой или второй группы должно быть снабжено системой дополнительного уравнивания потенциалов, которая нужна для уравнивания электрических потенциалов компонентов электрооборудования из “окружения пациента”: защитных проводников, сторонних проводящих частей, экранов от внешних электрических полей (при наличии), сеток токопроводящих полов (при наличии), металлических оболочек разделительных трансформаторов.

Шины уравнивания потенциалов помещают вовнутрь медицинского помещения или рядом с ним.

В распределительном шкафу находятся шины системы дополнительного уравнивания потенциалов, к которой подключены проводники дополнительного уравнивания потенциалов и защитные проводники.

Для подключения различной аппаратуры используется функциональное заземление, которое соединено с главной заземляющей шиной. К линии функционального заземления также подключаются розетки и щитки заземления, необходимые для подключения внешних приборов, электрооборудования и металлических конструкций к линии функционального заземления.

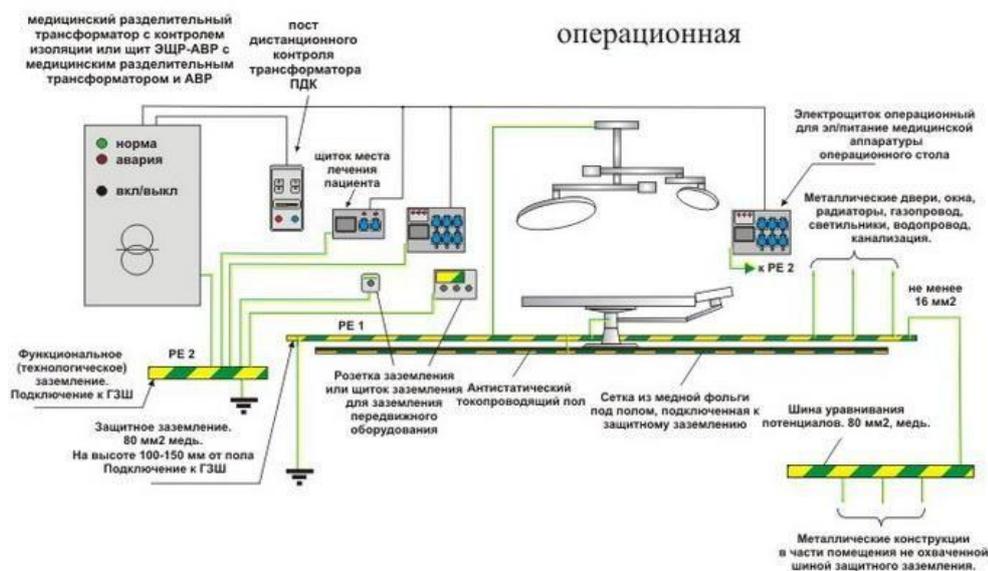


Рисунок 15 – Электрическая схема щитков для технологического заземления медицинской IT-сети, которая питает операционную

Если произойдет электрический сбой на линии, который приведет к высоким токам в защитном заземлении (PE2) до медицинского разделительного трансформатора, возникнет большая разница потенциалов между аппаратами, подключенными к защитному заземлению (PE2) и к операционному заземлению (PE1). Чтобы предотвратить это, необходимо соединить контур защитного заземления операционной (PE1) с технологическим заземлением (PE2) при помощи медного проводника.

Выводы по разделу 2. Рассмотрена общая характеристика системы бесперебойного электроснабжения. Построена временная диаграмма работы комплекса СБЭ-СГЭ, а также выбрана электрическая схема электроснабжения МЛУ. Разработаны и выбраны мероприятия по обеспечению качества электроэнергии системы электроснабжения многопрофильного лечебного учреждения.

3 Проектирование системы электроснабжения МЛУ Клявлинская ЦРБ

3.1 Анализ существующей структуры электрохозяйства объекта с описанием схемы внешнего электроснабжения

Клявлинская центральная районная больница (далее больница) — это медицинское учреждение с высококвалифицированным персоналом располагающиеся в Российской Федерации, Самарской области, вблизи деревни «Пронино» (около ≈ 30 км от Пронино до ж/д станции «Клявлино»).

В генеральный план больницы входит:

- главный корпус (непосредственно помещение);
- корпус гинекологии и акушерского дела;
- столовая;
- здание электроснабжения (Котельная);
- зубная поликлиника.

Данный список не полный, здесь представлены основные корпуса с большим потреблением электрической энергии.

Класс напряжения больницы состоит из высокого и низкого напряжения.

ВН – напряжение 10 кВ;

НН – напряжение 0,4 кВ.

Высокое напряжение

Для обеспечения нужной категории надежности электроснабжения необходимо осуществить перенос нагрузки с линии высокого напряжения «КЛВ-12» на линию высокого напряжения «КЛВ-2».

Во время реконструкции больницы было решено перенести нагрузку с фидера 10кВ «КЛВ-12» на «КЛВ-2». Для обеспечения надежности электроснабжения на объекте использовался фидер 10 кВ под названием «КЛВ-2» из трансформаторной подстанции «Клявлинская». Для обеспечения категорийности электроснабжения на фидере была установлена отпаечная

опора с разъединителем. Для резервного электроснабжения использовалась отпайка от другого фидера 10 кВ, называемого «КЛВ-1». Кроме того, было выполнено удаление опор № 130/1-130/8 из зоны жилой застройки. Эти меры были приняты для обеспечения категорийной надежности электроснабжения подстанции. В рамках проекта также была установлена комплектная двухтрансформаторная подстанция городского типа 2КТПГ-400/10/0,4 с двумя масляными трансформаторами типа ТМГ 400/10/0,4.

В больнице используются следующие элементы электроснабжения:

- дизель-генераторная установка мощностью 100 кВт и напряжением 380В,
- воздушные линии и кабельные линии, электроприемники 0,4 кВ, которые расположены в корпусах больницы.

Дизель-генераторная установка - это еще один источник питания, который работает отдельно от основной электросети, и предназначен для обеспечения надежного питания электроприемников особой категории, таких как акушерский корпус, основной корпус (блоки А, Б) и котельная. Кроме того, в больнице используется фидер комплектной трансформаторной подстанции Клявлинской ЦРБ для питания шкафа собственных нужд ДГУ и шкафа автоматики ДГУ. В блочном контейнере установлены дизель-генераторная установка, дополнительный топливный бак на 1000 литров и другие системы, которые обеспечивают жизнеобеспечение. В главном корпусе расположены электроприемники 0,4 кВ, разбитые по категориям надежности согласно таблицам 1 и 2 [27].

Таблица 1 – Электроприемники корпусов А и Б распределенные по категориям надежности электроснабжения

Электроприемники	Категория надежности ЭСН
Устройства и аппараты, находящиеся в комнатах терапии, а также операционных (хирургических) отделениях, и комнатах дежурного персонала	Первая (особая)
Устройства и аппараты, осуществляющие в корпусах аварийное освещение, погрузку и выгрузку пассажирских грузов (лифт), пожарная сигнализация, вентиляция	Первая
Все оставшиеся электроприемники в ЛМУ	Вторая

Таблица 2 – Электроприемники корпуса В распределенные по категориям надежности электроснабжения

Электроприемники	Категория надежности ЭСН
Устройства и аппараты, осуществляющие аварийное освещение, вентиляция корпуса и поддержание воздухообмена в ЛМУ, пожарная сигнализация; Различное электрооборудования серверной комнаты;	Первая (особая)
Все оставшиеся электроприемники в ЛМУ	Первая

3.2 Полный расчет электрических нагрузок на корпуса больницы

3.2.1. Полный расчет освещения и оборудования корпусов лечебно-медицинского учреждения

Для выявления нагрузок на электросистему зданий, как жилых, так и гражданских, используется специальный метод, называемый «метод упорядоченных диаграмм», описанный в источнике [10]. Расчет проводится для главного корпуса здания с детальным описанием каждой группы

электроприборов, а остальные корпуса рассчитываются по аналогии. Электроприборы разбиваются на две группы: Переносная медицинская аппаратура - это такая техника и оборудование, которые могут быть перемещены из одного места в другое для проведения медицинских процедур. Стационарная медицинская аппаратура, напротив, предназначена для использования на постоянной основе в определенном месте. Каждая группа содержит определенные приборы с указанием их мощности [28].

Метод упорядоченных диаграмм используется для расчета электрических нагрузок жилых и гражданских зданий. Этот метод позволяет разбить все электроприемники на группы и рассчитать нагрузку для каждой группы отдельно. В основном здании все приборы, потребляющие электроэнергию, разделены на несколько категорий:

Это перечень различного медицинского оборудования, включающего как портативные приборы (например, электрокипяильники, электропылесосы, розетки и баки для обработки рентгенограмм), так и стационарное оборудование, например, физиотерапевтические кабинные щитки, рентгенаппараты, стерилизаторы, компрессоры и другое оборудование, используемое в больницах и медицинских учреждениях. Жарочные и кондитерские шкафы, электродоты, кипяильники, тестомесильные машины, универсальные приводы, хлеборезки, вибростолы, коктейлевзбивалки, мясорубки, картофелечистки, машины для резки овощей, посудомоечные машины, шкафы холодильные.

Осуществим полный расчет электрических нагрузок для ЛМУ.

Активную нагрузку в ЛМУ (P_p):

$$P_p = P_c \cdot K_c = P_n \cdot K_m \cdot K_u, \quad (1)$$

где P_c – активная мощность электроприемников за смену;

K_c – групповой коэффициент спроса [6, 10];

P_n – установленная активная мощность электроприемников;

K_m – коэффициент максимума ЭП;

$K_{и}$ – коэффициент использования ЭП.

Реактивную нагрузку в ЛМУ (Q_p):

Количество эффективных электроприемников равно $n_3 \leq 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_c = 1,1 \cdot P_n \cdot K_c \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2)$$

Количество эффективных электроприемников равно $n_3 \geq 10$

$$Q_p = Q_c = P_n \cdot K_c \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3)$$

где Q_c – реактивная мощность электроприемников за смену;

$\operatorname{tg} \varphi$ – соответствует групповому коэффициенту мощности;

Полную нагрузку (S_p):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (4)$$

где P_p – активная нагрузка в ЛМУ;

Q_p – реактивная нагрузка в ЛМУ.

Так как рентгенаппарат потребляет 1 кВт в ожидании и 5,8 кВт в режиме просвечивания, то для расчета его электрической нагрузки мы принимаем во внимание режим просвечивания [29].

Для расчета общей нагрузки различного силового оборудования используется формула:

$$P_{pc} = 0,95 \cdot (P_{pc1} + P_{pc2} + \dots + P_{pcn}), \quad (5)$$

где 0,95 – коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов характерных групп силовых электроприемников;

$P_{pc1}, P_{pc2}, \dots, P_{pcn}$ – расчетные электрические нагрузки характерных

групп силовых электроприемников.

Произведем полный расчет для совместного электропитания силового оборудования и осветительного:

$$P_p = K_{12} \cdot (P_{po} + P_{pc}), \quad (6)$$

где K_{12} – это коэффициент, который показывает, насколько расчетный максимум силового оборудования отличается от расчетного максимума осветительного оборудования [10].

Расчет электрических нагрузок - это важный этап проектирования электрических систем, который позволяет определить необходимую мощность и выбрать оборудование для обеспечения электроснабжения объекта. При расчете учитываются количество, характеристики и режим работы потребляемых электроприборов. Точность расчета нагрузок - ключевой фактор для обеспечения безопасности и надежности работы электросистемы.

По завершению полного расчета электрических нагрузок в ЛМУ, мы получаем результаты, которые оформляем в таблицы. В таблице 3 отображены результаты общего расчета нагрузок для всей больницы. Для получения более детальной информации о нагрузках, проводятся расчеты для отдельных блоков больницы. Например, подробный расчет нагрузок по поликлинике (блок В) и основному корпусу (блоки А, Б) представлены в таблицах А.1 и Б.1 соответственно (см. приложение А, Б). Кроме того, в пункте 3.2.2 описывается методика расчета освещения.

Таблица 3 – Полный расчет электрических нагрузок в ЛМУ (Корпус А, Б и В)

Название ЭП (или групп ЭП)	Общее количество всех ЭП, N , шт.	Номинальная мощность ЭП, сведенная к длительному режиму (100% ПВ), $P_{ном}$, кВт	K_c	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Мощность ЛМУ (активная, реактивная, полная)		
						P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Корпус лечебного мед учреждения (В)	498	68,627	0,52	0,92	0,43	35,39	15,07	38,47
Корпус лечебного мед учреждения (А и Б)	1497	413,5	0,44	0,88	0,71	156,5	101,3	185,39
ИТОГО по корпусам ЛМУ (А,Б,В)	1995	482,127	0,48	0,89	0,61	191,89	116,37	223,86
Отделение ЛМУ (Родильное)	599	356,7	0,55	0,79	0,64	185,7	129,7	225,63
Отделение ЛМУ (ЭСН котельных агрегатов)	3	34	1	0,9	0,8	76,59	38,14	87,5
Ячейка ДГУ (собственные нужды установки)	-	3	0,65	0,81	0,78	2,5	1,4	2,8
Осветительные установки (наружные)	59	11	1	0,86	0,74	9,12	5,78	11,35
Действующие электрические нагрузки	-	356,7	0,7	0,75	0,65	199,2	155,7	244,9
Итого по больнице	2656	1243,5	0,52	0,84	0,65	617,2	401,7	709,8

3.2.2 Полный расчет искусственного освещения лечебно-медицинского учреждения

В главном корпусе Клявлинской ЦРБ используются различные типы светильников для освещения разных помещений. Для освещения основных помещений используются электроприемники с компенсацией реактивной мощности (люминесцентные лампы с пускорегулирующей аппаратурой). В уборных установлены обычные люминесцентные лампы. Не основные помещения ЛМУ снабжаются самыми простыми лампами (лампа накаливания). Также установлены индикаторы при чрезвычайных ситуациях, таблицы «Выход» и стрелочки, указывающие направление движения, данные таблицы подсвечиваются специальными лампами, которые входят в электроснабжение аварийного освещения. «Расчет искусственного освещения осуществляется методом коэффициента использования, с использованием нормативных показателей освещенности для лечебных учреждений» [30]. При расчете освещения помещений 1 этажа поликлиники (блок В) использовались таблицы с нормами и рекомендациями для искусственного освещения помещений здравоохранения [30].

Регистратура (кабинет №116).

Производим расчет количества светильников на одно помещение и далее выбираем необходимую нам световую аппаратуру:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{n \cdot \eta \cdot \Phi_{\lambda}}, \quad (7)$$

где N – количество светильников;

E – требуемая горизонтальная освещенность, $E=150$ Лк на стеллажах

B - 1м от пола;

S – площадь помещения, m^2 ;

K_3 – коэффициент запаса (таблица 4);

n – количество ламп в одном светильнике;

η – коэффициент использования;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток одной лампы, Лм [32].

Устанавливаем светильник марки Basic производителя «OSRAM».

Таблица 4 – Индекс K_3 относительно различных помещений

K_3	Наименование
2	Сильное загрязнение
1,8	Среднее загрязнение
1,5	Слабое загрязнение
1,3	Слабое загрязнение и малое время использования установок

Для нашего случая подходит $K_3 = 1,5$.

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{(H - h_p) \cdot (A + B)} = \frac{4,41 \cdot 6,021}{(2,8 - 1) \cdot (4,41 + 6,021)} = 1,41 \approx 1,5, \quad (8)$$

где H – высота помещения, $H=2,8$ м;

h_p – высота расчетное поверхности $h_p=1,0$ м;

A – длина, $A=4,41$ м;

B – ширина, $B=6,021$ м.

Для нашего случая подходит из таблицы 5:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{ном}} &= 70; \\ \rho_{\text{ст}} &= 50; \\ \rho_{\text{пол}} &= 30 \end{aligned} \quad (9)$$

Для нашего случая подходит из таблицы 6:

$$\eta = 0,35, \quad (10)$$

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{n \cdot \eta \cdot \Phi_d} = \frac{150 \cdot 26,55 \cdot 1,5}{0,35 \cdot 1 \cdot 2850} = 5,9 \approx 6. \quad (11)$$

Таблица 5 – Индекс K_3 относительно различного цвета материалов

$K_{отр}, \%$	Цвет
10	Абсолютно темная поверхность
20	Темно-серый оттенок
30	Серый оттенок
50	Светлый цвет
75-85	Белый оттенок

Таблица 6 – Коэффициент использования

ALS OPL 236								
потолок	80	80	80	70	50	50	30	0
стены	80	50	30	50	50	30	30	0
пол	30	30	10	20	10	10	10	0
0,6	33	19	14	18	18	14	14	10
0,8	39	24	19	23	22	18	18	14
1	43	28	22	27	25	21	21	17
1,25	48	33	27	31	29	25	24	20
1,5	51	37	30	35	32	28	27	22
2	55	42	34	39	35	32	31	26
2,5	58	46	38	42	38	35	33	28
3	60	49	40	45	40	38	36	31
4	62	53	44	48	43	40	38	33
5	64	56	46	50	44	42	40	34

Расчет мощности освещения

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{одн.л} = 6 \cdot 1 \cdot 0,036 = 216 \text{ Вт} \quad (12)$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg } \varphi = 216 \cdot 0,29 = 62,64 \text{ квар} \quad (13)$$

где $\operatorname{tg}\varphi = 0,29$, так как $\cos\varphi = 0,96$.

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2} = \sqrt{0,216^2 + 0,063^2} = 0,225 \text{ кВА}. \quad (14)$$

3.3 Установка силовых трансформаторов в ЛМУ с компенсацией реактивной мощности

При разработке решения было решено установить силовые трансформаторы типа ТМГ, которые отличаются от силовых трансформаторов с расширительными баками тем, что не требуют обслуживания в течение всего срока эксплуатации, лабораторных исследований трансформаторного масла, взятия проб на анализ, а также регенерации масла и ревизий при эксплуатации. Для увеличения поверхности охлаждения в силовых трансформаторах герметичного исполнения используются гофрированные стенки. Старое оборудование демонтируется, так как оно уже истощило свой ресурс, а также не может обеспечить необходимую категоричность электроснабжения в связи с увеличившимися электрическими нагрузками [36].

Исходные данные:

$$P_{\text{p}\Sigma} = 618 \text{ кВт}; Q_{\text{p}\Sigma} = 402 \text{ квар}, S_{\text{p}\Sigma} = 709 \text{ кВА}. \quad (15)$$

Для рассмотрения возьмем силовой трансформатор марки ТМГ, с паспортной мощностью равной $S_{\text{наст}} = 400 \text{ кВА}$.

Рассчитаем нужное количество силовых трансформатором для бесперебойного ЭСН ЛМУ.

$$N_T = \frac{P_{\text{p}\Sigma}}{\kappa_3 \cdot S_{\text{наст}}} = \frac{618}{0,7 \cdot 400} = 1,99 \approx 2, \quad (16)$$

где κ_3 – коэффициент загрузки силового трансформатора.

Устанавливаем два трансформатора мощностью $S_{наст} = 400$ кВА.

Исходные паспортные параметра трансформатора ТМГ-400

$$P_{xx} = 0,83; P_{кз} = 0,5; \kappa_3 = 0,7; S_n = 400; i_0 = 1,8; U_{кз} = 4,5. \quad (17)$$

Произведем полный расчет электрических потерь в силовом трансформаторе (активные и реактивные потери):

$$\Delta P_T = N_T \cdot (P_{xx} + \kappa_3^2 \cdot P_{кз}) = 2 \cdot (0,83 + 0,7^2 \cdot 0,5) = 7,05 \text{ кВт}; \quad (18)$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (i_0 + \kappa_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_n}{100} = 2 \cdot (1,8 + 0,7^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{400}{100} = 32,04 \text{ квар}. \quad (19)$$

Произведем полный расчет электрических нагрузок для ЛМУ, учитывая активные и реактивные потери в силовом трансформаторе:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T = 618 + 7,05 = 625,05 \text{ кВт}; \quad (20)$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + QP_T = 402 + 32,04 = 434,04 \text{ квар}. \quad (21)$$

Далее построим график электрических нагрузок (годовое потребление) для нашего ЛМУ (рисунок 16).

Годовой график электрических нагрузок представляет собой график, который показывает изменение энергопотребления в течение года. Этот график важен для планирования работы электросистемы и выбора оборудования, так как он отражает сезонность и пики потребления энергии. Кроме того, годовой график является важным инструментом для прогнозирования и планирования энергопотребления, а также для расчета экономической эффективности и определения необходимости в энергосберегающих мерах. Необходимо учитывать, что годовой график может различаться в зависимости от типа объекта и его особенностей.

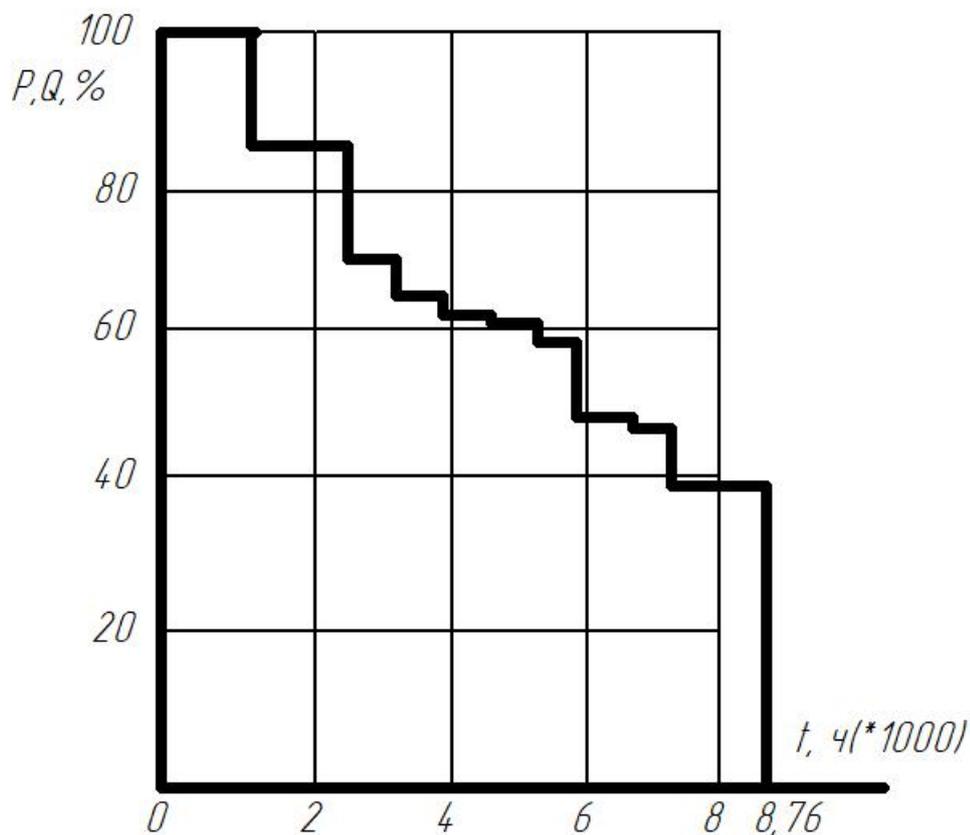


Рисунок 16 – График электрических нагрузок (годовое потребление) для нашего ЛМУ

Далее будет представлена методика расчета компенсации реактивной мощности для улучшения ЭСН нашего учреждения.

Расчет реактивной мощности в часы максимума:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,9 \cdot Q_{\text{сд}} = 386,22 \text{ квар}; \quad (22)$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha - P_p = 0,28 \cdot 553,05 = 154,854 \text{ квар}, \quad (23)$$

где Q_p – расчетная реактивная мощность;

$Q_{\text{сд}}$ – расчетная мощность синхронных двигателей.

Так как в период максимальных нагрузок, напряжение в нашей энергосистеме является пониженным, то мы вынуждены выбрать $Q''_{\text{э1}}$.

- Расчет реактивной мощности в часы минимума:

$$Q'_{\vartheta 2} = Q_{\min} + Q_K = 159,35 \text{ кВар}; \quad (24)$$

$$Q''_{\vartheta 2} = Q_{\min} - Q_{КД} = Q_{\min} - (Q_p - Q_{\vartheta 1}) = 159,35 - (386,22 - 154,854) = -72,016 \text{ квар} \quad (25)$$

где Q_{\min} – реактивная мощность в период минимальных нагрузок;

Q_K – реактивная мощность конденсаторной установки;

Так как в период минимальных нагрузок, напряжение в нашей энергосистеме является повышенным, то мы вынуждены выбрать $Q'_{\vartheta 2}$.

$$Q_{\vartheta 2} = 159,35 \text{ квар}. \quad (26)$$

Рассчитываем максимальную и минимальную реактивную мощность установленных компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{\vartheta 1} = 1,1 \cdot 386,22 - 154,854 = 270 \text{ квар}; \quad (27)$$

$$Q_{\text{ку. min}} = Q_{\min} - Q_{\vartheta 2} = 159,35 - 159,35 = 0 \text{ квар}.$$

Далее рассчитываем значение реактивной мощности, которая должна быть доставлена из ВН в НН (без компенсации реактивной мощности):

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\vartheta 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}) = 154,854 - (386,22 - 354,18) = 122,814 \text{ квар}. \quad (28)$$

Произведем расчет значения реактивной мощности, которая действительно будет доставлена из ВН в НН:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot \kappa_3 \cdot S_{н.м.})^2 - P_{p\Sigma}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 546^2} = 124,43 \text{ квар}. \quad (29)$$

Рассчитываем мощность компенсаторной установки на стороне НН:

$$Q_{ку.нн} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 354,18 - 124,43 = 229,75 \text{ квар} \quad (30)$$

Рассчитываем мощность компенсаторной установки на стороне ВН:

$$Q_{ку.вн} = Q_{ку.маx} - Q_{ку.нн} = 270 - 229,75 = 40,26 \text{ квар}. \quad (31)$$

На стороне НН выгодно установить БК, на стороне ВН БК устанавливать нецелесообразно. Принимая допущение о равномерном распределении реактивной мощности, выбираем и устанавливаем следующие КУ: Установка для компенсации марки «КРМ-У3» (2 штуки), с номинальным напряжением 0,4 кВ и номинальной полной мощностью $S = 205$ кВА [37].

Расчет затрат на компенсирующее устройство на стороне низкого напряжения

$$\begin{aligned} Z_{ку.н} &= E \cdot K_{ку} \cdot \left(\frac{U}{U_{ку}} \right) + C \cdot P_{ку} \cdot Q + E_p \cdot K_p \cdot n = \\ &= 0,223 \cdot 49700 \cdot \left(\frac{1}{1} \right) + 8992 \cdot 0,002 \cdot 210 + 0,27 \cdot 4700 \cdot 2 = \\ &= 17368 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (32)$$

где E – приведенное значение капиталовложений, принятое за 0,223;

$K_{ку}$ – цена за одну компенсирующую установку, учитывая налог на добавленную стоимость.

U – напряжение в узле подключения блока конденсаторов,

$U_{ку}$ – напряжение компенсирующего устройства;

C – цена удельных потерь активной мощности, руб/кВт;

$P_{ку}$ – активные потери в компенсирующем устройстве, кВт;

K_p – цена устройства для регулировки БК;

n – количество установок.

$$K_{\text{кв}} = K_y \cdot Q \quad (33)$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{\text{хх}} + C_m \cdot \kappa_3^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}} = 3485,5 \cdot 0,83 + 22450 \cdot 0,7^2 \cdot 5,5 = 63395 \text{ руб} \quad (34)$$

$$C = \frac{63395}{7,05} = 8992 \text{ руб / кВт} \quad (35)$$

где $C \cdot \Delta P_T$ - величина показывающая, убытки от потерь, возникающих в комплектно трансформаторных подстанциях у силовых трансформаторов, руб;

C_0 - величина показывающая стоимость $P_{\text{хх}}$ силового трансформатора руб/кВт;

$$C_0 = \frac{C_{\Gamma}}{W_n} \cdot \tau = \frac{1694055,2}{661000} \cdot 1,36 \cdot 10^3 = 3485,5 \text{ руб / кВт} , \quad (36)$$

где τ -диапазон времени максимальных потерь, ч;

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \cdot T_p = 1,36 \cdot 10^3 \text{ ч} , \quad (37)$$

где T_m - период использования максимального значения нагрузки за один год =2700 ч;

T_p - период работы силового трансформатора за один год = 8760 ч.

C_m - величина показывающая, убытки от активных потерь (нагрузка), руб/кВт·ч;

$$C_m = \frac{C_{\Gamma}}{W_p} \cdot T_p = \frac{1694055,2}{661000} \cdot 8760 = 22450,7 \text{ руб / кВт} , \quad (38)$$

где C_{Γ} - цена электроэнергии за 365 дней с учетом налога на добавочную стоимость, руб;

W_p - поставляемая электроэнергия, кВт·ч.

Расчет затрат на комплектную трансформаторную подстанцию:

$$Z_{КТП} = E \cdot K_{ТП} + C \cdot \Delta P_T \cdot N = 0,223 \cdot 1022,452 + 63,395 \cdot 2 = 354,8 \text{ тыс.руб.} \quad (39)$$

где $K_{ТП}$ – цена комплектной трансформаторной подстанции, тыс.руб.

Полный расчет затрат на комплектную трансформаторную подстанции и компенсирующее устройства:

$$Z_{общее} = Z_{к.н} + Z_{КТП} = 17,368 + 354,8 = 372,168 \text{ тыс.руб} \quad (40)$$

Расчеты сведены в таблицу Г.1, которая представлена в приложении Г. По итогам анализа затрат был выбран вариант с двумя силовыми трансформаторами типа ТМГ400/10/0,4 кВ, производства «Самарского электрощита» [38].

3.4 Установка источников бесперебойного питания (ИБП)

При выборе и расчете мощности ИБП учитываются несколько параметров, которые задаются и используются в расчетах. Это мощность нагрузки, характер нагрузки, время автономной работы ИБП и требования к надежности. Для сравнения различных классов ИБП приводится краткая таблица 8, указанная в источнике.

Таблица 8 – Характеристики ИБП (Off -1, On -2, Interactive-Line-3)

Характеристики	1	2	3
Полная мощность, кВА	<2	<5	Отсутствуют пределы ограничений
устойчивость помехам	weak	medium	Maximum
Стабилизатор U и f	отсутствует	отсутствует	Возможен
Диапазон работы от аккумуляторов	Пять минут	90 минут	120-300 минут

Продолжение таблицы 8

Характеристики	1	2	3
Форма сигнала ИБП	Трапецеидальная	Синусоидальная	Синусоидальная

При выборе источников бесперебойного питания, которые должны работать в режиме онлайн (on-line - то есть постоянно питать нагрузку без переключений), можно обратиться к обзору моделей ИБП с таким режимом работы. Такой обзор приведен в источниках [13], [43], а результаты можно собрать в таблицу 9 [39].

Таблица 9 – Характеристики ИБП с режимом работы on-line

Тип ИБП	ИБП с переключением	ИБП, взаимодействующий с сетью	ИБП феррорезонансный	ИБП с 2-ой трансформацией энергии	
				1ф	3ф
Разрыв U при переключении с сетевого питания на аккумулятор	+	+	+++++	+++++	+++++
Защита от ДН	++	++	++++	+++++	+++++
Защита от перепадов U	-	+	++++	++++	++++
Длительная работа	-	++	+++	+++	+++++
Защита от ЭМ и ВВ шумов	+	+	++++	+++++	+++++
Возможность параллельной работы	-	-	-	-	++++
Качество ЭСН в хороших условиях	++++	+++	+++++	++++	++++
Качество ЭСН в плохих условиях	++	+	+++++	++	++++
Защита электрооборудования в хороших условиях	++	++++	++++	+++++	+++++
Защита электрооборудования в плохих условиях	+	+	++++	++	+++

Из таблицы 9 можно увидеть, что наиболее подходящие для использования в СБЭ многопрофильного лечебного учреждения являются

ИБП с двойным преобразованием электроэнергии. При подключении нескольких ИБП в параллель, необходимо учитывать, что в случае отказа одного из них, оставшиеся ИБП должны быть достаточно мощными, чтобы обеспечить работу всей нагрузки. Для этого используется значение $N+1$, где N - количество ИБП, которые могут обеспечивать работу в случае отказа одного. Однако, если ИБП работают на 100% нагрузки, система не сможет обеспечить перегрузочную способность и могут появиться искажения на входе ИБП при уменьшении нагрузки, что может негативно сказаться на их эффективности. Поэтому каждый ИБП должен быть загружен не более чем на 75% для обеспечения рациональной работы. Коэффициент K_i , который определяет максимальную долю нагрузки, которую можно подключить к ИБП равен 0,75 и не может быть больше этого значения.

Соотнесем паспортную мощность источника бесперебойного питания и расчетную мощность (формула 41):

$$S_{ИБП} = \frac{S_p}{K_{исп}}, \quad (41)$$

где $S_{ИБП}$ – паспортная полная мощность источника бесперебойного питания, кВА;
 S_p – полная расчетная мощность, кВА;
 $K_{исп}$ – приведенное значение использования источника бесперебойного питания.

Полный расчет нагрузок СБЭ приведен в таблице Г.1 (приложение Г).

3.5 Выбор типа и расчет мощности дизельной электростанции (ДЭС)

Мощность дизельной электростанции, работающей в системе «ДЭС ИБП», определяется по формуле [13, 33]:

$$S_{ДЭС} = S_I + S_{II} = 22 + 68,4 = 90,4 \text{ кВА}, \quad (42)$$

где $S_{ДЭС}$ – мощность ДЭС с турбонадувом, при плавном переводе мощности с ИБП на ДЭС, кВА;

S_I – мощность потребителей первой категории, кВА;

S_{II} – мощность потребителей второй категории, кВА.

Мощность потребителей I категории S_I рассчитывается с учетом КПД ИБП, от которого запитаны эти потребители:

$$S_I = \sum_{i=1}^n \frac{S_{\Sigma n}}{\eta_n} = \frac{8,8}{0,9} + \frac{6,6}{0,9} + \frac{4,4}{0,9} = 22 \text{ кВА} \quad (43)$$

где $S_{\Sigma n}$ – суммарная расчетная мощность потребителей I категории, запитанных от ИБП, кВА;

η_n – КПД соответствующих ИБП.

Выбираем ДГУ FG Wilson P110-2, мощностью 100 кВА.

Результаты расчета сведены в таблицу Д.1 (Приложение Д).

3.6 Полный расчет токов КЗ на стороне низшего и высшего напряжения для электроснабжения ЛМУ

3.6.1 Полный расчет токов КЗ на стороне выше 1кВ для ЛМУ

При проектировании электроэнергетической системы необходимо проводить расчет токов короткого замыкания (КЗ). Это позволяет выбрать подходящее оборудование, которое сможет выдержать возникающие в результате КЗ токи, а также определить необходимость применения заземляющих устройств и разрядников. Расчеты проводятся по методике, описанной в [1]. В данном случае мы рассматриваем фидер «КЛВ-2», и расчет ведется для самого тяжелого случая, когда ток КЗ трехфазный и равен 4244

Ампера. Минимальный трехфазный ток короткого замыкания для этого фидера составляет 3700 Ампер. Аналогичные расчеты проводятся для других фидеров. Результаты расчетов сводятся в таблицу Е.1 (Приложение Е).

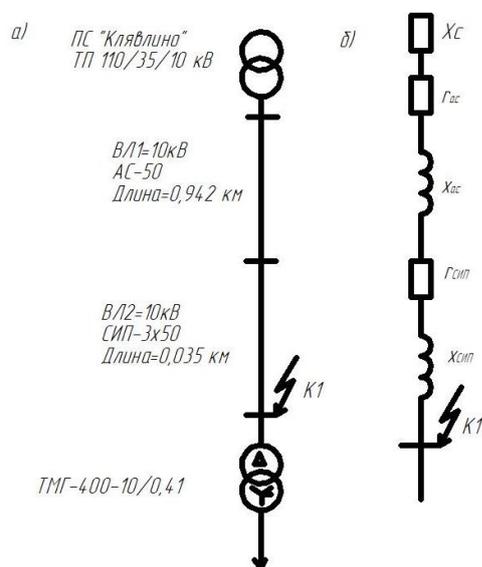


Рисунок 17 – Силовая схема ЭСН ЛМУ (а) и схема замещения ЛМУ (б) на стороне ВН

Произведем расчет параметров схемы замещения

Параметры системы:

$$x_c = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_{\max.к.з.}^{(3)}} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 4244} = 1,428 \text{ Ом}, \quad (44)$$

где U – напряжение системы, кВ;

$I_{\max.к.з.}^{(3)}$ – 3-х фазный ток КЗ на шинах подстанции низкого напряжения;

Параметры линии:

$$r = r_0 \cdot l, \quad (45)$$

$$x = x_0 \cdot l, \quad (46)$$

где r_0 –паспортное значение удельного активного сопротивления линии,

ом/км;

x_0 – паспортное значение удельного индуктивное сопротивления линии, ом/км;

l – длина линии, км [18].

$$r_{AC} = r_{0AC} \cdot l_{AC} = 0,65 \cdot 0,942 = 0,593 \text{ Ом}, \quad (47)$$

$$x_{AC} = x_{0AC} \cdot l_{AC} = 0,392 \cdot 0,942 = 0,369 \text{ Ом}, \quad (48)$$

$$r_{СИП2} = r_{0СИП} \cdot l_{СИП} = 0,72 \cdot 0,035 = 0,025 \text{ Ом}, \quad (49)$$

$$x_{СИП2} = x_{0СИП} \cdot l_{СИП} = 0,299 \cdot 0,035 = 0,01 \text{ Ом}. \quad (50)$$

Далее произведем расчет полного сопротивления в месте КЗ (точка К1):

$$\begin{aligned} z_{\text{э.к1}} &= \sqrt{(r_{AC} + r_{СИП})^2 + (x_{AC} + x_{СИП} + x_C)^2} = \\ &= \sqrt{(0,593 + 0,025)^2 + (0,369 + 0,01 + 1,428)^2} = 1,91 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (51)$$

Рассчитаем ток КЗ на стороне НН:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot z_{\text{э.к1}}} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 1,91} = 3,174 \text{ кА}. \quad (52)$$

Далее рассчитаем ударный ток КЗ:

$$i_{\text{уд}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)} \cdot \kappa_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 3,174 \cdot 1,45 = 6,5 \text{ кА}, \quad (53)$$

где $\kappa_{\text{уд}}$ - ударный коэффициент, [15].

Далее рассчитываем трехфазную полную мощность КЗ системы:

$$S_{\text{кз.с}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{к.к1}}^{(3)} \cdot U_{\text{ВН}} = \sqrt{3} \cdot 6,5 \cdot 10,5 = 57,7 \text{ МВА}. \quad (54)$$

3.6.2 Полный расчет токов КЗ на стороне ниже 1кВ для ЛМУ

Перед тем, как приступать к расчету кабельных линий, необходимо выбрать коммутационные аппараты, измерительные трансформаторы тока и линии питания, которые будут использоваться в системе. Это позволит определить токи короткого замыкания, которые будут проходить через систему, и соответствующие им номинальные токи, и напряжения для выбора необходимых кабельных линий, и аппаратов.

Основные линии ЭСН.

Расчетный ток в питающей линии в нормальном режиме I_p и в аварийном режиме I_{AB} :

$$I_p = \frac{S_{p.к.}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (55)$$

$$I_{AB} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (56)$$

где I_p – основной расчетный ток при нормальном режиме работы энергосистемы, А;

I_{AB} – основной расчетный ток при аварийном режиме работы энергосистемы, А;

$S_{p.к.}$ – основная расчетная мощность при нормальном режиме работы энергосистемы, кВА;

S_p – основная расчетная мощность при аварийном режиме работы энергосистемы, кВА.

Расчет силы тока для ввода №1-№2 (внутреннее распределительное устройство) [26]:

$$I_p = \frac{S_{p.к.}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{96,87}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 139,8 \text{ А} \quad (57)$$

$$I_{AB} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{195,67}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 282,43 \text{ A} \quad (58)$$

$$I_p = \frac{S_{p.к.}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{98,8}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 142,6 \text{ A}, \quad (59)$$

$$I_{AB} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{195,67}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 282,43 \text{ A}, \quad (60)$$

$$I'_{\text{дон}} \geq \frac{I_{AB}}{\kappa_{AB} \cdot n_k \cdot \kappa_{II} \cdot \kappa_t}, \quad (61)$$

где κ_{AB} – величина перегрузки в период максимума электрической нагрузки в период <6 часов в день в диапазоне пяти дней, [5], [13].

κ_{II} – величина расположения проводников (кабель) [5].

κ_t – величина равная температуре окружающей среды, в месте, где располагается проводник (кабель) [5].

n_k – количество параллельно проложенных проводников.

Расчет допустимого значения силы тока для ввода №1-№2 (внутреннее распределительное устройство)

$$I'_{\text{дон}} \geq \frac{I_{AB}}{\kappa_{AB} \cdot n_k \cdot \kappa_{II} \cdot \kappa_t} = \frac{282,43}{1,15 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,93} = 132 \text{ A}, \quad (62)$$

$$I'_{\text{дон}} \geq \frac{I_{AB}}{\kappa_{AB} \cdot n_k \cdot \kappa_{II} \cdot \kappa_t} = \frac{282,43}{1,15 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,93} = 132 \text{ A}. \quad (63)$$

Исходя из расчетов силы тока, выбираем нужное нам поперечное сечение проводника, которое в свою очередь должно удовлетворять требованию (формула 64):

$$I'_{\text{дон}} \leq I_{\text{дон}}, \quad (64)$$

где $I_{\text{дон}}$ - максимальное допустимое длительное значение силы тока [5].

Рассчитываем падения напряжения в проводнике (кабель) [15]:

ΔU для Ввода №1-№2 (внутреннее распределительное устройство):

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot P_p \cdot l \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{n_k \cdot U_n^2 \cdot \cos \varphi} \quad (65)$$

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot P_p \cdot l \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{n_k \cdot U_n^2 \cdot \cos \varphi} = \frac{10^5 \cdot 84,66 \cdot 0,145 \cdot (0,326 \cdot 0,87 + 0,0602 \cdot 0,49)}{2 \cdot 400^2 \cdot 0,87} \quad (66)$$

= 1%

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot P_p \cdot l \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{n_k \cdot U_n^2 \cdot \cos \varphi} = \frac{10^5 \cdot 86,62 \cdot 0,15 \cdot (0,326 \cdot 0,87 + 0,0602 \cdot 0,49)}{2 \cdot 400^2 \cdot 0,87} \quad (67)$$

= 1,46%

По результатам расчета делаем выбор, что нам подходит проводник марки «АВВГ» -1,0.

Силовое оборудование (разъединитель на стороне НН)

Условия выборки силового разъединителя, заключается в сравнение напряжения сети с номинальным напряжением разъединителя и сравнение номинального тока сети с номинальным током разъединителя (формула 68-71).

$$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 0,4 \text{ кВ} \quad (68)$$

$$I_{ном.дл} \leq I_{ном} \quad (69)$$

$$I_{ном} = 1,4 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,3 \text{ А} \quad (70)$$

$$I_{ном.дл} = 808,3 \text{ А} \leq I_{ном} = 1000 \text{ А} . \quad (71)$$

По результатам расчета делаем выбор, что нам подходит силовой разъединитель марки «РЕ» с номинальным током 1000А.

Измерительный ТТ (трансформатор тока)

Условия выборки измерительного ТТ, заключается в сравнение напряжения сети с номинальным напряжением ТТ и сравнение номинального

тока сети с номинальным первичным током (формула 72-74).

$$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 0,4 \text{ кВ} \quad (72)$$

$$I_{ном} = 1,4 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,3 \text{ А} \quad (73)$$

$$I_{ном.дл} = 808,3 \text{ А} \leq I_{ном} = 1000 \text{ А} \quad (74)$$

Ток в вторичной: 5А.

Класс точности: 0,5 А.

По результатам расчета делаем выбор, что нам подходит измерительный трансформатор тока марки «ТШН». С классом точности=0,5, и вторичном током = 5А.

Коммутационный аппарат №1 и №2 (автоматические выключатели)

Условия выборки коммутационного аппарата (автоматического выключателя), заключается в сравнение напряжения сети с номинальным напряжением коммутационного аппарата и сравнение номинального тока сети с номинальным током коммутационного аппарата (формула 75-77).

$$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 0,4 \text{ кВ} \quad (75)$$

$$I_{ном} = 1,4 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,3 \text{ А} \quad (76)$$

$$I_{ном.дл} = 808,3 \text{ А} \leq I_{ном} = 1000 \text{ А} . \quad (77)$$

По результатам расчета делаем выбор, что нам подходит автоматический выключатель марки «ВА» с номинальным током в 1000А и выключатель марки «ТД».

Далее рассчитаем токи КЗ на стороне низкого напряжения для ЛМУ. Расчет будет проводить для самого тяжелого случая, в нашем случае это КЗ на вводе под номером 1.

Необходимо составить схему замещения силовой части на стороне НН (0,4 кВ) (рисунок 18).

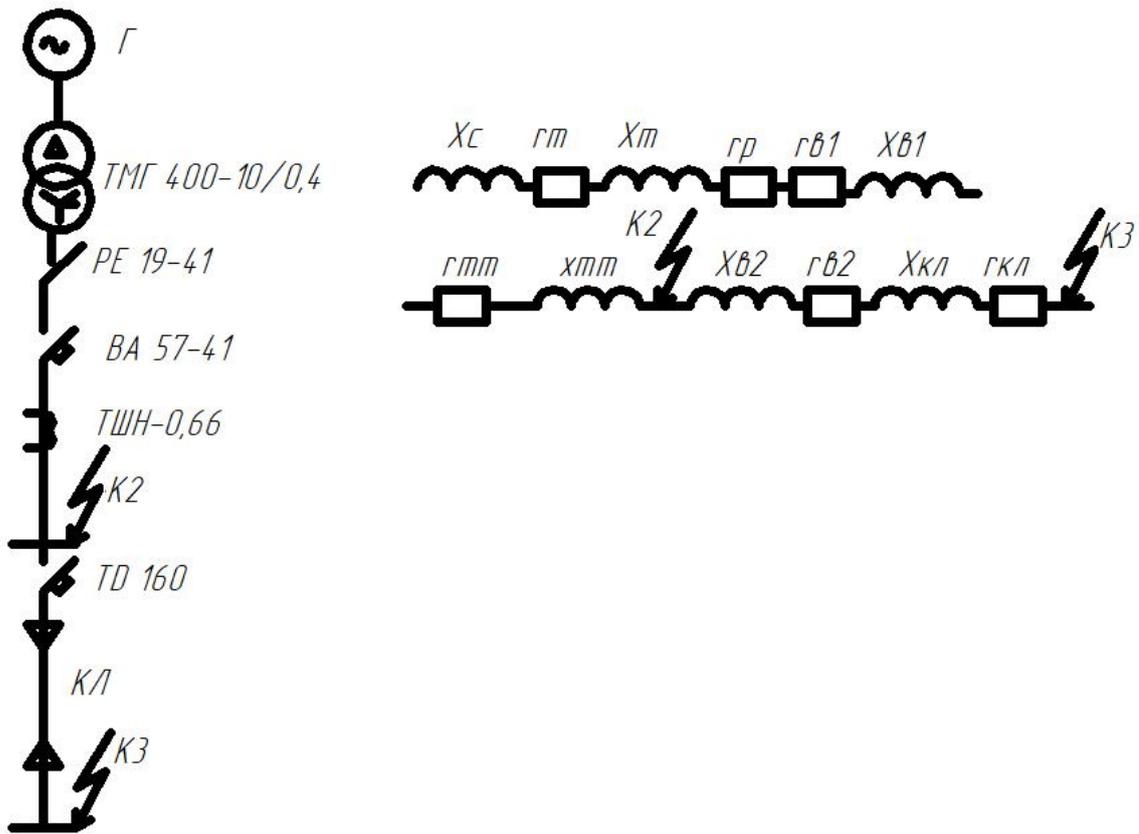


Рисунок 18 – Силовая схема ЭСН ЛМУ (а) и схема замещения ЛМУ (б) на стороне НН

Произведем расчет параметров схемы замещения

Параметры системы:

$$x_c = \frac{U_{BH}^2}{S_{кз.с}^{(3)}} \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = \frac{400^2}{57,7 \cdot 10^6} = 2,77 \text{ мОм} . \quad (81)$$

Параметры силового трансформатора

$$r_T = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_n^2}{S_n^2} = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{400^2} = 0,0055 \text{ мОм} , \quad (82)$$

где S_n –паспортная полная мощность СТ, кВА;

U_n –паспортное значение напряжения на стороне НН, кВ;

ΔP_{κ} –паспортное значение потерь в стали, кВт;

$$z_T = \frac{U_k \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{4,5 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 400} = 0,018 \text{ мОм} \quad (83)$$

где U_k – паспортное значение потерь в меди, %.

$$x_T = \sqrt{z^2 - r^2} = \sqrt{0,018^2 - 0,0055^2} = 0,017 \text{ мОм} \quad (84)$$

Параметры измерительного трансформатора тока (ТТ):

$$\begin{aligned} r_{ТТ} &= 0,05 \text{ мОм} \\ x_{ТТ} &= 0,07 \text{ мОм} \end{aligned} \quad (85)$$

Параметры коммутационных аппаратов (автоматический выключатель №1-2):

$$r_{\epsilon 1} = 0,065 \text{ мОм} \quad (86)$$

$$x_{\epsilon 1} = 0,17 \text{ мОм}$$

$$r_{\epsilon 2} = 1,3 \text{ мОм}$$

$$x_{\epsilon 2} = 0,7 \text{ мОм} \quad (87)$$

Параметры силового оборудования (разъединитель): $r_p = 0,15 \text{ мОм}$.

При определении тока КЗ в схему замещения вводится активное сопротивление, учитывающее совокупно все сопротивления контактов (рубильников, автоматов, контактов).

Добавочное сопротивление:

- на ПС: $r_{доб} = 15 \text{ мОм}$;

- на РУ запитанных от щитов ТП: $r_{доб} = 20 \text{ мОм}$.

Параметры проводников (кабельные линии):

$$r_{кл} = \frac{r_0 \cdot l_{кл}}{2} = \frac{0,326 \cdot 0,145}{2} = 0,023 \text{ Ом} \quad (88)$$

$$x_{кл} = \frac{x_0 \cdot l_{кл}}{2} = \frac{0,0602 \cdot 0,145}{2} = 0,004 \text{ Ом} \quad (89)$$

Далее с помощью алгебраической суммы складываем все известные активные и реактивные сопротивления между собой и находим полное сопротивление цепи до точки КЗ К2(формула 90-92):

$$r_{\Sigma К2} = r_m + r_p + r_{mm} + r_{\theta 1} + r_{\text{добр}} = 0,0055 + 0,15 + 0,05 + 0,65 + 15 = 15,86 \text{ мОм} \quad (90)$$

$$x_{\Sigma К2} = x_m + x_{mm} + x_{\theta 1} + x_c = 0,017 + 0,07 + 0,17 + 2,77 = 3,03 \text{ мОм} \quad (91)$$

$$z_{\Sigma К2} = \sqrt{r_{\Sigma К2}^2 + x_{\Sigma К2}^2} = \sqrt{15,86^2 + 3,03^2} = 16,14 \text{ мОм} \quad (92)$$

Производим расчет трехфазного тока КЗ на ТП (К2):

$$I_{к.к2}^{(3)} = \frac{U_{cp.n}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma К2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 16,14 \cdot 10^{-3}} = 14,31 \text{ кА} \quad (93)$$

Производим расчет ударного трехфазного тока КЗ на ТП (К2):

$$i_{y\theta.к2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{к.к2}^{(3)} \cdot k_{y\theta} = \sqrt{2} \cdot 14,31 \cdot 1,23 = 25,03 \text{ кА}. \quad (94)$$

Далее с помощью алгебраической суммы складываем все известные активные и реактивные сопротивления между собой и находим полное сопротивление цепи до точки КЗ К3(формула 95-97):

$$r_{\Sigma К3} = r_{\Sigma К2} + r_{кл} + r_{\theta 2} + r_{\text{добр}} = 15,86 + 1,3 + 23 + 20 = 60,16 \text{ мОм} \quad (95)$$

$$x_{\Sigma К2} = x_{\Sigma К2} + x_{\theta 2} + x_{кл} = 3,03 + 0,725 + 0,7 + 4 = 8,02 \text{ мОм} \quad (96)$$

$$z_{\Sigma К3} = \sqrt{r_{\Sigma К3}^2 + x_{\Sigma К3}^2} = \sqrt{60,16^2 + 8,02^2} = 60,69 \text{ мОм}. \quad (97)$$

Производим расчет трехфазного тока КЗ на ТП (КЗ):

$$I_{к.к3}^{(3)} = \frac{U_{ср.л}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma к3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 60,69} = 3,81 \text{ кА}. \quad (98)$$

Производим расчет ударного трехфазного тока КЗ на ТП (КЗ):

$$i_{уд.к3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{к.к3}^{(3)} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 3,81 \cdot 1 = 6,6 \text{ кА}. \quad (99)$$

Исходя из паспортных параметров внутреннего распределительного устройства, ток электродинамической устойчивости равен = 30кА [6].

Следовательно, ударный расчетный ток удовлетворяет условию выборки данного ВРУ (30кА > 6,6кА).

Далее рассчитаем полный ток дугового короткого замыкания для ЛМУ.

В начале найдем полное сопротивление с учетом сопротивления самой дуги:

Производим расчет полного сопротивления цепи в точке К2 с учетом сопротивления дуги:

$$z_{\Sigma} = \sqrt{(r_{\Sigma к2} + r_{\delta})^2 + x_{\Sigma к2}^2} = \sqrt{(15,86 + 15)^2 + 3,32^2} = 31,03 \text{ мОм}. \quad (100)$$

Производим расчет полного сопротивления цепи в точке К3 с учетом сопротивления дуги:

$$z_{\Sigma} = \sqrt{(r_{\Sigma к3} + r_{\delta})^2 + x_{\Sigma к3}^2} = \sqrt{(60,16 + 15)^2 + 7,73^2} = 78 \text{ мОм}. \quad (101)$$

Далее находим значения коэффициента снижения КЗ в начальный момент времени и для установившегося момента КЗ [31].

Выбираем для точки К2

$$\kappa_{c1} = 0,76; \kappa_{c2} = 0,64. \quad (102)$$

Выбираем для точки К3

$$\kappa_{c1} = 0,85; \kappa_{c2} = 0,77. \quad (103)$$

Далее производим расчет тока трехфазного дугового КЗ для ЛМУ:

$$I_{КД}^{(3)} = I_{КД}^{(3)} \cdot \kappa_c. \quad (104)$$

Производим расчет полного трехфазного тока КЗ в точке К2 с учетом сопротивления дуги:

$$I_{КД}^{(3)} = 14,26 \cdot 0,76 = 10,87 \text{ кА}; t \approx 0; \quad (105)$$

$$I_{КМ}^{(3)} = 14,26 \cdot 0,64 = 9,16 \text{ кА}; t_{кз} > 0,05 \text{ с}. \quad (106)$$

Производим расчет полного трехфазного тока КЗ в точке К3 с учетом сопротивления дуги:

$$I_{КД}^{(3)} = 3,81 \cdot 0,86 = 2,74 \text{ кА}; t \approx 0; \quad (107)$$

$$I_{КМ}^{(3)} = 3,81 \cdot 0,85 = 3,24 \text{ кА}; t_{кз} > 0,05 \text{ с}. \quad (108)$$

Далее производим расчет ударного тока КЗ для ЛМУ

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot I_{КМ}^{(3)} \cdot \kappa_y. \quad (109)$$

Производим расчет полного ударного тока в точке К2 с учетом сопротивления дуги:

$$x_{\Sigma K2} / r_{\Sigma K2} = 0,01; \kappa_y = 1; \quad (110)$$

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot I_{KM}^{(3)} \cdot \kappa_y = \sqrt{2} \cdot 1,01 \cdot 9,16 = 12,7 \text{ кА} \quad (111)$$

Производим расчет полного ударного тока в точке К3 с учетом сопротивления дуги:

$$x_{\Sigma K3} / r_{\Sigma K3} = 0,011; \kappa_y = 1; \quad (112)$$

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot I_{KM}^{(3)} \cdot \kappa_y = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,24 = 4,15 \text{ кА} \quad (113)$$

3.7 Полный расчет и установка электрических проводников для силового электрооборудования в ЛМУ

3.7.1 Установка электрических проводников для силового электрооборудования в ЛМУ на стороне ВН

Выбираем силовое оборудование – выключатель нагрузки (таблица 10).

Условия выборки силового оборудования (выключателя нагрузки), заключается в сравнение напряжения сети с номинальным напряжением выключателя нагрузки, сравнение номинального тока сети с номинальным током выключателя нагрузки, с расчетной отключающей способностью и отключающей способностью выключателя нагрузки ($I_{откл}$), сравнение отключающей способности аperiodической составляющей тока короткого замыкания, устойчивость на электродинамическую и термическую стойкость (формулы 114-126).

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ} \quad (114)$$

$$I_{ном} = 1,4 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 30,79 \text{ A} \quad (115)$$

$$I_{ном.дл} = 30,79 \text{ A} \leq I_{ном} = 630 \text{ A} \quad (116)$$

$$I_{н.0} = 3,17 \text{ кА} \leq I_{откл.ном} = 20 \text{ кА} \quad (117)$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.ном} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{нор} / 100) \cdot I_{откл.ном} \quad (118)$$

$$\tau = t_{пз} + t_{св} = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}; \quad (119)$$

$$i_{a.ном} = (\sqrt{2} \cdot 32 / 100) \cdot 20 = 9,051 \text{ кА} \quad (120)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{н.0} \cdot e^{-\tau/T_a} = \sqrt{2} \cdot 3,17 \cdot e^{-0,05/0,05} = 1,65 \text{ кА} \quad (121)$$

$$I_{н.0} = 3,17 \text{ кА} \leq I_{н.рс} = 20 \text{ кА} \quad (122)$$

$$i_{yд} = 7,97 \text{ кА} \leq i_{н.рс} = 51 \text{ кА} \quad (123)$$

$$B_k = I_{н.0}^2 \cdot (t_{откл} + T_a) = 3,17^2 \cdot (0,32 + 0,05) = 3,712 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (124)$$

$$B_{к.ном} = 20^2 \cdot 0,32 = 128 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (125)$$

$$B_k = 3,712 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq B_{к.ном} = 128 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (126)$$

Таблица 10 – Паспортные и расчетные характеристики силового выключателя нагрузки

Силовой Выключатель марки «ВНАП-3У2»	
Расчетные и исходные характеристики	Паспортные характеристики
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном.дл} = 30,79 \text{ A}$	$I_{ном} = 630 \text{ A}$
$I_{н.0} = 3,17 \text{ кА}$	$I_{откл.ном} = 20 \text{ кА}$
$i_{a,\tau} = 1,65 \text{ кА}$	$i_{a.ном} = (\sqrt{2} \cdot 32 / 100) \cdot 20 = 9,051 \text{ кА}$
$I_{н.0} = 3,17 \text{ кА}$	$I_{н.рс} = 20 \text{ кА}$
$i_{yд} = 7,97 \text{ кА}$	$i_{н.рс} = 51 \text{ кА}$
$B_k = 3,712 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{к.ном} = 128 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

По результатам расчета выбираем два выключателя марки «ВНАП-

ЗУ2», с номинальным напряжением 10 кВ, номинальным длительным током 630 А, ток отключения 20 кА. Один силовой выключатель будет установлен в ячейку воздушного ввода, второй в ячейку силового трансформатора.

Выбираем защитное оборудование – предохранитель.

Условия выборки защитного оборудования (предохранитель), заключается в сравнение напряжения сети с номинальным напряжением предохранителя, сравнение номинального тока сети с номинальным током предохранителя, с расчетной отключающей способностью и отключающей способностью предохранителя ($I_{откл}$):

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ} \quad (127)$$

$$I_{ном.дл} = 30,79 \text{ А} \leq I_{ном} = 50 \text{ А} \quad (128)$$

$$I_{п.0} = 3,17 \text{ кА} \leq I_{откл.ном} = 12,5 \text{ кА} \quad (129)$$

По результатам расчета выбираем предохранитель марки «ПКТ» с номинальным напряжением 10 кВ, номинальным током в 50А, и номинальным током отключения в 12,5 кА.

Выбираем силовое оборудование – разъединитель (таблица 11).

Условия выборки силового оборудования (разъединителя), заключается в сравнение напряжения сети с номинальным напряжением разъединителя, сравнение номинального тока сети с номинальным током разъединителя, устойчивость на электродинамическую и термическую стойкость.

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ} \quad (130)$$

$$I_{ном} = 1,4 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 30,79 \text{ А} \quad (131)$$

$$I_{ном.дл} = 30,79 \text{ А} \leq I_{ном} = 400 \text{ А} \quad (132)$$

$$i_{уд} = 7,97 \text{ кА} \leq i_{н.рс} = 25 \text{ кА} \quad (133)$$

$$B_{\kappa} = I_T^2 \cdot t_T = 3,712^2 \cdot 4 = 40,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (134)$$

$$B_{к.ном} = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (135)$$

$$B_{к} = 40,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq B_{к.ном} = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (136)$$

Таблица 11 – Паспортные и расчетные характеристики разъединителя

Разъединитель марки «РЛНД-УХЛ1»	
Расчетные и исходные характеристики	Паспортные характеристики
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном.дл} = 30,79 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
$i_{уд} = 7,97 \text{ кА}$	$i_{н.рс} = 25 \text{ кА}$
$B_{к} = 40,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{к.ном} = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

По результатам расчета выбираем разъединитель марки «РЛНД», с одним заземляющим ножом, номинальным напряжением 10 кВ, и номинальным длительным током 400А.

Далее выбираем измерительный трансформатор тока ТТ (таблица 12).

Условия выборки измерительного ТТ, заключается в сравнение напряжения сети с номинальным напряжением ТТ и сравнение номинального тока сети с номинальным первичным током Трансформатор тока (ТТ), устойчивость на электродинамическую и термическую стойкость.

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ} \quad (137)$$

$$I_{ном} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 21,99 \text{ А} \quad (138)$$

$$I_{ном.дл} = 21,99 \text{ А} \leq I_{ном} = 40 \text{ А} \quad (139)$$

$$i_{уд} = 7,97 \text{ кА} \leq i_{эл.дин} = 10 \text{ кА} \quad (140)$$

$$B_{к} = 10,05 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq B_{к.ном} = 16 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (141)$$

Таблица 12 – Паспортные и расчетные характеристики измерительного ТТ

Трансформатор тока марки «ТОЛ»	
Расчетные и исходные характеристики	Паспортные характеристики
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном.дл} = 30,79 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_{уд} = 7,97 \text{ кА}$	$i_{н.рс} = 51 \text{ кА}$
$B_k = 3,712 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{к.ном} = 128 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

По результатам расчета выбираем ТТ марки «ТОЛ», с номинальным напряжением 10 кВ, и номинальным длительным током 630А, током отключения 51 кА.

3.7.2 Установка электрических проводников для силового электрооборудования в ЛМУ на стороне НН

Выбираем силовое оборудование – разъединитель.

Условия выборки силового оборудования (разъединителя), заключается в сравнение напряжения сети с номинальным напряжением разъединителя, сравнение номинального тока сети с номинальным током разъединителя.

$$U_{ном} = 0,38 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 0,4 \text{ кВ} \quad (142)$$

$$I_{ном} = 1,4 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,3 \text{ А} \quad (143)$$

$$I_{ном.дл} = 808,3 \text{ А} \leq I_{ном} = 1000 \text{ А} . \quad (144)$$

По результатам расчета выбираем разъединитель марки «РЕ» с номинальным током в 1000 А.

Выбираем силовое оборудование – силовой выключатель.

Условия выборки силового оборудования (силовой выключатель), заключается в сравнение напряжения сети с номинальным напряжением силового выключателя, сравнение номинального тока сети с номинальным

ТОКОМ СИЛОВОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ.

$$U_{ном} = 0,38 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 0,4 \text{ кВ} \quad (145)$$

$$I_{ном} = 1,4 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,3 \text{ А} \quad (146)$$

$$I_{ном.дл} = 808,3 \text{ А} \leq I_{ном} = 1000 \text{ А} . \quad (147)$$

Остальные выключатели, не являющиеся коммутационными, выбираются с учетом тех же параметров. Для определения максимального тока используется расчетная мощность в аварийном режиме. Полученные результаты заносятся в таблицу И.1 в приложении И.

Для подключения к сети электроснабжения корпусов больницы используется кабель марки АВВГ-1,0, который прокладывается в траншеях на глубине 0,7 м относительно планировочной отметки земли. При пересечении с коммуникациями и автодорогами кабель защищается асбестоцементной трубой и кирпичом в соответствии с требованиями. Подъемы и опуски кабеля к ДГУ выполняются в водогазопроводной трубе.

Расчет питающих линий ведем по методике, описанной при предварительном выборе питающих линий. При этом необходимо учитывать уставки расцепителей выбранных автоматических выключателей.

Если потребители запитываются одним кабелем, то расчет ведется по упрощенной схеме. Сечение кабелей напряжением до 1кВ определяется по допустимому току в нормальном режиме работы с учетом условий его прокладки, проверяется по току перегрузки, потере напряжения, термической стойкости токам короткого замыкания.

Расчетный ток в кабельной линии в нормальном режиме:

$$I_p = \frac{S_{p.к}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (148)$$

где $S_{p.к}$ – мощность, которая должна передаваться по кабельной линии в

нормальном режиме работы кВА.

Выбирается сечение кабеля так, чтобы выполнялось условие:

$$I_p \leq I_{\text{дл.доп}}, \quad (149)$$

где $I_{\text{дл.доп}}$ - длительно допустимый ток с учетом поправки на число рядом проложенных в земле кабелей k_1 и на температуру окружающей среды k_t :

$$I_{\text{дл.доп}} = k_n \cdot k_t \cdot I_{\text{доп.ном}}. \quad (150)$$

При этом учитываем потери напряжения в кабельной линии [15]:

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot P_p \cdot l \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{n_k \cdot U_n^2 \cdot \cos \varphi}. \quad (151)$$

Выводы по разделу 3. Были посчитаны электрические нагрузки по всей больнице. Выполнен полный расчет освещения и оборудования корпусов лечебно-медицинского учреждения, рассчитана и выбрана ДГУ, рассчитаны токи КЗ на стороне ВН и НН подстанции. Выполнен полный расчет и установка электрических проводников для силового электрооборудования в ЛМУ.

Заключение

Медицинские учреждения, включая многопрофильные лечебные учреждения, нуждаются в надежном электроснабжении, чтобы обеспечить нормальное функционирование и безопасность пациентов и персонала. Обычно электроэнергия используется для питания медицинского оборудования, освещения и других систем. Однако электроснабжение медицинских учреждений имеет свои особенности и требует строгого соблюдения норм и правил безопасности. Необходимо учитывать потребление электроэнергии в различных зонах лечебного учреждения и принимать меры по энергосбережению.

Анализ электроприемников в многопрофильных лечебных учреждениях показал, что оборудование имеет различные функции и уровень сложности. Высокотехнологичное оборудование требует надежной и безопасной системы электроснабжения с качественной электроэнергией. Для обеспечения надежности электроснабжения многопрофильных лечебных учреждений необходима система бесперебойного питания на основе источников бесперебойного питания (ИБП) и схема параллельно включенных ИБП с резервированием N+1; дизель-генераторная установка (ДГУ) и устройство автоматического включения резерва (АВР) для переключения питания на резервный - ДГУ. Качество электроэнергии играет важную роль для электрооборудования медицинских учреждений, и для поддержания качества электроэнергии на допустимом уровне необходимо распределять нагрузки по фазам, выбирать оборудование с улучшенными характеристиками, компенсировать реактивную мощность в сети, применять ограничители перенапряжения (ОПН) и устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), разрядники. Безопасность для потребителей электроэнергии многопрофильных лечебных учреждений является особенно важной, и для этого необходимо предусматривать медицинскую систему ИТ, медицинские разделительные трансформаторы, защитное заземление, уравнивание

потенциалов. Методика проектирования многопрофильных лечебных учреждений может быть использована при проектировании подобных учреждений, и при проектировании МЛУ Клявлинская НРБ были приняты соответствующие схемные решения, включая электроснабжение от двухтрансформаторной подстанции, компенсацию реактивной мощности, управляемой КРМ, медицинскую систему ИТ с медицинскими разделительными трансформаторами и выбор коммутационного оборудования.

Также в ходе методики проектирования было принято во внимание качество электроэнергии, где были предусмотрены ограничители перенапряжения и устройства защиты от импульсных перенапряжений для снижения влияния импульсных и грозовых перенапряжений.

Для обеспечения безопасности потребителей в многопрофильном лечебном учреждении были применены медицинская система ИТ, медицинские разделительные трансформаторы, защитное заземление и уравнивание потенциалов.

Таким образом, методика проектирования многопрофильного лечебного учреждения была успешно применена при проектировании МЛУ Клявлинская НРБ. Были выбраны оптимальные схемные решения для обеспечения надежности и безопасности электроснабжения, а также улучшения качества электроэнергии для потребителей медицинских учреждений.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Вахнина В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2016.
2. Воробьев А.Ю. Электроснабжение компьютерных и телекоммуникационных систем. М.: Эко-Трейдз, 2020. 280 с.
3. ГОСТ 28249 - 93. Короткие замыкания в электроустановках переменного напряжения до 1 кВ. М.: Издательство межгосударственных стандартов, 1994.
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014
5. ГОСТ Р 52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. М.: Стандартинформ, 2007.
6. ГОСТ Р 52736-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания. М.: Стандартинформ, 2007.
7. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. М.: Изд-во МЭИ, 2004.
8. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: учеб. пособие. - М.: Издательство «Мастерство», 2017. 320 с.
9. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб, для вузов. М.: Интермет Инжиниринг, 2017. 670 с.
10. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: Высш, шк., 2020. 362 с.

11. Макаров Е. Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ: в 6 т.: учеб.-произв. изд. Т. 2 / Е. Ф. Макаров ; под ред. И. Т. Горюнова [и др.]. М.: ПАПИРУС ПРО, 2020. 622 с.

12. Макаров Е. Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и ПО-1150 кВ: в 6 т.: учеб.-произв. изд. Т.3 / Е. Ф. Макаров ; под ред. И.Т. Горюнова [и др.]. М.: ПАПИРУС ПРО, 2020. 677 с.

13. Макаров Е. Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ: учеб.-произв. изд. Т.1 / Е. Ф. Макаров ; под ред. И.Т. Горюнова [и др.]. М.: ПАПИРУС ПРО, 2019. 603 с.

14. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ: в 6 т.: учеб.- произв. изд. Т.5/ под ред. И.Т. Горюнова и др. М.: Папирус Про, 2021. 518 с.

15. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ: в 6 т.: учеб.- произв. изд. Т.6/ под ред. гл. специалистов ОАО «Мосэнерго». М.: Изд-во «Энергия», 2021. 492 с.

16. Методические рекомендации по определению расчетных электрических нагрузок учреждения здравоохранения. М., Гипронииздрав, 1988.

17. Мусин А.Х. Модель процесса технического обслуживания систем электроснабжения 6-10 кВ городов // Промышленная энергетика. 2018. №10. С. 12-15.

18. Полуянович Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Лань, 2019. 400 с

19. Пособие по проектированию учреждений здравоохранения (к СНиП 2.08.02-89). Раздел I- Общие положения. Инженерное оборудование, М., МЗ СССР, 1990.

20. Пособие по проектированию учреждений здравоохранения (к СНиП 2.08.02-89). Раздел II – Стационары. М: МЗ СССР, 1989.

21. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е издание. Утв. приказом Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. N 204.

22. Рожкова Л.Д., Каркнеева Л.К., Чикова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. М.: Academia, 2015. 447 с.
23. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 - 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. М.: Изд-во ЭНАС, 2003.87 с.
24. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. М.: ЦПП, 1995. 134 с.
25. СП 31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» (одобрен и рекомендован к применению постановлением Госстроя РФ от 26 ноября 2003 г. N 194).
26. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Знак. 2016. 972 с.
27. Чепурин И.Н. Источники бесперебойного питания. Что нового?// Сети и системы связи. 2020. №10. С. 15-18.
28. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. СП-б.: Энергоатомиздат, 2018. 296 с.
29. Шведов Г.В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети: учебное пособие. М.: Издательский дом «МЭИ», 2017. 268 с.
30. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 216 с
31. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 136 с
32. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 1: Общие вопросы. Электротехнические материалы/ под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. М.: Изд-во МЭИ, 2003.
33. Электротехнический справочник: в 4 т. Т.2: Электротехнические изделия и устройства/ под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. М.; Изд-во МЭИ, 2013.

34. G. Lozano, S.RK Rodriguez, M.A Verschuuren, J Gomez Rivas. Potential energy savings from high-resolution sensor controls for LED lighting [Text] / G. Lozano, S.RK Rodriguez, M.A Verschuuren, J Gomez Rivas // Light: 89 Science & Applications. 2016. P. 43-53.

35. Girondel V. Belief theory-based classifiers comparison for static human body postures recognition in video // Proc. WEC. 2015. P. 237-240.

36. J. Yin Abnormal behavior recognition using self-adaptive hidden markov models // Proc. Springer ICIAR, LNCS 5627. 2015, pp. 337–346.37. Jurcik, J. Analysis of transient actions influence in power transformer [Text] / Jurcik, J, Gutten. M, Korenciak. D // Advances in Electrical and Electronic Engineering. 2013. Vol. 9. N 2. P. 65-69.

37. Pillai P., Pierce A., Bailey B., Douglas B., Mozina C., Normand C. Grounding and Ground Fault Protection of Multiple Generator Installations on Medium Voltage Industrial and Commercial Systems. Part 2: Grounding Methods // 78 Record of the 2003 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conf., SC, USA, 2018.

38. Tomi Pulli. Advantages of white LED lamps and new detector technology in photometry [Text] / Tomi Pulli // Light: Science & Applications. 2019. P. 1-7.

39. Zou C. Behavior Classification method based on skeleton model from video images // Proc. IEEE international Conference on Computer Science and Information Technology. 2015. P. 309-312.

Приложение А

Расчет электрических нагрузок третьего корпуса

Таблица А-1 – Расчет электрических нагрузок блока «В» на стороне низкого напряжения

Название ЭП	Количество ЭП, <i>n</i>	Мощность электроприемника приведенная к дл. режиму (ПВ=100%)		K_c	$\cos\phi$	$\text{tg}\phi$	Нагрузка из расчетов		
		Один электроприемник, кВт	Все электроприемник и вместе, кВт				P , кВт	Q , квар	S , кВА
РПВ									
Сантехническое оборудование	54	1,75/0,008	4,579	0,58	0,69	1,06	2,66	2,8	3,86
Итого по РПВ	54	1,75/0,008	4,579	0,58	0,69	1,06	2,66	2,8	3,86
РП1									
Сантехническое оборудование	4	1,1/0,285	2,07	0,85	0,7	1,02	2,07	2,1	2,95
Холодильное оборудование	1	0,2	од	1	0,65	1,17	0,2	0,23	0,21
Штепсельные розетки	2	0,06	0,12	0,1	0,9	0,48	0,012	0,006	0,013
Кухонные электроприборы	2	0,6/1	2	0,9	0,95	0,33	2	0,66	2,11
Электрополотенце	3	0,6	1,8	0,4	0,9	0,48	0,72	0,35	0,8
Итого по РП1	9	1,1/0,06	6,19	0,69	0,78	0,79	4,25	3,35	5,41
РП2									
Штепсельные розетки	17	0,06	1,02	0,1	0,9	0,48	0,1	0,05	0,11
Переносная медицинская аппаратура	3	0,5	1,5	0,15	0,95	0,33	0,23	0,07	0,34
Стационарное мед.оборудование	4	0,6/0,03	1,06	0,55	0,95	0,33	0,58	0,19	0,61

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

Сантехническое оборудование	1	0,2	0,2	1	0,65	1,17	0,2	0,2	0,21
Компьютер	1	0,4	0,4	0,5	0,65	1,17	0,2	0,23	0,31
Часы электронные	3	0,024	0,07	1	0,95	0,33	0,07	0,024	0,07
ЩР1									
а. освещение	9	0,06/0,036	0,612	1	0,95	0,33	0,612	0,31	0,65
б. штепсельные розетки	2	2	0,06	0,12	0,1	0,9	0,48	0,012	0,006
в. компьютер	2	2	0,4	0,8	0,5	0,65	1,17	0,4	0,47
Итого по ЩР1	13	2/0,036	1,53	0,55	0,8	0,66	0,85	0,56	1
ЩР3									
а. стационарное мед.оборудование	9	0,8/0,02	1,52	0,425	0,95	0,329	0,646	0,21	0,68
Итого по ЩР3	9	0,8/0,02	1,52	0,43	0,95	0,33	0,646	0,21	0,68
ЩР4									
а. стационарное медицинское термическое оборудование	1	0,3	0,3	0,97	0,95	0,93	0,291	0,1	0,31
б. стационарное медицинское оборудование	2	0,5	1	0,65	0,95	0,98	0,2	0,2	0,38
в. сантехническое оборудование	1	0,2	0,2	1	0,75	0,88	0,2	0,18	0,27
г. штепсельные розетки	2	0,06	0,12	0,1	0,9	0,48	0,012	0,006	0,01
Итого по ЩР4	7	2,3/0,06	1,92	0,31	0,78	0,79	0,6	0,47	0,76
ЩР5									
а. стационарное медицинское оборудование	1	0,4	0,4	0,65	0,95	0,98	0,4	0,39	0,56
б. штепсельные розетки	1	0,06	0,06	0,1	0,9	0,48	0,06	0,03	0,07

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

Итого по ЦР5	2	0,06/0,4	0,46	0,95	0,72	0,95	0,44	0,42	0,61
Итого по РП2	60	2/0,02	9,68	0,36	0,87	0,61	3,52	2,14	4,12
Стационарное медицинское оборудование	10	1/0,75	8,75	0,4	0,95	0,33	3,5	1,15	3,68
Сантехническое оборудование	6	0,2	1,2	0,75	0,65	1,17	0,9	1,05	138
Переносная медицинская аппаратура	3	0,5	1,5	0,15	0,95	0,33	0,14	0,05	0,15
Штепсельные розетки	63	0,06	3,78	0,1	0,95	0,33	0,38	0,12	0,4
Часы электронные	3	0,024	0,07	1	0,95	0,33	0,07	0,024	0,08
Компьютер	8	0,4	3,2	0,5	10,6 5	1,17	1,6	1,87	2,46
Световое табло «Не входить»	5	0,09	0,45	1	0,95	0,33	0,45	0,15	0,47
ЦР2									
а. освещение	6	0,072	0,432	1	0,96	0,29	0,43	0,13	0,45
б. штепсельные розетки	1	0,06	0,06	0,1	0,9	0,48	0,006	0,003	0,07
в. компьютер	1	0,4	0,4	0,5	0,65	1,17	0,2	0,23	0,31
Итого по ЦР2	8	0,4/0,06	0,89	0,61	0,82	0,67	0,54	0,36	0,65
Итого по РИЗ	108	1/0,06	21,04	0,34	0,85	0,7	7,13	5,01	8,71
РП4									
Подъемная платформа	1	1	1	1	0,65	1,17	1	1,17	1,54
Пожарная сигнализация	3	0,16/0,08	0,4	1	0,75	0,88	0,4	0,35	0,53
Сантехническое оборудование	2	5,5/1,5	7	1	0,65	1,17	7	8,18	10,7
Итого по РП4	6	5,5/0,08	8,4	1	0,85	1,16	8,4	9,7	12,8
Итого по ЦО1	51	0,1/0,018	3,57	1	0,96	0,27	3,57	0,95	3,69
Итого по ЦО2	74	0,1/0,018	4,72	1	0,96	0,29	4,72	139	4,92
Итого по ЦО3	82	0,1/0,018	6,13	0,97	0,96	0,29	5,7	1,66	5,93

Приложение Б
Расчет нагрузок 0,4 кВ в ЛМУ

Таблица Б.1 – Расчет нагрузок 0,4 кВ по основному корпусу (Блок А, Б)

Наименование узла питания или группы электроприемников	Количество ЭП, <i>n</i>	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		K _c	cosφ	tgφ	Расчетная нагрузка		
		1 ЭП, кВт	Всех ЭП, кВт				P, кВт	Q, квар	S, кВА
ЩС1-1	25	1/0,15	6,5	1	0,85	0,62	6,5	4,03	7,65
ЩС1-2	15	1/0,15	5,74	0,63	0,85	0,62	3,62	2,24	4,26
ЩС1-3	14	2/0,15	13,65	0,69	0,85	0,62	9,36	5,8	11
ЩС1-4	3	1/0,2	2,2	1	0,75	0,88	2,2	1,94	2,93
ЩС2-1	33	0,03/5,8	29,33	0,15	0,85	0,32	4,4	2,73	5,2
ЩС2-2	2	0,2/1	1,2	1	0,75	0,35	1,2	1,06	1,6
ЩС2-3	29	0,03/5,8	39,2	0,22	0,35	0,62	8,57	5,31	10,08
ЩС2-4	10	0,4	4	0,7	0,65	0,32	23	1,74	3,3
ЩС3-2	17	0,15/3	15,58	0,327	0,85	0,62	5,1	3,16	6
ЩС3-3	3	0,15/3	0,86	1	0,75	0,88	0,86	0,76	1,15
ЩС3-4	3	0,5/0,06	0,86	1	0,75	0,88	0,86	0,76	1,15
ЩС3-5	2	1	2	1	0,75	0,88	2	1,76	2,66
ЩС3-6	2	1	2	1	0,75	0,88	2	1,76	2,66
ЩС3-7	3	1	3	1	0,75	0,88	3	2,64	4
ЩС3-8	1	1	1	1	0,75	0,88	1	0,88	1,33
ЩС3-9	16	1/0,15	5,38	0,52	0,9	0,48	2,8	1,344	3,11
ЩС3-10	18	1,8/0,15	7,63	1	0,98	од	7,63	1,526	7,78

Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

ЩС2	50	0,08/1,74	23,92	0,6	0,8	0,75	14,35	10,76	17,94
ЩС3	10	0,04/1	3,5	0,8	0,75	0,88	2,8	2,46	3,73
ЩС4	11	0,1/2,95	9,61	0,71	0,75	0,88	6,81	6	9,1
ЩСУ	1	0,5	0,5	1	0,88	0,54	0,5	0,27	10,57
ЩО1	58	0,1/0,04	10,28	0,65	0,92	0,43	6,7	2,88	7,29
ЩО2	47	1/0,04	7,5	0,69	0,92	0,43	5,2	2,24	5,66
ЩО3	35	0,1/0,072	3,16	0,9	0,92	0,43	2,84	1,22	3,09
ЩО4	48	0,072/0,06	6,68	0,9	0,92	10,4	6	2,58	6,53
ЩО5	35	0,1/0,06	6,25	0,9	0,92	0,43	5,62	2,42	6,12
ЩО6	75	0,1/0,072	8,53	0,8265	0,92	0,43	7,05	3,0315	7,67414
ЩО7	42	0,072/0,06	4,45	0,8988 76	0,92	0,43	4	1,72	4,354124
ЩО8	56	0,72/0,04	6,72	0,7023 81	0,92	0,43	4,72	2,0296	5,137867
ЩО9	73	0,072/0,06	9,94	0,6257 55	0,92	0,43	6,22	2,6746	6,770664
ЩОЮ	62	0,072/0,06	8,49	0,6360 42	0,92	0,43	5,4	2322	5,878068 1
ЩО11	64	0,072/0,06	7,51	0,6258 32	0,92	0,43	4,7	2,021	5,116096
ЩО12	53	0,072/0,6	6,31	0,7622 82	0,92	0,43	4,81	2,0683	5235835
ЩО13	55	0,1/0,072	7,49	0,6942 59	0,92	0,43	53	2,236	5,660362
ЩО14	46	0,072	5,12	0,7304 69	0,92	0,43	3,74	1,6082	4,071106

Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

ЩО15	32	0,072	2,3	1	0,92	0,43	23	0,989	2,303622
ЩО16	29	0,072	2,088	1	0,92	0,43	2,1	0,903	2,385915
ЩО17	19	0,1/0,04	2	1	0,92	0,43	2	0,86	2,177062
ЩОА1	23	0,1/0,04	1,5	1	0,92	0,43	13	0,645	1,632797
ЩОА2	36	0,1/0,06	2	1	0,92	0,43	2	0,86	2,177062
ЩОА3	27	0,072/0,04	1,7	1	0,92	0,43	1,7	0,731	1,850503 1
ЩОА4	32	0,072/0,06	1,5	1	0,92	0,43	1,5	0,645	1,632797
ЩОА5	33	0,1/0,06	2,5	1	0,92	6,43	2,5	1,075	2,721328
ЩОА6	5	0,1	0,5	1	0,92	0,43	0,5	0,215	0,544266
ЩОА7	45	0,072/0,4	2,5	1	0,92	0,43	2,5	1,075	2,721328
ШУК	37	0,08	3	1	0,65	1,16 913	3	3,50738 9	4,615385
Флюорограф ФЦ-ОГ «Электрон»	1	50/5	50/5	1	0,67	1,12	5	5,6	7,50733
Освещение эвакуационных выходов	6	0,4	0,24	1	1	0	0,24	0	0,24
Лифт пассажирский	1	8,3	8,3	1	0,65	1,17	8,3	9,711	12,77472
Маммограф рентгеновский	1	6,6/3,2	6,6/3,3	1	0,75	0,88	3,3	2,904	4,39581
Телеуправляемый рентгенодиагностический комплекс	1	65/5	65/5	1	0,75	0,88	5	4,4	6,66033
Итого по основному корпусу	1382	65/0,04	362,82	0,41	0,85	0,62	148,37	91,95	174,5

Приложение В

Каталожные данные трансформаторов

Таблица В.1 - Показатели трансформаторов типа ТМГ 400/10/0,4 кВ

Производитель	«Самарский электроцит»	«Алтайский трансформаторный завод»
Схема соединения обмоток	Δ/Y_n	Δ/Y_n
Мощность ХХ, кВт	0,83	0,77
Мощность КЗ, кВт	5,5	5,6
Напряжение КЗ, %	4,5	4,5
Ток ХХ, %	1,8	0,9
Коэффициент загрузки (запаса)	0,7	0,7
Количество	2	2
$Q_{эп}$, квар	122,43	141,55
Q_T , квар	124,43	88,1
$Q_{ку.нн}$, квар	229,75 >50	272,3 > 50
$Q_{ку.вн}$, квар	40,26 <800	0<800
Количество и тип конденсаторных установок	2 × КРМ-0,4-105-7,5 УЗ	2 × КРМ-0,4-125-15 УЗ
Цена КУ, тыс. руб	49,7	58,7
Привед. затраты на установку КУ, тыс.р.	17,368	20,124
Привед. затраты на установку КТП, тыс.р.	354,8	383,885
Общие затраты, тыс.р.	372,168	404

По приведенным затратам выбираем вариант с двумя силовыми трансформаторами типа ТМГ 400/10/0,4 «Самарского электроцита».

Приложение Г

Расчет электрических нагрузок системы СБЭ

Таблица Г.1 – Расчет нагрузок СБЭ и выбор ИБП

№ Ли нии	Наимено вание узла питания или группы электроп риемник ов	Кол ичес тво ЭП, <i>n</i>	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		K _c	cosφ	tgφ	Расчетная нагрузка			Расчетные параметры ИБП			
			1 ЭП, кВт	Всех ЭП, кВт				P, кВт	Q, квар	S, кВА	S _p , кВА	K _{исп}	S _{ИБП} , кВА	Тип ИБП
L ₁	ЩС1-4	3	1/0,2	2,2	1	0,75	0,88	2,2	1,94	4,4	8,8	0,55	16	APC Symmetra LX, 3:1
	ЩС2-2	2	0,2/1	1,2	1	0,75	0,88	1,2	1,06	2Д	-	-	-	
	ЩС3-4	3	0,5/0,06	0,86	1	0,75	0,88	0,86	0,76	2Д	-	-	-	
L ₂	ЩС3-3	3	0,15/3	0,86	1	0,75	0,88	0,86	0,76	2Д	2,2	0,55	4	
	ЩС3-7	3	1	3	1	0,75	0,88	3	2,64	4,4	4,4	0,55	8	
	ЩС3-5	2	1	2	1	0,75	0,88	2	1,76	2Д	4,4	0,55	8	
L ₃	ЩС1-4	3	1/0,2	2,2	1	0,75	0,88	2,2	1,94	4,4	8,8	0,55	16	

Приложение Д

Расчет электрических нагрузок II категории ЭСН

Таблица Д.1 – Расчет нагрузок II категории, запитанных от ДГУ

Наименование узла питания или группы электроприемников	Количество ЭП, n	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		K_c	$\cos\phi$	$\operatorname{tg}\phi$	Расчетная нагрузка		
		1 ЭП, кВт	Всех ЭП, кВт				P , кВт	Q , квар	S , кВА
ЩО9	73	0,072/0,06	9,94	0,625 755	0,92	0,43	6,22	2,6746	6,770664
Щ011	64	0,072/0,06	7,51	0,625 832	0,92	0,43	4,7	2,021	5,116096
Щ012	53	0,072/0,6	6,31	0,762 282	0,92	0,43	4,81	2,0683	5,235835
Щ013	55	0,1/0,072	7,49	0,694 259	0,92	0,43	5Д	2,236	5,660362
ЩО14	46	0,072	5,12	0,730 469	0,92	0,43	3,74	1,6082	4,071106
Щ015	32	0,072	2,3	1	0,92	0,43	2,3	0,989	2,503622
ЩО16	29	0,072	2,088	1	0,92	0,43	2,1	0,903	2,285915
ЩС2-3	29	0,03/5,8	39,2	0,22	0,85	0,62	8,57	531	10,08
ЩС3-9	16	1/0,15	5,38	0,52	0,9	0,48	2,8	1,344	3,11
Лифт пассажир.	1	8,3	8,3	1	0,65	1,17	8,3	9,711	12,77472
ШУК	37	0,08	3	1	0,65	1,16913	3	3,507389	4,615385
Итого	-	-	-	-	-	-	59,37	33,9	68,4

Приложение Е
Расчет токов КЗ

Таблица Е.1 – Расчет токов короткого замыкания

1. Расчет токов короткого замыкания в системе электроснабжения выше 1000 В				
-	КЛВ-1		КЛВ-2	
$I_{\max.к.з}^{(3)} / I_{\min.к.з}^{(3)}, A$	$I_{\max.к.з}^{(3)} = 4244 A$	$I_{\min.к.з}^{(3)} = 3700 A$	$I_{\max.к.з}^{(3)} = 4244 A$	$I_{\min.к.з}^{(3)} = 3700 A$
$x_c, Ом$	1,43	1,64	1,43	1,64
$z_\gamma, Ом$	1,91	2,11	1,91	2,11
$I_{к.з}^{(3)}, A$	3,17	2,87	3,17	2,87
$i_{y\delta}, A$	7,97	5,89	6,51	5,89
$S_{к.з.с}^{(3)}, MVA$	57,72	52,25	57,72	52,25
2. Расчет токов короткого замыкания в системе электроснабжения до 1000 В				
$x_c, мОм$	2,77	3,06	2,77	3,06
$r_{\Sigma K2}, мОм$	15,86	15,86	15,86	15,86
$x_{\Sigma K2}, мОм$	3,03	3,32	3,03	3,32
$z_{\Sigma K2}, мОм$	16,14	16,20	16,14	16,20
$I_{к.К2}^{(3)}, A$	14,31	14,26	14,31	14,26
$i_{y\delta.К2}^{(3)}, A$	25,03	24,69	25,03	24,94
$r_{\Sigma K3}, мОм$	61,61	61,61	60,16	60,16
$x_{\Sigma K3}, мОм$	8,09	8,38	7,73	8,02
$z_{\Sigma K3}, мОм$	62,13	62,17	60,65	60,69
$I_{к.К3}^{(3)}, A$	3,72	3,71	3,81	3,81
$i_{y\delta.К3}^{(3)}, A$	6,44	6,43	6,60	6,59
3. Расчет тока трехфазного дугового КЗ				
$z_{\Sigma K2}, мОм$	31	31,03	31	31,03
$z_{\Sigma K3}, мОм$	79,48	79,51	78	78,03
$\kappa_{c1.K2}$	0,76	0,76	0,76	0,76
$\kappa_{c2.K2}$	0,64	0,64	0,64	0,64
$\kappa_{c1.K3}$	0,85	0,85	0,85	0,85
$\kappa_{c2.K3}$	0,77	0,77	0,77	0,77
$I_{к\delta 1.K2}^{(3)}, A$	10,87	10,83	10,87	10,83
$I_{к\delta 2.K2}^{(3)}, A$	9,16	9,12	9,16	9,12
$I_{к\delta 1.K3}^{(3)}, A$	3,16	3,16	3,24	3,23
$I_{к\delta 2.K3}^{(3)}, A$	2,86	2,86	2,93	2,93

Приложение Ж

Перечень коммутационных аппаратов

Таблица Ж.1 – Расчет выключателей отходящих от шин КТП линий

№ группы	1 секция шин					2 секция шин				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$U_{ном}, В$	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,22	0,38
$S_{расч}, кВА$	200,29	200	27,5	8,24	75	200,29	200	70	1,5	78
$I_{max}, А$	289	288,7	42	12,5	114	289	288,7	106	6,8	112
$I_{ном}, А$	400	400	50	25	160	400	400	125	25	160
Тип автомата	TS-400	TS-400	TD-100	TD-100	TD-160	TS-400	TS-400	TD-160	TD-100	TD-160
Наименование потребителя	Акушерский корпус	Главный корпус	Котельная	Нар. освещение	Существующие нагрузки	Акушерский корпус	Главный корпус	Существующие нагрузки	Шкаф собственных нужд	Существующие нагрузки

Приложение И
Электрический расчет питающих линий

Таблица И.1 – Расчет питающих линий

Линия		Тип кабеля	$S_{pk}, \text{кВА}$	$I_p, \text{А}$	$I_{dl.don}, \text{А}$	Сечение, мм^2	Длина, м	$\Delta U, \%$
Н.	К.							
КТП 1сш	Акушер кор.	АВВГ-1,0	200,29	304,31	158,07	3×95+1×50	130	2,4
КТП 1сш	Гл. кор.	АВВГ-1,0	200	303,87	157,85	3×95+1×50	140	1,38
КТП 1сш	Котел.	АВВГ-1,0	27,5	41,78	49,92	4×25	170	3,25
КТП 2сш	Акушер кор.	АВВГ-1,0	200,29	304,31	158,07	3×95+1×50	130	2,4
КТП 2сш	Гл. кор	АВВГ-1,0	200	303,87	157,85	3×95+1×50	150	1,46
КТП 2сш	Шкаф собств. нужд	АВВГ-1,0	1,5	2,28	1,18	3×6	80	0,6
ДГУ	Акушер кор. (I ос)	АВВГ-1,0	32,6	49,53	25,73	4×10	55	2,9
ДГУ	Гл. кор (I ос)	АВВГ-1,0	58,5	88,88	46,17	3×70+1×25	245	3,86
ДГУ	Котел	АВВГ-1,0	27,5	41,78	49,92	4×35	220	3