

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)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция системы электроснабжения корпусов больницы

Обучающийся

Е.В. Воробьёв

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А. А. Андреев

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

Тольятти 2025

Аннотация

В работе проведена разработка мероприятий по реконструкции системы электроснабжения корпусов больницы, направленных на повышение надежности, безопасности и эффективности функционирования системы электроснабжения данного лечебного учреждения.

Установлено, что реконструкция системы электроснабжения корпусов больницы отражает актуальную стратегию повышения надёжности и эффективности объектов энергетической инфраструктуры.

В процессе исследования решён ряд важных задач, в числе которых:

- проведение анализа исходных данных и обоснование необходимости реконструкции существующей системы электроснабжения;
- определение расчётных электрических нагрузок, включая их текущий уровень и перспективный рост;
- обоснованный выбор и проверка на допустимую нагрузку силовых трансформаторов питающей подстанции больницы;
- выполнение расчёта токов короткого замыкания для выбора и проверки защитного оборудования и проводников;
- выбор подходящих по техническим характеристикам проводников и электрических аппаратов с учётом условий их эксплуатации и безопасности;
- разработка рациональной и эффективной системы учёта и контроля потребляемой электроэнергии.

Представленная ВКР содержит 57 печатных страниц, дополняемой шестью таблицами, девятью рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных и обоснование реконструкции системы электроснабжения больницы	7
1.1 Общая характеристика больницы	7
1.2 Характеристика системы электроснабжения больницы	10
2 Расчет электрических нагрузок	14
3 Выбор и проверка трансформаторов питающей подстанции больницы и резервной ДГУ	20
3.1 Выбор и проверка силовых трансформаторов питающей подстанции .	20
3.2 Выбор и проверка резервной ДГУ	23
4 Расчёт токов короткого замыкания	26
5 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов	33
5.1 Выбор и проверка проводников	33
5.2 Выбор конструктивного выполнения электроустановок	39
5.3 Выбор электрических аппаратов	42
6 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии	48
Заключение	52
Список используемых источников	56

Введение

Современное здравоохранение является ключевым элементом системы жизнеобеспечения населения, от состояния и надежности функционирования которого во многом зависят качество жизни и безопасность общества.

Медицинские организации относятся к объектам критической инфраструктуры, характеризующимся особой категорией надежности электроснабжения, ввиду исключительной ответственности за жизни и здоровье людей, находящихся в лечебных учреждениях.

Система электроснабжения медицинских объектов должна обеспечивать бесперебойность и высокое качество подачи электроэнергии, поскольку даже кратковременные перебои или нарушения параметров электропитания могут привести к угрозе жизни пациентов, сбоям в работе высокотехнологичного медицинского оборудования и, соответственно, снижению эффективности лечебного процесса.

На сегодняшний день проектирование и реконструкция систем электроснабжения медицинских учреждений пользуются значительным вниманием со стороны нормативных органов и профессионального сообщества, а также высоким уровнем требований и регламентов, которые постоянно совершенствуются и актуализируются.

Важнейшими аспектами проектирования таких объектов являются обеспечение повышенной надежности электроснабжения, минимизация рисков аварий и перебоев электропитания, интеграция современных технических решений, систем автоматического резервирования и мониторинга электроэнергии, а также соответствие жестким стандартам электробезопасности и энергоэффективности [12], [13], [14]. Вместе с тем, практика показывает, что многие медицинские учреждения до сих пор используют морально и физически устаревшие системы электроснабжения, не отвечающие современным нормам и не способные обеспечить необходимый уровень надежности и безопасности.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью обеспечения устойчивого и надежного функционирования медицинских учреждений путем реконструкции и модернизации систем электроснабжения в соответствии с действующими нормативными требованиями и рекомендациями отраслевых стандартов. Проведение реконструкции позволяет не только повысить эксплуатационную надежность, но и улучшить безопасность и энергоэффективность больничных корпусов, снизить эксплуатационные расходы и повысить общий уровень готовности учреждения к внештатным и аварийным ситуациям, что имеет особую практическую значимость в современных условиях.

Основной целью настоящей работы является разработка проекта реконструкции системы электроснабжения корпусов больницы, направленной на повышение надежности, безопасности и эффективности функционирования системы электроснабжения данного лечебного учреждения.

Объектом исследования выступает существующая система электроснабжения медицинской организации.

Предметом исследования являются методы, средства и подходы, направленные на повышение надежности, безопасности и экономичности объекта исследования.

В работе применяются аналитические, расчетно-математические и проектно-конструкторские методы исследования. В частности, будут использоваться методы анализа и обоснования технических решений, расчёты электрических нагрузок, расчёт токов короткого замыкания, выбор и проверка трансформаторного оборудования питающей подстанции, а также методы выбора и проверки электрических аппаратов и проводников.

В рамках работы, также предусмотрено использование актуальных нормативных документов и специализированных подходов, обеспечивающих точность и достоверность результатов расчетов.

В процессе исследования планируется выполнить ряд важных задач, в

числе которых:

- проведение анализа исходных данных и обоснование необходимости реконструкции существующей системы электроснабжения;
- определение расчётных электрических нагрузок, включая их текущий уровень и перспективный рост;
- обоснованный выбор и проверка на допустимую нагрузку силовых трансформаторов питающей подстанции больницы;
- выполнение расчёта токов короткого замыкания для выбора и проверки защитного оборудования и проводников;
- выбор подходящих по техническим характеристикам проводников и электрических аппаратов с учётом условий их эксплуатации и безопасности;
- разработка рациональной и эффективной системы учёта и контроля потребляемой электроэнергии.

Практическая ценность работы заключается в возможности реализации предложенных решений при реконструкции системы электроснабжения больничных корпусов, что обеспечит повышение уровня надежности и безопасности медицинского учреждения, а также создаст условия для эффективного управления энергоресурсами и экономии эксплуатационных расходов.

1 Анализ исходных данных и обоснование реконструкции системы электроснабжения больницы

1.1 Общая характеристика больницы

В качестве объекта исследования в работе детально рассматривается система электроснабжения городской Мариинской больницы, расположенной в г. Санкт-Петербург, на Литейном проспекте, 56. Больница ограничена следующими улицами: с севера – ул. Жуковского, с востока – ул. Маяковского, с запада – Литейным проспектом, с юга – Невским проспектом [10]. Расположение городской Мариинской больницы на карте г. Санкт-Петербурга представлено на рисунке 1.

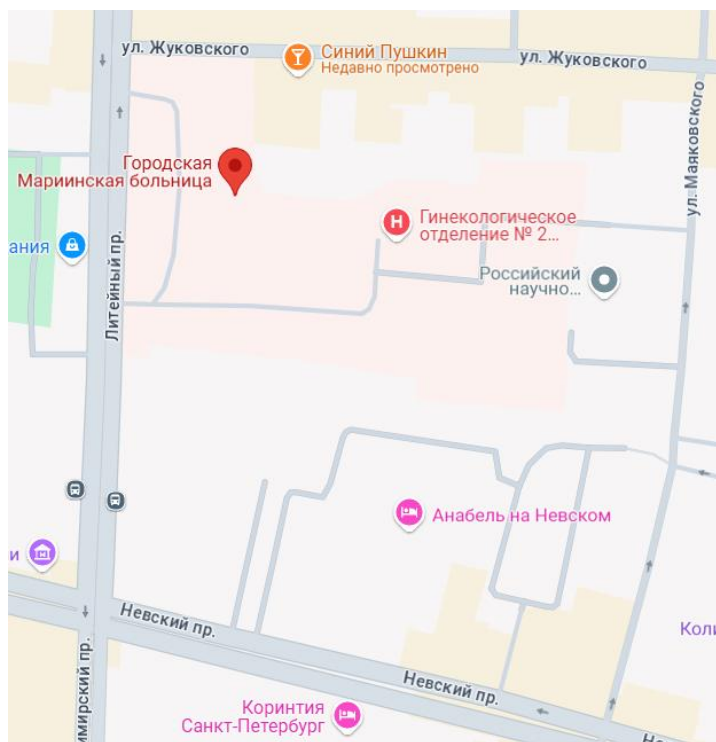


Рисунок 1 – Расположение городской Мариинской больницы на карте г. Санкт-Петербурга

Городская Мариинская больница г. Санкт-Петербурга является многопрофильным медицинским учреждением, имеющим стратегическое

значение для обеспечения высококвалифицированной лечебно-профилактической помощи населению города.

Медицинский комплекс больницы включает в себя четыре действующих корпуса, которые в настоящее время эксплуатируются и обеспечивают предоставление медицинских услуг по различным направлениям, а также новый, пятый корпус, недавно построенный и вводящийся в эксплуатацию для расширения возможностей больницы.

Первый корпус больницы предназначен для размещения хирургических отделений и включает специализированные подразделения общей и абдоминальной хирургии, сосудистой хирургии и нейрохирургии, оснащённые высокотехнологичным оборудованием, позволяющим выполнять сложные оперативные вмешательства. В структуру этого корпуса входит операционный блок, соответствующий самым строгим стандартам безопасности и оснащённый передовым оборудованием для выполнения малоинвазивных операций.

Во втором корпусе располагаются терапевтические отделения, включая отделение кардиологии, пульмонологии, гастроэнтерологии и эндокринологии. Здесь осуществляется диагностика и консервативное лечение широкого спектра заболеваний внутренних органов. В этом корпусе имеется мощная диагностическая база с современными лабораториями и отделениями функциональной диагностики, обеспечивающими качественный мониторинг состояния пациентов.

Третий корпус отведён под травматологическое и ортопедическое отделения, где пациенты получают специализированную помощь в случае травм и заболеваний опорно-двигательного аппарата. В структуру корпуса входит крупный реабилитационный центр, оснащённый современными тренажёрами и оборудованием для восстановления двигательных функций после операций и травм, что позволяет значительно сократить сроки лечения и улучшить его эффективность.

В четвёртом корпусе сосредоточена экстренная медицинская помощь, включающая отделения приёмного покоя, интенсивной терапии и реанимации. Данный корпус обеспечивает круглосуточную готовность учреждения к приёму пациентов в критическом состоянии и проведение неотложных медицинских мероприятий. Здесь также функционирует блок неотложной диагностики, оснащённый средствами визуализации, такими как КТ и МРТ, что позволяет оперативно выявлять и контролировать патологические состояния.

Вводимый в эксплуатацию пятый корпус предназначен для размещения высокотехнологичных специализированных отделений, таких как онкологическое, гематологическое и отделение трансплантологии, оснащённых современным оборудованием и отвечающих новейшим требованиям к организации медицинской помощи. Указанный новый корпус проектировался и строился с учетом наиболее строгих стандартов санитарно-эпидемиологической и технологической безопасности, что позволит существенно увеличить возможности больницы по оказанию медицинских услуг на самом высоком уровне.

Таким образом, Мариинская больница представляет собой современное учреждение с развитой инфраструктурой и широкой специализацией, способное эффективно решать задачи по охране здоровья населения и своевременно оказывать специализированную помощь пациентам различного профиля и сложности.

Показано, что четыре существующих корпуса городской Мариинской больницы применяются для лечения граждан города и области. Установлено, что с целью расширения оказываемых услуг населению, а также улучшения существующей инфраструктуры, предполагается сооружение пятого корпуса больницы, включающего высокотехнологичные специализированные отделения.

Данный аспект обуславливает необходимость реконструкции системы электроснабжения объекта исследования.

1.2 Характеристика системы электроснабжения больницы

Далее в работе детально рассматривается существующая система электроснабжения городской Мариинской больницы.

Данный объект исследования получает питание от двухтрансформаторной понизительной трансформаторной подстанции закрытого типа 10/0,4 кВ (ТП 10/0,4 кВ), на которой установлены два силовых трансформатора марки ТМГ-160/10.

Указанная питающая подстанция Мариинской больницы получает питание по радиальной схеме от городского распределительного пункта 10 кВ (РП 10 кВ) двумя кабельными линиями марки АСБ-10 (3×16), проложенными в земляной траншее.

На питающей ТП 10/0,4 кВ больницы, также расположены распределительные устройства высшего напряжения (РУ 10 кВ) и низшего напряжения (РУ 0,4 кВ).

РУ 10 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ больницы укомплектовано следующими аппаратами:

- выключатели нагрузки ВН-16 – 2 единицы;
- предохранители ПК-10-20-31,5/У3 – 6 единиц.

Отмечен тот факт, что данное оборудование устарело, в связи с чем в работе предполагается его замена на современные разработки.

РУ 0,4 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ больницы укомплектовано автоматическими выключателями устаревшей серии АЗ160 различных типономиналов – 9 единиц.

От РУ 0,4 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ получают питание силовыми четырёхжильными кабелями марки АВВГ по радиальной схеме, вводные распределительные устройства (ВРУ 0,4 кВ) корпусов больницы.

При этом они равномерно распределены на две секции сборных шин напряжением 0,4 кВ подстанции, что в совокупности с применением их раздельной работы и секционного выключателя с применением системы

автоматического включения резерва (АВР), обеспечивающего надёжные условия резервирования [6].

От ВРУ каждого корпуса больницы получают питание распределительные щиты напряжением 0,4 кВ (РЩ 0,4 кВ), а также распределительные щиты наружного освещения напряжением 0,4 кВ, к которым относятся щиток рабочего (ЩРО) и щиток аварийного освещения (ЩАО).

От указанных РЩ непосредственно питаются силовые и осветительные потребители. В виду их многочисленности, в работе они детально не рассматриваются.

Исходные проектные нагрузки участков системы электроснабжения корпусов больницы, с учётом нового корпуса №5, представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные проектные нагрузки участков системы электроснабжения корпусов больницы

Наименование участка	Объект (существующий/ новый)	Максимальная проектная нагрузка, P_m , кВт	Категория надёжности
Корпус №1 (ВРУ-1)			
РЩ1	Существующий	11,0	I, II
РЩ2	Существующий	11,0	I, II
РЩ3	Существующий	3,0	I, II
РЩ4	Существующий	11,0	I, II
РЩ5	Существующий	22,0	I, II
РЩ6	Существующий	22,0	I, II
РЩ7	Существующий	22,0	I, II
РЩ8	Существующий	11,0	I, II
Всего по корпусу №1 (ВРУ-1)	Существующий	113,0	I, II
Корпус №2 (ВРУ-2)			
РЩ9	Существующий	11,0	I, II
РЩ10	Существующий	16,0	I, II
РЩ11	Существующий	16,0	I, II
РЩ12	Существующий	11,0	I, II
РЩ13	Существующий	11,0	I, II
РЩ14	Существующий	11,0	I, II
РЩ15	Существующий	2,2	I, II
РЩ16	Существующий	5,5	I, II
Всего по корпусу №2 (ВРУ-2)	Существующий	83,7	I, II

Продолжение таблицы 1

Наименование участка	Объект (существующий/ новый)	Максимальная проектная нагрузка, P_m , кВт	Категория надёжности
Корпус №3 (ВРУ-3)			
РЩ17	Существующий	5,5	I, II
РЩ18	Существующий	5,5	I, II
РЩ19	Существующий	5,5	I, II
РЩ20	Существующий	5,5	I, II
РЩ21	Существующий	5,5	I, II
РЩ22	Существующий	5,5	I, II
РЩ23	Существующий	7,5	I, II
РЩ24	Существующий	7,5	I, II
Всего по корпусу №3 (ВРУ-3)	Существующий	48,0	I, II
Корпус №4 (ВРУ-4)			
РЩ25	Существующий	11,0	I, II
РЩ26	Существующий	11,0	I, II
РЩ27	Существующий	11,0	I, II
РЩ28	Существующий	11,0	I, II
РЩ29	Существующий	54,0	I, II
РЩ30	Существующий	54,0	I, II
РЩ31	Существующий	54,0	I, II
Всего по корпусу №4 (ВРУ-4)	Существующий	206,0	I, II
Корпус №5 (ВРУ-5)			
РЩ32	Новый	11,0	I, II
РЩ33	Новый	11,0	I, II
РЩ34	Новый	11,0	I, II
РЩ35	Новый	11,0	I, II
РЩ36	Новый	11,0	I, II
РЩ37	Новый	11,0	I, II
Всего по корпусу №5 (ВРУ-5)	Новый	66,0	I, II
Освещение наружное			
ЩРО	Существующий	7,4	
ЩАО	Существующий	0,7	
Всего по системе электропитания корпусов больницы	-	524,8	I, II

Таким образом установлено, что суммарная проектная нагрузка системы электропитания корпусов больницы, вместе с нагрузкой нового корпуса №5, вводимого в эксплуатацию в связи с расширением сферы оказываемых медицинских услуг населению, составила 524,8 кВт. Также установлено, что в системе электропитания больницы отсутствует третий независимый собственный источник питания, что также планируется устранить в работе.

Выводы по разделу 1.

Рассмотрена существующая система электроснабжения городской Мариинской больницы.

Установлено, что медицинский комплекс больницы включает в себя четыре действующих корпуса, которые в настоящее время эксплуатируются и обеспечивают предоставление медицинских услуг по различным направлениям, а также новый, пятый корпус, недавно построенный и вводящийся в эксплуатацию для расширения возможностей больницы в сфере оказания медицинских услуг населению.

Показано, что в системе электроснабжения корпусов больницы, увеличивается мощность нагрузки в связи с вводом в эксплуатацию новых потребителей корпуса №5, что приводит к необходимости внесения изменений в схему электрических соединений объекта исследования, определяя, таким образом, главную задачу работы.

Установлено, что суммарная проектная нагрузка системы электроснабжения корпусов больницы, вместе с нагрузкой нового корпуса №5, вводимого в эксплуатацию в связи с расширением сферы оказываемых медицинских услуг населению, составила 524,8 кВт.

Также установлено, что в системе электроснабжения больницы рекомендуется установка третьего независимого собственного источника питания в виде новой дизель-генераторной установки (ДГУ) напряжением 0,38/0,22 кВ, которую планируется подключить к секциям сборных шин 0,4 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ с использованием АВР.

Кроме того показано, что на объекте реконструкции требуется полная модернизация устаревшего оборудования и проводников питающей и распределительной сетей.

Указанные мероприятия после детального обоснования в работе далее, предлагается внедрить на объекте исследования.

2 Расчет электрических нагрузок

Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения корпусов Мариинской больницы г. Санкт-Петербурга после проведения реконструкции представляет собой важнейший технический этап, от которого напрямую зависит обоснованность технических решений, надёжность работы всей энергосистемы и эффективность дальнейшей эксплуатации оборудования.

Учитывая, что объект относится к критически важной инфраструктуре с медицинским профилем, расчёты выполняются с учетом требований к потребителям особой категории надёжности.

В ходе реконструкции учтено расширение функциональной структуры больничного комплекса, связанное с вводом в эксплуатацию пятого корпуса, в котором размещены онкологическое, гематологическое и трансплантационное отделения.

Перечисленные подразделения включают оборудование с достаточно большим числом потребителей, требующее непрерывного питания без допустимых отклонений напряжения и частоты.

Данное обстоятельство оказывает прямое влияние на величины расчётных нагрузок и структуру питающих цепей.

Особое внимание в расчётах уделяется выбору соответствующих коэффициентов спроса и одновременности, позволяющих отразить реальные условия работы оборудования с учётом графика медицинской деятельности, длительности пиковых нагрузок и характера потребления отдельных категорий нагрузок.

Исходными данными для выполнения расчёта служат сведения о проектных нагрузках РИЦ каждого корпуса, представленные ранее в таблице 1, характеристиках электроустановок, эмпирические коэффициенты спроса электротехнического оборудования, данные по режимам эксплуатации оборудования, а также результаты изменения схемных решений существующих сетей объекта исследования в процессе реконструкции.

Таким образом, расчёт электрических нагрузок в рамках реконструкции системы электроснабжения Мариинской больницы, отражает комплексный и системный подход, учитывающий как технические, так и эксплуатационные аспекты функционирования одного из важнейших медицинских учреждений города Санкт-Петербурга.

При выборе коэффициента спроса, особенности нагрузки оборудования каждого корпуса учитываются отдельно.

Так, в хирургическом и реанимационном блоках первого и четвёртого корпусов значительная часть нагрузки формируется системами жизнеобеспечения, операционными комплексами, системами вентиляции и кондиционирования.

Второй корпус, включающий отделения терапии и диагностики, характеризуется умеренной, но устойчивой нагрузкой, связанной с работой лабораторных комплексов, оборудованием рентгенологических кабинетов и систем централизованного теплоснабжения.

Третий корпус, ориентированный на травматологию и реабилитацию, дополнительно учитывает нагрузку реабилитационного оборудования и специализированных тренажёров. Новый пятый корпус, как центр высокотехнологичной медицинской помощи, также включает высокоэффективное современное онкологическое, гематологическое и оборудование для трансплантологии.

Далее приведена методика расчёта электрических нагрузок объекта исследования.

«Расчётная активная нагрузка РИЦ корпусов больницы с учётом коэффициента спроса, кВт» [9]:

$$P_p = P_m \cdot K_c, \quad (1)$$

где « P_m – максимальная проектная активная нагрузка, кВт;

K_c – значение коэффициента спроса» [20].

«Расчётная полная нагрузка РЩ корпусов больницы, кВА» [9]:

$$S_P = \frac{P_P}{\cos \varphi}. \quad (2)$$

«Расчётная реактивная нагрузка РЩ корпусов больницы, квар» [9]:

$$Q_P = \sqrt{S_P^2 - P_P^2}. \quad (3)$$

«Групповые расчётные нагрузки соответствующих корпусов больницы определяются суммой нагрузок их соответствующих РЩ с учётом одновременности максимума нагрузки» [9]:

$$P_{P.K} = K_o \cdot \sum_{i=1}^n P_P, \quad (4)$$

$$Q_{P.K} = K_o \cdot \sum_{i=1}^n Q_P, \quad (5)$$

$$S_{P.K} = \sqrt{P_{P.K}^2 + Q_{P.K}^2}, \quad (6)$$

$$I_{P.K} = \frac{S_{P.K}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (7)$$

где K_o – «коэффициент одновременности максимума нагрузки, о.е.» [9].

«Групповые расчётные нагрузки системы электроснабжения больницы определяются суммой нагрузок соответствующих корпусов» [9]:

$$P_{P.\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{P.K}, \quad (8)$$

$$Q_{P.\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_{P.K}, \quad (9)$$

$$S_{P,\Sigma} = \sqrt{P_{P,\Sigma}^2 + Q_{P,\Sigma}^2}, \quad (10)$$

$$I_{p,\Sigma} = \frac{S_{P,\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (11)$$

«На примере РЩ-1 первого корпуса системы электроснабжения больницы» [9], расчет производится по формулам (4), (5), (6), (7):

$$P_p = 11 \cdot 0,8 = 8,8 \text{ кВт},$$

$$S_p = \frac{8,8}{0,94} = 9,36 \text{ кВА},$$

$$Q_p = \sqrt{9,36^2 - 8,80^2} = 3,19 \text{ квар},$$

$$I_p = \frac{9,36}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 14,22 \text{ А}.$$

«Аналогичные расчёты проведены для остальных подразделений системы электроснабжения корпусов больницы и всего объекта. Полученные результаты представлены» [9] в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта нагрузки системы электроснабжения корпусов больницы

Наименование участка	P_m , кВт	K_c , о.е.	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Корпус №1 (ВРУ-1)						
РЩ1	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ2	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ3	3,0	0,90	2,70	0,97	2,87	4,41
РЩ4	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ5	22,0	0,75	16,50	5,98	17,55	27,00
РЩ6	22,0	0,75	16,50	5,98	17,55	27,00
РЩ7	22,0	0,75	16,50	5,98	17,55	27,00
РЩ8	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
Всего по корпусу №1 (ВРУ-1), $K_o = 0,9$	113,0	-	78,66	28,50	83,66	128,70
Корпус №2 (ВРУ-2)						
РЩ9	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ10	16,0	0,80	12,80	4,65	13,62	20,95
РЩ11	16,0	0,80	12,80	4,65	13,62	20,95

Продолжение таблицы 2

Наименование участка	P_m , кВт	K_c , о.е.	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
РЩ12	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ13	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ14	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ15	2,2	0,95	2,09	0,75	2,22	3,42
РЩ16	5,5	0,90	4,95	1,81	5,27	8,11
Всего по корпусу №2 (ВРУ-2), $K_o = 0,9$	83,7	-	61,06	22,16	64,95	99,93
Корпус №3 (ВРУ-3)						
РЩ17	5,5	0,90	4,95	1,81	5,27	8,11
РЩ18	5,5	0,90	4,95	1,81	5,27	8,11
РЩ19	5,5	0,90	4,95	1,81	5,27	8,11
РЩ20	5,5	0,90	4,95	1,81	5,27	8,11
РЩ21	5,5	0,90	4,95	1,81	5,27	8,11
РЩ22	5,5	0,90	4,95	1,81	5,27	8,11
РЩ23	7,5	0,85	6,38	2,29	6,78	10,43
РЩ24	7,5	0,85	6,38	2,29	6,78	10,43
Всего по корпусу №3 (ВРУ-3), $K_o = 0,9$	48,0	-	38,21	13,90	40,66	62,56
Корпус №4 (ВРУ-4)						
РЩ25	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ26	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ27	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ28	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ29	54,0	0,60	32,40	11,77	34,47	53,03
РЩ30	54,0	0,60	32,40	11,77	34,47	53,03
РЩ31	54,0	0,60	32,40	11,77	34,47	53,03
Всего по корпусу №4 (ВРУ-4), $K_o = 0,9$	206,0	-	119,16	43,26	126,77	195,03
Корпус №5 (ВРУ-5)						
РЩ32	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ33	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ34	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ35	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ36	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
РЩ37	11,0	0,80	8,80	3,19	9,36	14,22
Всего по корпусу №5 (ВРУ-5), $K_o = 0,9$	66,0	-	47,52	17,23	50,55	77,76
Освещение наружное						
ЩРО	7,4	1,0	7,40	2,68	7,87	12,11
ЩАО	0,7	1,0	0,70	0,27	0,75	1,15
Всего по системе электроснабжения корпусов больницы	524,8	-	352,71	128,0	375,2	277,26

Полученные результаты используются в работе далее для выбора и проверки технических решений в системе электроснабжения корпусов больницы в результате внедрения принятых мероприятий по реконструкции объекта исследования.

Выводы по разделу 2.

Проведены расчёты максимальной нагрузки в системе электроснабжения корпусов больницы после внедрения мероприятий по реконструкции:

- отдельных РЩ;
- отдельных корпусов больницы;
- суммарной нагрузки всей системы электроснабжения больницы.

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок позволяют сформировать уточнённую нагрузочную модель системы электроснабжения объекта исследования после проведения реконструкции, а также дают основание для дальнейшего выбора рациональных сечений кабельных линий, электрических аппаратов, мощности трансформаторов на питающей ТП 10/0,4 кВ, а также мощности новой резервной ДГУ, которую планируется использовать в качестве третьего независимого источника питания, что необходимо для объектов особой категории надёжности, к числу которых относится объект исследования.

3 Выбор и проверка трансформаторов питающей подстанции больницы и резервной ДГУ

3.1 Выбор и проверка силовых трансформаторов питающей подстанции

Проверка существующих трансформаторов на питающей ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения корпусов больницы на допустимую нагрузочную и перегрузочную способность, выполненной в условиях реконструкции схемы электроснабжения и увеличения электрических нагрузок, является важнейшей задачей, направленной на обеспечение надёжного функционирования энергосистемы и предотвращение аварийных ситуаций на объекте.

Как было указано в работе ранее, до проведения реконструкции на питающей ТП 10/0,4 кВ были установлены два силовых трансформатора марки ТМГ-160/10.

Проверка существующих силовых трансформаторов на питающей ТП 10/0,4 кВ производится с целью оценки их возможности эксплуатации в условиях возросших электрических нагрузок после реконструкции системы электроснабжения объекта исследования.

Анализируется текущее техническое состояние трансформаторов, фактический ресурс эксплуатации, а также возможность работы при нагрузочных и послеаварийных режимах с учётом допустимых перегрузок, установленных действующими нормативными документами.

Проверка существующих трансформаторов проводится путём сопоставления расчётных максимальных нагрузок, определённых в результате выполнения комплексного расчёта электрических нагрузок, с паспортными параметрами трансформаторов, такими как номинальная мощность, максимально допустимые токи нагрузки, продолжительность допустимой перегрузки, а также характеристики системы охлаждения оборудования.

«Мощность трансформаторов для установки на питающей ТП 10/0,4 кВ

системы электроснабжения корпусов больницы» [16]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\Sigma}}{N \cdot \beta_{\text{т}}}, \quad (12)$$

где $\sum_{i=1}^n P_{\Sigma}$ – «суммарная активная нагрузка объектов ТП-10/0,4 кВ, кВт;

N – количество трансформаторов ТП, шт.;

$\beta_{\text{т}}$ – нормируемое значение коэффициента активной загрузки трансформаторов на ТП» [16].

«Мощность трансформаторов для установки на питающей ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения корпусов больницы по формуле (12)» [16]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{352,71}{2 \cdot 0,8} = 220,4 \text{ кВА}.$$

Исходя из результатов расчёта, в связи с увеличением нагрузки и перерасчётом расчётных параметров, на питающей ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения корпусов больницы предварительно выбраны два новых силовых трансформатора марки ТМГ-250/10, которые не совпадают с ранее установленными силовыми трансформаторами марки ТМГ-160/10.

Дальнейшая проверка силовых трансформаторов включает в себя анализ режимов работы в нормальных и послеаварийных условиях.

В ходе проверки существующих трансформаторов на нагрузочную способность рассчитываются коэффициенты загрузки оборудования, определяются условия работы трансформаторов при нормальных и послеаварийных режимах работы, что позволяет установить степень использования их мощности и необходимость модернизации или замены на более мощные трансформаторы.

В нормальном режиме необходимо убедиться в соответствии номинальной мощности трансформаторов прогнозируемым максимальным нагрузкам с учётом заданных коэффициентов спроса и одновременности.

Основной задачей является подтверждение способности трансформаторов в длительном и стабильном режиме обеспечивать заданную нагрузку без превышения максимально допустимых температурных значений и перегрева изоляции обмоток.

Данная проверка проводится по следующему условию [5]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{P.\Sigma}}{S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (13)$$

Условие проверки по формуле (13) выполняется:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 375,2}{250} = 0,75 \leq 0,8.$$

В послеаварийном режиме проверка силовых трансформаторов приобретает особое значение, так как в условиях аварийного отключения одного из трансформаторов нагрузка перераспределяется на оставшийся в работе трансформатор.

В таком режиме необходимо убедиться, что трансформатор способен выдерживать кратковременные перегрузки, возникающие вследствие перераспределения нагрузки, без риска повреждения изоляции и без недопустимого старения элементов конструкции.

Для оценки допустимой перегрузки применяется расчётная методика, учитывающая паспортные данные трансформаторов, характеристики системы охлаждения, температурные пределы материалов изоляции и стандартизированные графики допустимых перегрузок, установленные соответствующими нормативными документами [5]:

$$K_{3,n} = \frac{S_{P,\Sigma}}{S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (14)$$

Условие проверки по формуле (14) выполняется:

$$K_{3,n} = \frac{375,2}{250} = 1,5 \leq 1,6.$$

В результате проведения расчётов установлено, что в связи с увеличением нагрузки и перерасчётом расчётных параметров, на питающей ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения корпусов больницы окончательно выбраны два новых силовых трансформатора марки ТМГ-250/10, которые не совпадают с ранее установленными силовыми трансформаторами марки ТМГ-160/10. Выбранные силовые трансформаторы марки ТМГ-250/10 соответствуют условиям проверки по расчётной нагрузке потребителей подстанции вследствие увеличения её нагрузки, а также отвечают условиям проверки по нагрузочной способности в нормальном режиме работы и перегрузочной способности в послеаварийном режиме работы.

3.2 Выбор и проверка резервной ДГУ

Выбор мощности новой резервной ДГУ системы электроснабжения корпусов больницы, которую планируется использовать в качестве третьего источника питания на объекте исследования, выполненной в условиях реконструкции схемы электроснабжения и увеличения электрических нагрузок, является важнейшей задачей, направленной на обеспечение надёжного функционирования энергосистемы и предотвращение аварийных ситуаций на объекте.

При выборе мощности новой резервной ДГУ системы электроснабжения корпусов больницы должно учитываться загрузка приводного генератора

активной мощностью, а также нагрузка всей системы электроснабжения объекта исследования [18]:

$$0,7 \cdot P_{ном.г} \geq P_{\Sigma}, \quad (15)$$

где $P_{ном.г}$ – номинальная активная мощность приводного генератора ДГУ, кВт.

Предварительно принимается ДГУ марки АД-630С-Т400-1РМ11 с приводным генератором мощностью 630 кВт [1].

Для приводного генератора новой резервной ДГУ системы электроснабжения корпусов больницы условие (15) выполняется:

$$0,7 \cdot 630 = 441,0 \text{ кВт} \geq 352,71 \text{ кВт},$$

Таким образом, окончательно принимается в качестве третьего резервного источника питания в системе электроснабжения корпусов больницы, ДГУ марки АД-630С-Т400-1РМ11 с приводным генератором мощностью 630 кВт, представленная на рисунке 2.



Рисунок 2 – ДГУ марки АД-630С-Т400-1РМ11 с приводным генератором мощностью 630 кВт

Модель АД-630С-Т400-1РМ11 адаптирована к условиям эксплуатации в городских учреждениях и соответствует требованиям по уровню шума, эмиссии выхлопных газов и тепловыделению, что делает возможным её безопасную установку вблизи лечебных корпусов. Также данная установка поддерживает сопряжение с автоматизированной системой управления энергоснабжением больницы, что позволяет контролировать параметры работы в режиме реального времени и оперативно реагировать на отклонения от заданных режимов. Конструктивные характеристики ДГУ обеспечивают её устойчивую работу в широком диапазоне температур и при возможных колебаниях нагрузки, что особенно важно при обеспечении непрерывной работы медицинского оборудования.

Таким образом, принятие в качестве третьего резервного источника питания в системе электроснабжения корпусов Мариинской больницы дизель-генераторной установки марки АД-630С-Т400-1РМ11 с генератором мощностью 630 кВт является технически и функционально обоснованным решением, обеспечивающим высокий уровень надежности и автономности электроснабжения данного критически важного медицинского объекта.

Выводы по разделу 3.

Установлено, что в связи с увеличением нагрузки, на питающей ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения корпусов больницы окончательно выбраны два новых силовых трансформатора марки ТМГ-250/10, которые не совпадают с ранее установленными силовыми трансформаторами марки ТМГ-160/10. Показано, что применение дизель-генераторной установки АД-630С-Т400-1РМ11 позволяет гарантировать выполнение требований по резервированию питания объектов особой категории надёжности, соответствует нормативным предписаниям, предъявляемым к медицинским учреждениям, и полностью обеспечивает надёжную и быструю реакцию системы электроснабжения на внешние отключения основного питания при сохранении работоспособности всех критически важных подразделений больничного комплекса.

4 Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения корпусов Мариинской больницы выполняется с целью определения уровней токов аварийного режима, на основании которых осуществляется выбор и проверка коммутационных и защитных аппаратов, кабельных линий и трансформаторного оборудования.

Первоначальным этапом расчёта является построение расчётной схемы, упрощённо отражающей топологию системы электроснабжения после проведения её реконструкции.

В схеме отображаются все основные элементы: силовые трансформаторы питающей ТП 10/0,4 кВ, параметры питающей энергосистемы, питающие и отходящие линии, а также точки, в которых предполагается проведение расчёта токов короткого замыкания. Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ представлена в работе на рисунке 3.

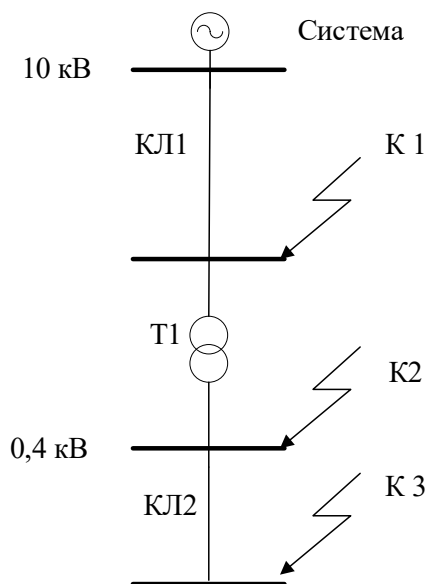


Рисунок 3 – Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ

На схеме рисунка 3, определены расчётные точки, в которых планируется провести расчёт токов КЗ и ударных токов:

- точка К1 – выводы 10 кВ силовых трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ;
- точка К2 – выводы 0,4 кВ силовых трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ;
- точка К3 – выводы 0,4 кВ ВРУ 0,4 кВ корпусов больницы.

После построения расчётной схемы составляется эквивалентная схема замещения, представленная на рисунке 4.

В данной схеме замещения, каждый элемент расчётной схемы заменяется соответствующим сопротивлением.

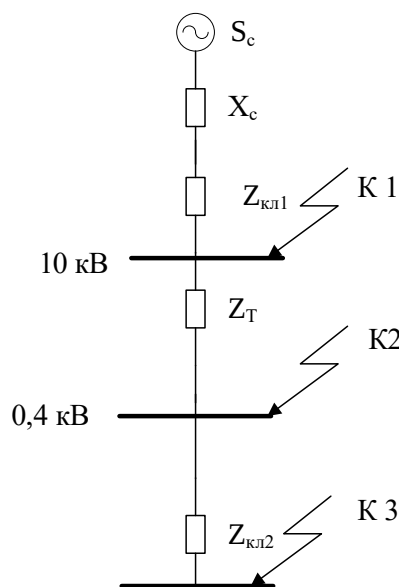


Рисунок 4 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ

После этого производится расчёт параметров схемы замещения.

На данном этапе определяются активные и индуктивные сопротивления трансформаторов, линий электропередачи, а также энергосистемы.

На конечном этапе определяются полные сопротивления элементов.

Расчёты проводятся в именованных единицах.

В качестве базисного напряжения принимается высшее напряжение силового трансформатора питающей ТП 10/0,4 кВ, равное 10,5 кВ в максимальном режиме.

«Сопротивление энергосистемы (на напряжение 10 кВ)» [15]:

$$X_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{K.макс}^{(3)}}, \quad (16)$$

«Обобщённое сопротивление энергосистемы по формуле (16)» [15]:

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,5} = 4,04 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление кабельных линий» [15]:

$$R_{кл} = r_{y\partial} \cdot L, \quad (17)$$

$$X_{кл} = x_{y\partial} \cdot L, \quad (18)$$

где « $r_{y\partial}$, $x_{y\partial}$ – удельные сопротивления линии, Ом/км;

L – суммарная длина линии, км» [15].

Для питающей кабельной линии 10 кВ КЛ1 по формулам (17) и (18):

$$R_{кл1} = 0,46 \cdot 6 = 2,76 \text{ Ом,}$$

$$X_{кл1} = 0,4 \cdot 6 = 2,4 \text{ Ом.}$$

Для кабельной линии 0,4 кВ КЛ2 по формулам (17) и (18):

$$R_{кл2} = 0,62 \cdot 0,15 = 0,09 \text{ Ом,}$$

$$X_{кл2} = 0,09 \cdot 0,15 = 0,014 \text{ Ом.}$$

«Активное сопротивление трансформатора питающей ТП 10/0,4 кВ» [15]:

$$R_{m.n} = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_n^2}{S_{ном.т.}^2}, \quad (19)$$

$$R_{m.n} = \frac{3900 \cdot 10,5^2}{250^2} = 6,88 \text{ Ом.}$$

«Индуктивное сопротивление трансформатора питающей ТП 10/0,4 кВ по формуле (19)» [15]:

$$X_{m.n} = \frac{U_{\kappa.\%} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_{ном.т.}^2}, \quad (20)$$

$$X_{m.n} = \frac{10 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 0,25^2} = 176,4 \text{ Ом.}$$

Следующий этап заключается в упрощении схемы замещения путём последовательного и параллельного соединения сопротивлений, с целью свести её к эквивалентной форме, позволяющей определить результирующее сопротивление к точке короткого замыкания.

Для каждой расчётной точки определяется общее приведённое сопротивление всей сети.

Полное сопротивление цепи КЗ до расчётной точки К1 [15]:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{K/I1})^2 + R_{K/I1}^2}, \quad (21)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(4,04 + 2,4)^2 + 2,76^2} = 7,01 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление цепи КЗ до расчётной точки К2 [15]:

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T)^2 + (R_{KЛ1} + R_T)^2}, \quad (22)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(4,04 + 2,4 + 176,4)^2 + (2,76 + 6,88)^2} = 183,09 \text{ Ом}.$$

Полное сопротивление цепи КЗ до расчётной точки КЗ [15]:

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T + X_{KЛ2})^2 + (R_{KЛ1} + R_T + R_{KЛ2})^2}, \quad (23)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(4,04 + 2,4 + 176,4 + 0,014)^2 + (2,76 + 6,88 + 0,09)^2} = 185,12 \text{ Ом}.$$

После нахождения результирующих сопротивлений выполняется непосредственный расчёт токов короткого замыкания.

Используются классические выражения, основанные на законе Ома для цепей переменного тока, где ток короткого замыкания определяется как отношение номинального фазного напряжения к модулю результирующего сопротивления.

При этом расчёт проводится для трёхфазного короткого замыкания, так как он считается максимальным.

«Ток трехфазного короткого замыкания» [15]:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}, A, \quad (24)$$

«Ток трехфазного КЗ в точке К1 по формуле (24)» [15]:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 7,01} = 0,86 \text{ кА}.$$

«Ток трехфазного короткого замыкания в расчётных точках К2 и К3 рассчитывается с учётом того, что данные точки не находятся на основной

ступени напряжения, следовательно, полученный результат умножается на квадрат коэффициента трансформации» [15]:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 183,09} \cdot \left(\frac{10,5}{0,4}\right)^2 = 0,87 \text{ кА},$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 185,12} \cdot \left(\frac{10,5}{0,4}\right)^2 = 0,86 \text{ кА}.$$

На заключительном этапе рассчитываются ударные токи, определяющие механическое и термическое воздействие на оборудование в первые секунды после возникновения короткого замыкания.

Ударный ток является решающим при проверке электродинамической стойкости элементов сети, в том числе аппаратов защиты и коммутации.

Ударный ток определяется с использованием нормативного ударного коэффициента, учитывающего асимметрию начального периода тока и переходный процесс в системе [15]:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{\text{уд}} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА}, \quad (25)$$

где « $\kappa_{\text{уд}}$ – ударный коэффициент тока короткого замыкания» [15].

«Значение ударного тока в расчётных точках схемы замещения по формуле (25)» [15]:

$$i_{\text{уд.к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 0,86 = 1,7 \text{ кА},$$

$$i_{\text{уд.к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 0,87 = 1,23 \text{ кА},$$

$$i_{\text{уд.к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 0,86 = 1,21 \text{ кА}.$$

Результаты расчётов токов КЗ приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов токов трёхфазного КЗ

Параметр, единица измерения	Точка КЗ		
	K1 (10 кВ)	K2 (0,4 кВ)	K3 (0,4 кВ)
$I_k^{(3)}$, кА	0,86	0,87	0,86
i_{y0} , кА	1,70	1,23	1,21

Таким образом, расчёт токов короткого замыкания включает в себя строго последовательный и взаимосвязанный комплекс инженерных операций, обеспечивающих достоверность результатов и позволяющих сформировать технически обоснованные решения при проектировании защитных и коммутационных устройств системы электроснабжения Мариинской больницы.

Полученные в результате расчёта токов короткого замыкания данные являются основополагающими при выборе оборудования электрических установок.

Выводы по разделу 4.

Проведён расчёт токов короткого замыкания и ударных токов в максимальном режиме на объекте.

Установлено, что электрооборудование, выбранное по результатам расчётов, должно обладать достаточной термической и динамической стойкостью, а также безопасно выдерживать расчётные значения токов короткого замыкания и ударных токов, без повреждений и нарушения работоспособности.

5 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов

5.1 Выбор и проверка проводников

Ранее в работе было установлено, что питающая подстанция Мариинской больницы получает питание по радиальной схеме от городского распределительного пункта 10 кВ (РП 10 кВ), двумя кабельными линиями марки АСБ-10 (3×16), проложенными в земляной траншее. После замены силовых трансформаторов марки ТМГ-160/10 на трансформаторы марки ТМГ-250/10, необходимо проверить целесообразность использования данных сечений кабелей. Данная линия находится в хорошем техническом состоянии, поэтому её полная замена без технического обоснования, не целесообразна.

От РУ 0,4 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ получают питание силовыми четырёхжильными кабелями марки АВВГ по радиальной схеме, ВРУ 0,4 кВ корпусов больницы. От ВРУ каждого корпуса больницы получают питание РЩ 0,4 кВ, а также распределительные щиты рабочего и аварийного освещения. Установлено, что данные кабельные линии питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ корпусов №1-№4 требуют замены на современные и надёжные кабели, обладающие значительными преимуществами перед устаревшими и изношенными кабелями марки АВВГ.

Кроме того, требуется выбрать новые кабели для питания ВРУ 0,4 кВ нового корпуса №5 больницы, а также кабелей распределительной сети к РЩ данного объекта.

Также планируется выбрать сечения новых кабельных линий резервной сети 0,4 кВ, которые будут питать ВРУ 0,4 кВ корпусов больницы от собственной ДГУ 0,4 кВ. При этом в питающей и распределительной сети обеспечивается необходимый и достаточный принцип «сквозного» резервирования с применением собственного источника питания, что необходимо для питания критически важных медицинских учреждений, к числу которых относится больница.

Таким образом, для проведения модернизации кабельных линий в результате реконструкции системы электроснабжения корпусов больницы, предлагается выбрать и проверить силовые кабели следующих марок:

- на питающей линии 10 кВ от РП 10 кВ к РУ 10 кВ ТП 10/0,4 кВ больницы, предлагается проверить возможность дальнейшего использования двух кабелей марки АСБ-10 (3×16), проложенных в земляной траншее [3];
- на питающих линиях основной сети 0,4 кВ от РУ 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ к ВРУ 0,4 кВ корпусов больницы, предлагается выбрать современные пятижильные силовые кабели марки АВБбШвнг, проложенные в земляных траншеях [7];
- на питающих линиях резервной сети 0,4 кВ от РУ 0,4 кВ ДГУ 0,4 кВ к ВРУ 0,4 кВ корпусов больницы, также предлагается выбрать современные пятижильные силовые кабели марки АВБбШвнг, проложенные в земляных траншеях [7];
- на распределительных линиях 0,4 кВ от ВРУ 0,4 кВ до РЩ корпусов больницы, предлагается применить современные пятижильные силовые кабели марки ВВГнг-LS, проложенные в закрытых лотках и коробах [8].

«Проводится выбора сечения кабеля 10 кВ, который питает ТП 10/0,4 кВ больницы от РП 10 кВ, по экономической плотности тока» [16]:

$$F_9 = \frac{I_{p.}}{j_9}, \quad (26)$$

где « j_9 – экономическая плотность тока, А/мм²» [14].

Расчётный ток нормального режима на стороне ТП 10/0,4 кВ больницы определяется номинальным током силовых трансформаторов, установленных на подстанции в результате проведения реконструкции:

$$I_{p.} = \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (27)$$

Ток нормального режима на стороне 10 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ больницы по формуле (27):

$$I_{p.} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,45 \text{ A}.$$

Выбор кабеля 10 кВ по экономической плотности тока по формуле (26):

$$F_э = \frac{14,45}{1,4} = 10,32 \text{ мм}^2.$$

Ближайшее стандартное сечение кабеля – 16 мм², что соответствует ранее используемому сечению кабеля марки АСБ-10 (3×16) с допустимым током 74 А.

«Проверка кабеля в нормальном режиме» [16]:

$$I_{дон} \geq I_{p.}, \quad (28)$$

где « $I_{дон}$ – предельно-допустимое значение тока проводника, А» [6].

Проверка по формуле (28) выполняется:

$$74 \text{ A} \geq 14,45 \text{ A}.$$

«Проверка кабеля в послеаварийном режиме» [16]:

$$I_{дон} \geq I_{p.маx}, \quad (29)$$

где « $I_{p.маx}$ – максимальный ток послеаварийного режима, А» [16].

Ток послеаварийного режима на стороне 10 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ больницы принимается с учётом коэффициента резервирования:

$$I_{p.\max} = K_p \cdot I_p. \quad (30)$$

Ток послеаварийного режима на стороне 10 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ больницы по формуле (30):

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 14,45 = 20,23 \text{ A.}$$

Проверка кабеля в послеаварийном режиме по формуле (29) выполняется:

$$74 \text{ A} \geq 20,23 \text{ A.}$$

«Проверка кабеля по условиям механической прочности» [16]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (31)$$

Проверка по формуле (31) выполняется:

$$16 \text{ мм}^2 = 16 \text{ мм}^2.$$

Результаты выбора сечения кабельных линий системы электроснабжения корпусов больницы представлены в таблице 4.

По условиям селективности, минимально-допустимое сечение кабелей распределительной сети 0,4 кВ должно быть не менее 4 мм², что учтено при выборе.

Таблица 4 – Результаты выбора сечения кабельных линий системы электроснабжения корпусов больницы

Наименование кабельной линии	I_p/I_{max} , А	Параметры выбранного кабеля	
		Марка	$I_{доп}$, А
Питающая сеть 10 кВ			
РП 10 кВ – Т1 ТП 10/0,4 кВ	14,45/20,23	АСБ-10 (3×16)	74,0
РП 10 кВ – Т2 ТП 10/0,4 кВ	14,45/20,23	АСБ-10 (3×16)	74,0
Питающая сеть 0,4 кВ (основная – от ТП 10/0,4 кВ)			
ТП 10/0,4 кВ – ВРУ1	128,70/-	АВБбШвнг 5×35	130
ТП 10/0,4 кВ – ВРУ2	99,93/-	АВБбШвнг 5×25	105
ТП 10/0,4 кВ – ВРУ3	62,56/-	АВБбШвнг 5×16	80
ТП 10/0,4 кВ – ВРУ4	195,03/-	АВБбШвнг 5×95	225
ТП 10/0,4 кВ – ВРУ5	77,76/-	АВБбШвнг 5×16	80
Питающая сеть 0,4 кВ (резервная – от ДГУ 0,4 кВ)			
ДГУ – ВРУ1	128,70/-	АВБбШвнг 5×35	130
ДГУ – ВРУ2	99,93/-	АВБбШвнг 5×25	105
ДГУ – ВРУ3	62,56/-	АВБбШвнг 5×16	80
ДГУ – ВРУ4	195,03/-	АВБбШвнг 5×95	225
ДГУ – ВРУ5	77,76/-	АВБбШвнг 5×16	80
Распределительная сеть 0,4 кВ			
ВРУ-1 – РЩ1	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-1 – РЩ2	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-1 – РЩ3	4,41/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-1 – РЩ4	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-1 – РЩ5	27,00/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-1 – РЩ6	27,00/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-1 – РЩ7	27,00/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-1 – РЩ8	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-2 – РЩ9	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-2 – РЩ10	20,95/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-2 – РЩ11	20,95/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-2 – РЩ12	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-2 – РЩ13	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-2 – РЩ14	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-2 – РЩ15	3,42/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-2 – РЩ16	8,11/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-3 – РЩ17	8,11/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-3 – РЩ18	8,11/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-3 – РЩ19	8,11/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-3 – РЩ20	8,11/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-3 – РЩ21	8,11/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-3 – РЩ22	8,11/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-3 – РЩ23	10,43/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-3 – РЩ24	10,43/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-4 – РЩ25	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-4 – РЩ26	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-4 – РЩ27	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-4 – РЩ28	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-4 – РЩ29	53,03/-	ВВГнг-LS 5×6	63

Продолжение таблицы 4

Наименование кабельной линии	I_p/I_{max} , А	Параметры выбранного кабеля	
		Марка	I_{don} , А
ВРУ-4 – РЩ30	53,03/-	ВВГнг-LS 5×6	63
ВРУ-4 – РЩ31	53,03/-	ВВГнг-LS 5×6	63
ВРУ-5 – РЩ32	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-5 – РЩ33	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-5 – РЩ34	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-5 – РЩ35	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-5 – РЩ36	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32
ВРУ-5 – РЩ37	14,22/-	ВВГнг-LS 5×4	32

Таким образом, для проведения модернизации кабельных линий в результате реконструкции системы электроснабжения корпусов больницы, в работе выбраны силовые кабели следующих марок:

- на питающей линии 10 кВ от РП 10 кВ к РУ 10 кВ ТП 10/0,4 кВ больницы, проверена и подтверждена возможность дальнейшего использования двух кабелей марки АСБ-10 (3×16), проложенных в земляной траншее;
- на питающих линиях основной сети 0,4 кВ от РУ 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ к ВРУ 0,4 кВ корпусов больницы, выбраны и проверены современные пятижильные силовые кабели марки АВБбШвнг различных сечений, проложенные в земляных траншеях;
- на питающих линиях резервной сети 0,4 кВ от РУ 0,4 кВ ДГУ 0,4 кВ к ВРУ 0,4 кВ корпусов больницы, выбраны и проверены современные пятижильные силовые кабели марки АВБбШвнг различных сечений, проложенные в земляных траншеях;
- на распределительных линиях 0,4 кВ от ВРУ 0,4 кВ до РЩ корпусов больницы, выбраны и проверены современные пятижильные силовые кабели марки ВВГнг-LS, проложенные в закрытых лотках и коробах.

Все выбранные кабельные линии напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ проверены на работоспособность в нормальном и послеаварийном (максимальном) режимах работы.

5.2 Выбор конструктивного выполнения электроустановок

В результате проведения реконструкции схемы и модернизации оборудования системы электроснабжения корпусов больницы, выбраны следующие типы и марки электроустановок:

- в качестве питающей ТП 10/0,4 кВ больницы, предлагается применить блочную комплектную трансформаторную подстанцию (БКТП) с двумя трансформаторами марки ТМГ-250/10, выбранными для применения на объекте реконструкции в работе ранее [4];
- в качестве ВРУ 0,4 кВ, а также РЩ 0,4 кВ корпусов больницы, выбраны шкафы распределительные низкого напряжения ШРНН, укомплектованные автоматическими воздушными выключателями [19].

Далее проводится аргументация и обоснование выбранных типов и марок данных электроустановок.

Выбор БКТП с двумя трансформаторами марки ТМГ-250/10 в качестве питающей ТП 10/0,4 кВ больницы, внешний вид которой представлен на рисунке 5, является оправданным решением ввиду сочетания ряда важных эксплуатационных, технических и экономических факторов.



Рисунок 5 – Конструктивное выполнение БКТП 10/0,4 кВ

Модульная компоновка такой подстанции обеспечивает компактность и скорость монтажа, что критически важно в условиях реконструкции действующего медицинского учреждения, где необходимо минимизировать сроки строительных работ и ограничивать вмешательство в имеющуюся инфраструктуру. Трансформаторы типа ТМГ отличаются пониженным уровнем шума и потерь, обеспечивая высокую надёжность электроснабжения и соответствуя требованиям по энергосбережению и охране окружающей среды. Наличие двух трансформаторов позволяет равномерно распределить нагрузку, обеспечивая резервирование на случай аварийных ситуаций и обеспечивая необходимый уровень надёжности для учреждения, относящегося к объектам критической инфраструктуры.

В качестве вводных и распределительных устройств на напряжении 0,4 кВ системы электроснабжения больничных корпусов, выбраны шкафы распределительные низкого напряжения (ШРНН), укомплектованные воздушными автоматическими выключателями. Внешний вид и компоновка данных шкафов представлены на рисунке 6.



Рисунок 6 – Шкаф распределительный низкого напряжения серии ШРНН

Применение таких шкафов даёт возможность гибкой конфигурации схемы коммутации и защиты, учитывая особенности распределения нагрузки в различных медицинских отделениях и необходимость быстрого реагирования на нештатные режимы.

Автоматические выключатели обладают высокой коммутационной способностью, что позволяет надёжно отключать токи короткого замыкания и перегрузки с учётом расчётных значений, определённых в работе ранее.

Помимо этого, воздушные выключатели отличаются более широким диапазоном регулировок уставок защит, позволяя точнее согласовывать зоны селективности между уровнями распределения и обеспечивать непрерывность электроснабжения для ответственных потребителей.

Наличие в шкафах собственных систем измерения и контроля облегчает диспетчерское управление и позволяет своевременно выявлять тенденции к превышению установленных нагрузок или другие потенциально аварийные ситуации.

Таким образом, предложенная модификация блочной комплектной трансформаторной подстанции с двумя силовыми трансформаторами ТМГ-250/10 в сочетании со шкафами распределительными низкого напряжения ШРНН, оборудованными автоматическими выключателями, отвечает современным требованиям по надёжности, безопасности, энергоэффективности и удобству эксплуатации, что особенно важно при реконструкции системы электроснабжения больничных корпусов, где неизменно предъявляются повышенные требования к непрерывности электроснабжения и качеству энергии для критических медицинских процессов.

Далее в работе проводится выбор рациональной компоновки электрическими аппаратами выбранных модификаций электроустановок.

Все электрические аппараты должны быть проверены по условиям установки в системе электроснабжения корпусов больницы с целью обеспечения надёжности и безопасности принятых решений.

5.3 Выбор электрических аппаратов

Проводится выбор и проверка электрических аппаратов с учетом рассчитанных ранее расчётных параметров системы электроснабжения корпусов больницы.

Все электрические аппараты проверяются по условиям установки в соответствующих распределительных устройствах больницы напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, включая их оценку климатических и эксплуатационных факторов, расчётных токов короткого замыкания и возможных перегрузок в максимальном режиме, а также способность аппаратов функционировать при скачках напряжения или других нестандартных ситуациях, связанных с особенностями электроснабжения медицинских корпусов.

Данные виды проверок являются важным завершающим шагом в обосновании принятых технических решений, исключающим вероятность отказов и обеспечивающим повышенную надёжность, соответствующую требованиям к объектам критической инфраструктуры.

Ранее в работе были выбраны типы и марки электроустановок для применения на объекте исследования. Проводится их компоновка электрическими аппаратами.

Выбор аппаратов проводится по методике и справочникам [11].

Для компоновки РУ 10 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ, выбираются и проверяются на соответствие расчётных параметров системы электроснабжения корпусов больницы, следующие коммутационные и защитные аппараты:

- новые выключатели нагрузки, которые заменят устаревшие модификации данного аппарата марки ВН-16 – 2 единицы;
- предохранители ПК-10-20-31,5/У3 – 6 единиц.

Результаты выбора оборудования для компоновки РУ 10 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения корпусов больницы, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты выбора оборудования для компоновки РУ 10 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения корпусов больницы

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели нагрузки марки ВНА СЭЩ 80-10/630-20	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 20,23 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 1,70 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$B_K = 0,86^2 \cdot 3 = 2,22 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Предохранители марки ПКТ-101-10-25-31,5-У3-КЭАЗ	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$1,5I_{ном.т} \leq I_{ном.вст}$	$1,5I_{ном.т} = 1,5 \times 14,45 = 21,68 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 25 \text{ А}$
	$I_{ном.п} \geq I_{ном.вст}$	$I_{ном.п} = 100 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 25 \text{ А}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$B_K = 0,86^2 \cdot 3 = 2,22 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,75 \text{ кА}^2\text{с}$

Таким образом, для компоновки РУ 10 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения корпусов больницы, выбраны и проверены выключатели нагрузки марки ВНА СЭЩ 80-10/630-20 и предохранители марки ПКТ-101-10-25-31,5-У3-КЭАЗ.

Далее в работе проводится выбор автоматических выключателей для установки в распределительных устройствах напряжением 0,4 кВ объекта исследования.

Ранее в работе было установлено, что РУ 0,4 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ, а также во ВРУ 0,4 кВ и РЩ 0,4 кВ питающей и распределительной сетей больницы, укомплектованы автоматическими выключателями устаревшей серии АЗ160 различных типонаименований.

В работе предлагается заменить их на надёжные и современные выключатели отечественной серии ВА.

Номинальные токи автомата, а также, соответственно, уставки теплового и электромагнитного расцепителей автомата выбираются, исходя из следующих условий [11]:

$$I_{ном.а} \geq I_{р.}, \quad (32)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_{р.}, \quad (33)$$

$$I_{у.э.р} \geq K_{то} \cdot I_{р} \geq I_{к}, \quad (34)$$

где $I_{у.т.р.}$, $I_{у.э.р.}$ – «соответственно, токи уставки теплового и электромагнитного расцепителей автомата, А;
 $K_{то}$ – коэффициент токовой отсечки, о.е.;
 $I_{к}$ – значение трёхфазного тока КЗ, А» [11].

«В случае, если автоматический выключатель выполнен с регулируемым электромагнитным расцепителем, зависящим от тока уставки теплового расцепителя» [11]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р.}, \quad (35)$$

где « K – кратность тока уставки электромагнитного расцепителя» [11].

«Выбор автоматических выключателей проводится по условиям (32) – (35) на примере вводного автомата питающей ТП 10/0,4 кВ. Номинальные значения тока автомата, а также токов уставок его расцепителей» [11]:

$$I_{ном.а} = 630 \text{ А} \geq I_{р.} = 1,4 \cdot 384,6 = 538,5 \text{ А},$$

$$I_{у.т.р} = 630 \text{ А} \geq 1,1 \cdot 538,5 = 592,35 \text{ А},$$

$$I_{у.э.р} = 1890 \text{ А} = 3 \cdot 630 = 1890 \text{ А}.$$

Для применения в качестве автомата ввода на питающей ТП 10/0,4 кВ, выбран автомат марки ВА 57-39 с $I_{ном.а} = 630 \text{ А}$, $I_{у.т.р.} = 630 \text{ А}$, $I_{у.э.р.} = 1890 \text{ А}$.

Результаты выбора остальных автоматических выключателей 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения корпусов больницы осуществлён аналогично и результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора автоматических выключателей 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения корпусов больницы

Наименование линии	I_p , А	Параметры выбранного автомата			
		Марка	$I_{ном.а}$, А	$I_{y.т.р.}$, А	$I_{y.э.р.}$, А
Питающая ТП 10/0,4 кВ и ДГУ					
Вводной автомат ТП 10/0,4 кВ	538,50	ВА 57-39	630	630	1890
Секционный автомат ТП 10/0,4 кВ	538,50	ВА 57-39	630	630	1890
Вводной автомат ДГУ 0,4 кВ	1356,92	ВА 55-43	1600	1600	4800
Питающая сеть 0,4 кВ (основная – от ТП 10/0,4 кВ)					
ТП 10/0,4 кВ – ВРУ1	128,70	ВА 57-35	160	160	480
ТП 10/0,4 кВ – ВРУ2	99,93	ВА 57-35	160	125	375
ТП 10/0,4 кВ – ВРУ3	62,56	ВА 52-31	100	80	240
ТП 10/0,4 кВ – ВРУ4	195,03	ВА 52-35	250	250	750
ТП 10/0,4 кВ – ВРУ5	77,76	ВА 52-31	100	100	300
Питающая сеть 0,4 кВ (резервная – от ДГУ 0,4 кВ)					
ДГУ – ВРУ1	128,70	ВА 57-35	160	160	480
ДГУ – ВРУ2	99,93	ВА 57-35	160	125	375
ДГУ – ВРУ3	62,56	ВА 52-31	100	80	240
ДГУ – ВРУ4	195,03	ВА 52-35	250	250	750
ДГУ – ВРУ5	77,76	ВА 52-31	100	100	300
Распределительная сеть 0,4 кВ					
ВРУ-1 – РЩ1	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-1 – РЩ2	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-1 – РЩ3	4,41	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ВРУ-1 – РЩ4	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-1 – РЩ5	27,00	ВА 47-29	32	32	96
ВРУ-1 – РЩ6	27,00	ВА 47-29	32	32	96
ВРУ-1 – РЩ7	27,00	ВА 47-29	32	32	96
ВРУ-1 – РЩ8	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-2 – РЩ9	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-2 – РЩ10	20,95	ВА 47-29	25	25	75
ВРУ-2 – РЩ11	20,95	ВА 47-29	25	25	75
ВРУ-2 – РЩ12	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-2 – РЩ13	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-2 – РЩ14	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-2 – РЩ15	3,42	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ВРУ-2 – РЩ16	8,11	ВА 47-29	10	10	30
ВРУ-3 – РЩ17	8,11	ВА 47-29	10	10	30
ВРУ-3 – РЩ18	8,11	ВА 47-29	10	10	30
ВРУ-3 – РЩ19	8,11	ВА 47-29	10	10	30
ВРУ-3 – РЩ20	8,11	ВА 47-29	10	10	30
ВРУ-3 – РЩ21	8,11	ВА 47-29	10	10	30
ВРУ-3 – РЩ22	8,11	ВА 47-29	10	10	30
ВРУ-3 – РЩ23	10,43	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-3 – РЩ24	10,43	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-4 – РЩ25	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-4 – РЩ26	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-4 – РЩ27	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-4 – РЩ28	14,22	ВА 47-29	16	16	48

Продолжение таблицы 6

Наименование линии	I_p, A	Параметры выбранного автомата			
		Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р.}, A$	$I_{у.э.р.}, A$
ВРУ-4 – РЩ29	53,03	ВА 47-29	63	63	189
ВРУ-4 – РЩ30	53,03	ВА 47-29	63	63	189
ВРУ-4 – РЩ31	53,03	ВА 47-29	63	63	189
ВРУ-5 – РЩ32	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-5 – РЩ33	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-5 – РЩ34	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-5 – РЩ35	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-5 – РЩ36	14,22	ВА 47-29	16	16	48
ВРУ-5 – РЩ37	14,22	ВА 47-29	16	16	48

Таким образом, для применения в РУ 0,4 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ, а также во ВРУ 0,4 кВ и РЩ 0,4 кВ питающей и распределительной сетей больницы, выбраны надёжные автоматические выключатели серии ВА различных типономиналов.

Выводы по разделу 5.

Таким образом, для проведения модернизации кабельных линий в результате реконструкции системы электроснабжения корпусов больницы, в работе выбраны силовые кабели следующих марок:

- на питающей линии 10 кВ от РП 10 кВ к РУ 10 кВ ТП 10/0,4 кВ больницы, проверена и подтверждена возможность дальнейшего использования двух кабелей марки АСБ-10 (3×16), проложенных в земляной траншее;
- на питающих линиях основной сети 0,4 кВ от РУ 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ к ВРУ 0,4 кВ корпусов больницы, выбраны и проверены современные пятижильные силовые кабели марки АВБбШвнг различных сечений, проложенные в земляных траншеях;
- на питающих линиях резервной сети 0,4 кВ от РУ 0,4 кВ ДГУ 0,4 кВ к ВРУ 0,4 кВ корпусов больницы, выбраны и проверены современные пятижильные силовые кабели марки АВБбШвнг различных сечений, проложенные в земляных траншеях;

- на распределительных линиях 0,4 кВ от ВРУ 0,4 кВ до РЩ корпусов больницы, выбраны и проверены современные пятижильные силовые кабели марки ВВГнг-LS, проложенные в закрытых лотках и коробах.

Все выбранные кабельные линии напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ проверены на работоспособность в нормальном и послеаварийном (максимальном) режимах работы.

В результате проведения реконструкции схемы и модернизации оборудования системы электроснабжения корпусов больницы, выбраны следующие типы и марки электроустановок:

- в качестве питающей ТП 10/0,4 кВ больницы, предлагается применить блочную комплектную трансформаторную подстанцию (БКТП) с двумя трансформаторами марки ТМГ-250/10, выбранными для применения на объекте реконструкции в работе ранее;
- в качестве ВРУ 0,4 кВ, а также РЩ 0,4 кВ корпусов больницы, выбраны шкафы распределительные низкого напряжения ШРНН, укомплектованные автоматическими воздушными выключателями.

Для компоновки РУ 10 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения корпусов больницы, выбраны и проверены выключатели нагрузки марки ВНА СЭЩ 80-10/630-20 и предохранители марки ПКТ-101-10-25-31,5-УЗ-КЭАЗ. Для применения в РУ 0,4 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ, а также во ВРУ 0,4 кВ и РЩ 0,4 кВ питающей и распределительной сетей больницы, выбраны надёжные автоматические выключатели серии ВА различных типономиналов.

Показано, что выбранное электрооборудование отвечают всем необходимым требованиям безопасности, экономичности и надёжности работы, что позволяет обеспечить бесперебойность технологического процесса, минимизировать риски аварий и отказов электрооборудования, а также существенно снизить эксплуатационные и капитальные затраты в системе электроснабжения корпусов больницы в результате её реконструкции.

6 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии

Для обеспечения эффективного контроля и учёта электрических параметров в системе электроснабжения корпусов больницы, предлагается использовать систему автоматизированной информационной системы контроля и учёта электроэнергетических параметров (АИИСКУЭ) на базе SCADA с интеграцией трёхфазных счётчиков СЕ 304 и СЕ208, а также устройства сбора и передачи данных (УСПД) марки 164-01М от ТМ «Энергомера» [2], структурная схема которой представлена на рисунке 7.

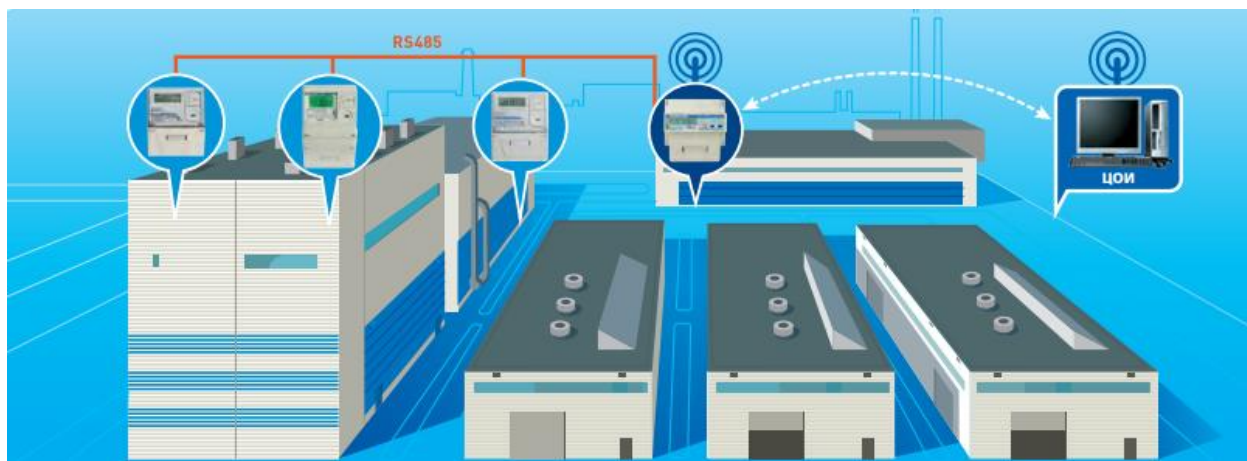


Рисунок 7 – Структурная схема АИИСКУЭ на базе SCADA с интеграцией трёхфазного счётчика СЕ 304 и устройства сбора и передачи данных (УСПД) марки 164-01М от ТМ «Энергомера»

Использование автоматизированной информационной системы контроля и учёта электроэнергетических параметров на базе SCADA-технологий в сочетании с трёхфазными счётчиками типа СЕ 304 и СЕ208, а также устройством сбора и передачи данных 164-01М ТМ «Энергомера» является логичным шагом при создании современной системы мониторинга электроэнергетических процессов в больничном комплексе.

Данный подход обеспечивает непрерывный сбор, обработку и анализ информации о потреблении электроэнергии в режиме реального времени, что

критически важно для управления нагрузками и оптимизации эксплуатационных затрат [17].

Трёхфазный счётчик СЕ 304, показанный на рисунке 8, позволяет получать высокоточную и детализированную информацию о параметрах сети и потреблении электроэнергии, включая активную и реактивную составляющие, показатели качества напряжения и другие важные параметры.

Он выгодно отличается высокой точностью измерений и надёжностью работы, что обеспечивает точное и достоверное учётное чтение потребления электроэнергии. Такой счётчик способен работать в широком диапазоне токов и напряжений, что делает его идеальным для различных условий эксплуатации.



Рисунок 8 – Трёхфазный счётчик СЕ 304

Интеграция данных от измерительных приборов и контроллеров в среду SCADA предоставляет возможность реализации удалённого мониторинга всех узлов распределения, что существенно упрощает диагностику и позволяет оперативно реагировать на возможные сбои.

Система сбора и передачи данных 164-01М от ТМ «Энергомера», представленная на рисунке 9, обеспечивает высокую надёжность коммуникаций, используя протоколы, соответствующие современным стандартам в области автоматизированных систем управления, и позволяет централизованно аккумулировать полученную информацию от множества измерительных точек.

Благодаря этому повышается оперативность принятия решений в случае отклонения параметров сети или возникновения нештатных ситуаций, что особенно важно для больницы с её жёсткими требованиями к бесперебойности питания жизнеобеспечивающего оборудования.

Выбранное устройство УСПД 164-01М поддерживает современные стандарты связи, такие как протоколы передачи данных по сети связи, обеспечивая высокую скорость передачи и защищённость информации.



Рисунок 9 – УСПД 164-01М

Данное устройство было выбрано благодаря его высокой надёжности, хорошо зарекомендовавшей себя на рынке отечественных разработок.

Устройство УСПД 164-01М обеспечивает стабильную работу в условиях повышенных нагрузок и эксплуатационных нагрузок, что особенно важно для системы электроснабжения критически важных объектов, к которым относится система электроснабжения корпусов больницы.

Выбранное решение легко масштабируется и адаптируется к будущему расширению энергосистемы, что даёт возможность при необходимости оперативно вносить изменения и модернизировать систему без существенных затрат на переоборудование.

Таким образом, предложенная конфигурация является комплексным, технологичным и экономически целесообразным решением, обеспечивающим надёжный контроль и управление электрическими параметрами в системе электроснабжения медицинского учреждения.

Выводы по разделу 6.

Показано, что комплексное применение системы SCADA, состоящей из трёхфазных счётчиков СЕ 304 и СЕ208, а также устройства УСПД 164-01М от ТМ «Энергомера», обеспечивает высокий уровень автоматизации, надёжность и эффективность в управлении и контроле электроэнергетическими процессами в системе электроснабжения корпусов больницы, а также в точном измерении параметров электроэнергии.

Принятые технические решения способствуют повышению оперативности реагирования на изменения и обеспечивают экономическую эффективность в управлении энергопотреблением.

Заключение

В работе проведена разработка мероприятий по реконструкции системы электроснабжения корпусов больницы, направленных на повышение надежности, безопасности и эффективности функционирования системы электроснабжения данного лечебного учреждения.

Рассмотрена существующая система электроснабжения городской Мариинской больницы. Установлено, что медицинский комплекс больницы включает в себя четыре действующих корпуса, которые в настоящее время эксплуатируются и обеспечивают предоставление медицинских услуг по различным направлениям, а также новый, пятый корпус, недавно построенный и вводящийся в эксплуатацию для расширения возможностей больницы в сфере оказания медицинских услуг населению.

Показано, что в системе электроснабжения корпусов больницы, увеличивается мощность нагрузки в связи с вводом в эксплуатацию новых потребителей корпуса №5, что приводит к необходимости внесения изменений в схему электрических соединений объекта исследования, определяя, таким образом, главную задачу работы.

Установлено, что суммарная проектная нагрузка системы электроснабжения корпусов больницы, вместе с нагрузкой нового корпуса №5, вводимого в эксплуатацию в связи с расширением сферы оказываемых медицинских услуг населению, составила 524,8 кВт.

Также установлено, что в системе электроснабжения больницы рекомендуется установка третьего независимого собственного источника питания в виде новой дизель-генераторной установки (ДГУ) напряжением 0,38/0,22 кВ, которую планируется подключить к секциям сборных шин 0,4 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ с использованием АВР.

Кроме того показано, что на объекте реконструкции требуется полная модернизация устаревшего оборудования и проводников питающей и распределительной сетей.

Проведены расчёты максимальной нагрузки в системе электроснабжения корпусов больницы после внедрения мероприятий по реконструкции:

- отдельных РЩ;
- отдельных корпусов больницы;
- суммарной нагрузки всей системы электроснабжения больницы.

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок позволяют сформировать уточнённую нагрузочную модель системы электроснабжения объекта исследования после проведения реконструкции, а также дают основание для дальнейшего выбора рациональных сечений кабельных линий, электрических аппаратов, мощности трансформаторов на питающей ТП 10/0,4 кВ, а также мощности новой резервной ДГУ, которую планируется использовать в качестве третьего независимого источника питания, что необходимо для объектов особой категории надёжности, к числу которых относится объект исследования.

Установлено, что в связи с увеличением нагрузки, на питающей ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения корпусов больницы окончательно выбраны два новых силовых трансформатора марки ТМГ-250/10, которые не совпадают с ранее установленными силовыми трансформаторами марки ТМГ-160/10. Показано, что применение дизель-генераторной установки АД-630С-Т400-1РМ11 позволяет гарантировать выполнение требований по резервированию питания объектов особой категории надёжности, соответствует нормативным предписаниям, предъявляемым к медицинским учреждениям, и полностью обеспечивает надёжную и быструю реакцию системы электроснабжения на внешние отключения основного питания при сохранении работоспособности всех критически важных подразделений больничного комплекса.

Проведён расчёт токов короткого замыкания и ударных токов в максимальном режиме на объекте.

Для проведения модернизации кабельных линий в результате реконструкции системы электроснабжения корпусов больницы, в работе выбраны силовые кабели следующих марок:

- на питающей линии 10 кВ от РП 10 кВ к РУ 10 кВ ТП 10/0,4 кВ больницы, проверена и подтверждена возможность дальнейшего использования двух кабелей марки АСБ-10 (3×16), проложенных в земляной траншее;
- на питающих линиях основной сети 0,4 кВ от РУ 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ к ВРУ 0,4 кВ корпусов больницы, выбраны и проверены современные пятижильные силовые кабели марки АВБбШвнг различных сечений, проложенные в земляных траншеях;
- на питающих линиях резервной сети 0,4 кВ от РУ 0,4 кВ ДГУ 0,4 кВ к ВРУ 0,4 кВ корпусов больницы, выбраны и проверены современные пятижильные силовые кабели марки АВБбШвнг различных сечений, проложенные в земляных траншеях;
- на распределительных линиях 0,4 кВ от ВРУ 0,4 кВ до РЩ корпусов больницы, выбраны и проверены современные пятижильные силовые кабели марки ВВГнг-LS, проложенные в закрытых лотках и коробах.

Все выбранные кабельные линии напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ проверены на работоспособность в нормальном и послеаварийном (максимальном) режимах работы.

В результате проведения реконструкции схемы и модернизации оборудования системы электроснабжения корпусов больницы, выбраны следующие типы и марки электроустановок:

- в качестве питающей ТП 10/0,4 кВ больницы, предлагается применить блочную комплектную трансформаторную подстанцию (БКТП) с двумя трансформаторами марки ТМГ-250/10, выбранными для применения на объекте реконструкции в работе ранее;

– в качестве ВРУ 0,4 кВ, а также РЩ 0,4 кВ корпусов больницы, выбраны шкафы распределительные низкого напряжения ШРНН, укомплектованные автоматическими воздушными выключателями.

Для компоновки РУ 10 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения корпусов больницы, выбраны и проверены выключатели нагрузки марки ВНА СЭЩ 80-10/630-20 и предохранители марки ПКТ-101-10-25-31,5-УЗ-КЭАЗ. Для применения в РУ 0,4 кВ питающей ТП 10/0,4 кВ, а также во ВРУ 0,4 кВ и РЩ 0,4 кВ питающей и распределительной сетей больницы, выбраны надёжные автоматические выключатели серии ВА различных типонаименований.

Показано, что выбранное электрооборудование отвечает всем необходимым требованиям безопасности, экономичности и надёжности работы, что позволяет обеспечить бесперебойность технологического процесса, минимизировать риски аварий и отказов электрооборудования, а также существенно снизить эксплуатационные и капитальные затраты в системе электроснабжения корпусов больницы в результате её реконструкции.

Показано, что комплексное применение системы SCADA, состоящей из трёхфазных счётчиков СЕ 304 и СЕ208, а также устройства УСПД 164-01М от ТМ «Энергомера», обеспечивает высокий уровень автоматизации, надёжность и эффективность в управлении и контроле электроэнергетическими процессами в системе электроснабжения корпусов больницы, а также в точном измерении параметров электроэнергии.

Таким образом, реализация предложенных решений по реконструкции системы электроснабжения больничных корпусов, обеспечит повышение уровня надёжности и безопасности медицинского учреждения, а также создаст условия для эффективного управления энергоресурсами и экономии эксплуатационных расходов.

Список используемых источников

1. АД-630С-Т400-1РМ11. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.gc-azimut.ru/dizel-generatory/630-kvt/azimut/ad-630s-t400-1rm11/> (дата обращения: 04.04.2025).
2. АИИСКУЭ промышленные ЭНЕРГОМЕРА. [Электронный ресурс]: URL: <https://energomera.nt-rt.ru/catalog/askue-promyslennye> (дата обращения: 04.04.2025).
3. АСБ длительно допустимый ток. [Электронный ресурс]: URL: <https://elmarts.ru/blog/spravochnik/asb-dlitelno-dopustimyy-tok/> (дата обращения: 04.04.2025).
4. БКТП 250 6(10) 0,4. [Электронный ресурс]: URL: <https://nipo-rusenergo.ru/blochnye-komplektnye-transformatornye-podstantsii/bktp/bktp-250-610-04> (дата обращения: 04.04.2025).
5. ГОСТ 14209–85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (с Изменением № 1). [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012414> (дата обращения: 04.04.2025).
6. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 04.04.2025).
7. Кабель АВБбШвнг. [Электронный ресурс]: URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/avbbshng/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/avbbshng/) (дата обращения: 04.04.2025).
8. Кабель ВВГнг-LS. [Электронный ресурс]: URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66%3B-1kv\)/vvgng-ls/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-pvx-izolyacziej-(0,66%3B-1kv)/vvgng-ls/) (дата обращения: 04.04.2025).
9. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: КноРус, 2019. 236 с.

10. Мариинская больница. [Электронный ресурс]: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Мариинская_больница (дата обращения: 04.04.2025).

11. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.

12. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ от 15 декабря 2020 г. № 903н / Приказ от 29 апреля 2022 г. № 279н). Изд-во Мини-Тайп, 2023. 216 с.

13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.

14. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.

15. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 04.04.2025).

16. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.

17. Сибикин Ю.Д. Технология энергосбережения. М.: Инфра-М, 2022. 336 с.

18. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.

19. Шкафы распределительные низкого напряжения ШРНН. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.220energy.ru/collection/shkafy-raspredelitelnye-nizkogo-napryazheniya-serii-shrnn> (дата обращения: 04.04.2025).

20. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 с.