

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

ПЦК «ЭД»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ (РАБОТА)

на тему «Модернизация схемы электроснабжения корпуса А ЛФ ПНИПУ»
обучающегося группы ЭС9-22-1спо по специальности
13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)»

Омышев Александр Иванович

Фамилия имя отчество студента

Руководитель работы: _____ \Торощин А.К.\

Консультант по
организационно -экономической части: _____ \Стругова Л.А.\

Консультант по
охране труда _____ \ Торощин А.К.\

Рецензент: _____ \Колосов И.С.\

Допуск к защите: _____ \ Торощин А.К.\

Лысьва, 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	7
1.1 Электроснабжение учебных заведений: состав, требования и схемные решения	7
1.2 Требования электробезопасности в учебных заведениях: нормативная база	9
1.3 Электроприёмники корпуса А: состав, характеристики и режимы работы	10
1.4 Оборудование и материалы, применяемые в электроснабжении общественных зданий	12
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	15
2.1 Детальный расчёт электрических нагрузок корпуса А	15
2.1.1 Нагрузка от компьютерного оборудования	15
2.1.2 Нагрузка системы рабочего освещения	16
2.1.3 Нагрузка розеточной сети общего назначения	21
2.1.4 Суммарная нагрузка корпуса	21
2.2 Расчёт падения напряжения в распределительной сети	22
2.3 Расчёт токов короткого замыкания	24
2.4 Выбор аппаратов защиты и кабелей	26
2.5 Проектирование системы освещения	27
2.6 Расчёт заземляющего устройства	28
2.7 Принципиальная однолинейная схема	30
3. ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	31
3.1 Экономическое обоснование модернизации	31
3.2 Расчёт трудозатрат и потребности в материальных ресурсах	33
3.2.1 Определение объёмов основных материалов и оборудования	33
3.2.2 Расчёт трудоёмкости монтажных и пусконаладочных работ	35
3.2.3 Определение численности персонала и продолжительности работ	36

3.2.4 Сопоставление трудозатрат со сметной стоимостью	37
3.3 Расчёт эксплуатационных расходов	38
3.3.1 Расчёт для существующей системы (до модернизации)	38
3.3.2 Расчёт для модернизированной системы.....	39
3.3.3 Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных расходов.....	41
3.3.4 Уточнённый срок окупаемости.....	41
4. ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ.....	42
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	42
4.2 Мероприятия по пожарной безопасности.....	44
4.2.1 Выбор кабельной продукции с пониженной пожарной опасностью.....	44
4.2.2 Защитная автоматика и сигнализация	45
4.3 Мероприятия по улучшению условий труда и экологичности.....	46
4.3.1 Снижение высших гармоник от светодиодных светильников.....	47
4.3.2 Сбор и утилизация отработанных ртутьсодержащих ламп	47
4.3.3 Экологические преимущества перехода на светодиодное освещение ...	48
4.3.4 Улучшение микроклимата и снижение шума.....	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	53

ВВЕДЕНИЕ

Современные образовательные организации высшего образования представляют собой сложные инженерно-технические комплексы, в которых системы электроснабжения выполняют роль одного из ключевых элементов инфраструктуры, напрямую определяющего качество и безопасность образовательного процесса. ЛФ ПНИПУ эксплуатирует учебные корпуса, основная часть которых была построена в 1970-х годах. За прошедший период произошли коренные изменения как в нормативно-правовой базе, регламентирующей устройство электроустановок общественных зданий, так и в структуре электропотребления, обусловленные массовым внедрением компьютерной техники, мультимедийного оборудования и систем автоматизации. Действующие электрические сети корпуса А не в полной мере соответствуют современным требованиям, что выражается в недостаточной пропускной способности кабельных линий, моральном устаревании защитных аппаратов, а также в отсутствии ряда элементов, обязательных к применению согласно актуальной редакции ПУЭ и сводам правил. Модернизация схемы электроснабжения направлена на решение указанных проблем и является необходимой мерой для обеспечения надёжного и безопасного функционирования учебного корпуса в условиях роста электрических нагрузок.

Объект исследования – система электроснабжения административно-учебного корпуса А Лысьвенского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Предмет исследования – методы и средства расчёта электрических нагрузок, выбора защитного оборудования, проектирования систем освещения и заземляющих устройств, применяемые при модернизации электроустановок общественных зданий.

Целью дипломной работы является разработка проекта модернизации схемы электроснабжения учебного корпуса А, обеспечивающего требуемую

категорию надёжности, безопасность эксплуатации и энергоэффективность при минимальных капитальных затратах и сроках окупаемости.

Для достижения указанной цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Выполнить анализ существующей нормативно-правовой базы в области электроснабжения общественных зданий и требований электробезопасности в образовательных учреждениях.

2. Произвести обследование и инвентаризацию электрооборудования, установленного в корпусе А, с определением его технического состояния и фактической загрузки.

3. В соответствии с методиками СП 31-110-2003 и СП 256.1325800.2016 выполнить детальный расчёт суммарных электрических нагрузок корпуса с разбивкой по этажам и группам потребителей.

4. Осуществить проверочный расчёт падения напряжения в наиболее протяжённых и загруженных участках сети для подтверждения правильности выбора сечений токопроводящих жил.

5. Выполнить расчёт токов короткого замыкания (трёхфазного и однофазного) в характерных точках сети с целью проверки отключающей способности и чувствительности защитных аппаратов.

6. На основании полученных расчётных данных произвести обоснованный выбор коммутационных и защитных аппаратов (автоматических выключателей, устройств защитного отключения), а также марок и сечений кабелей для всех участков сети.

7. Разработать систему рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения, выполнив светотехнический расчёт методом коэффициента использования, с обеспечением нормативных уровней освещённости согласно СП 52.13330.2016.

8. Рассчитать параметры заземляющего устройства для обеспечения электробезопасности в системе TN-C-S.

9. Провести технико-экономическую оценку предлагаемых проектных решений, включая расчёт сметной стоимости и срока окупаемости инвестиций.

10. Составить сводную спецификацию основного электрооборудования и разработать принципиальную однолинейную схему электроснабжения корпуса.

Практическая значимость – результаты могут быть непосредственно использованы при капитальном ремонте и техническом перевооружении корпуса А.

1. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Электроснабжение учебных заведений: состав, требования и схемные решения

Под электроснабжением здания понимается комплекс технических мероприятий и устройств, предназначенных для приёма, распределения и преобразования электрической энергии, поступающей от внешней питающей сети, и доведения её до конечных электроприёмников с требуемыми параметрами качества и надёжности. Применительно к общественным зданиям, к которым относятся и корпуса ООВО, состав системы электроснабжения регламентирован СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа». В соответствии с данным документом, система включает в себя следующие функциональные элементы:

- Вводно-распределительное устройство (ВРУ) – комплекс низковольтных аппаратов, устанавливаемый на вводе питающей линии в здание и предназначенный для приёма электроэнергии, её учёта (при размещении в ВРУ приборов учёта) и распределения по отходящим линиям. Конструкция ВРУ должна исключать возможность случайного прикосновения к токоведущим частям и соответствовать классу защиты не ниже IP31.

- Этажные распределительные щиты (ЩЭ) – предназначены для распределения электроэнергии в пределах этажа или секции здания. В ЩЭ устанавливаются аппараты защиты и управления групповыми линиями.

- Групповые осветительные и силовые щитки (ЩО, ЩС) – конечные распределительные пункты, от которых непосредственно питаются электроприёмники (светильники, розеточные группы, технологическое оборудование).

- Внутренние распределительные сети подразделяются на питающие (магистральные), соединяющие ВРУ с этажными щитами, и групповые линии, идущие от этажных щитов непосредственно к электроприёмникам.

С точки зрения надёжности электроснабжения, электроприёмники классифицируются в соответствии с ПУЭ-7 (глава 1.2) на три категории. Электроприёмники учебных корпусов в общем случае относятся ко второй категории, для которой допустим перерыв в подаче электроэнергии на время автоматического ввода резерва (АВР), но не более чем на время, необходимое для восстановления питания дежурным персоналом. Отнесение здания ко II категории обусловлено тем, что длительное отключение электроснабжения приводит к срыву учебного процесса и, как следствие, к нарушению нормальной деятельности значительного числа людей — студентов и преподавателей.

Архитектура внутренних электрических сетей общественных зданий классифицируется на три основных типа: радиальные, магистральные и смешанные. При радиальной схеме каждый этажный щит или крупный потребитель подключается к ВРУ индивидуальной кабельной линией, что обеспечивает высокую надёжность, но ведёт к повышенному расходу кабельной продукции. Магистральная схема предполагает последовательное подключение распределительных щитов к общей магистрали, что экономически выгоднее, однако снижает надёжность, так как повреждение магистрального кабеля приводит к отключению всех последующих щитов. Смешанная схема, рекомендованная СП 256.1325800.2016 для зданий высотой до 5 этажей, сочетает магистральный принцип организации питающей сети (от ВРУ к этажным щитам) с радиальным построением групповых сетей. Именно такая схема принята в качестве базовой при разработке проекта модернизации корпуса А.

Питающая сеть выполняется пятипроводной: три фазных проводника (L1, L2, L3), нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE). Такая конфигурация соответствует системе заземления типа TN-S, обязательной для вновь строящихся и реконструируемых общественных зданий. Разделение нулевого рабочего и защитного проводников на всём протяжении сети является одним из фундаментальных требований электробезопасности.

1.2 Требования электробезопасности в учебных заведениях: нормативная база

Обеспечение электробезопасности в образовательных организациях регулируется комплексом нормативных документов, иерархически выстроенных от федеральных законов до сводов правил и государственных стандартов. Основу нормативной базы составляют:

- Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», устанавливающий обязательные требования к пожарной безопасности электрооборудования, включая применение кабелей с индексом «нг» (не распространяющих горение) и «LS» (с пониженным дымо- и газовыделением) для прокладки в общественных зданиях.

- Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 7-е издание, являющиеся основополагающим отраслевым документом. Ключевые для данного проекта разделы ПУЭ включают: главу 1.7 «Заземление и защитные меры электробезопасности», главу 7.1 «Электроустановки жилых, общественных, административных и бытовых зданий», главу 6.1 «Внутреннее электроосвещение».

- СП 256.1325800.2016 устанавливает правила проектирования и монтажа электроустановок вновь строящихся и реконструируемых общественных зданий.

- СП 52.13330.2016 (актуализированная редакция СНиП 23-05-95*) устанавливает количественные и качественные параметры систем искусственного освещения для помещений различного функционального назначения.

- ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии» определяет допустимые отклонения напряжения и частоты питающей сети на зажимах электроприёмников.

- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и

общественных зданий» устанавливает санитарные нормы освещения учебных помещений.

Конструктивное исполнение системы электроснабжения должно обеспечивать защиту от трёх основных поражающих факторов: прямого прикосновения к токоведущим частям, косвенного прикосновения (при повреждении изоляции) и термического воздействия электрической дуги при коротких замыканиях. Защита от косвенного прикосновения реализуется посредством автоматического отключения питания в системе TN-S с обязательным применением устройств защитного отключения (УЗО), реагирующих на дифференциальный ток утечки. Согласно п. 7.1.82 ПУЭ, для групповых линий, питающих штепсельные розетки в помещениях общественных зданий, номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО должен составлять не более 30 мА, а время отключения — не более 0.1 с.

Особые требования предъявляются к электропроводкам, прокладываемым в помещениях с массовым пребыванием людей, к которым относятся учебные аудитории. В соответствии с СП 256.1325800.2016 все кабели групповых сетей должны выполняться с индексом «нг(А)-LS», что гарантирует нераспространение горения при групповой прокладке (категория А по ГОСТ ИЕС 60332-3-22) и пониженное дымообразование при горении и тлении. Запрещается прокладка незащищённых кабелей непосредственно по сгораемым основаниям без использования металлических труб или коробов.

1.3 Электроприёмники корпуса А: состав, характеристики и режимы работы

Современный учебный процесс в высших учебных заведениях неразрывно связан с применением информационно-коммуникационных технологий, что определяет специфическую структуру электропотребления, в которой доминирует компьютерная техника. По результатам натурного

обследования, установлен следующий количественный состав электроприёмников учебного корпуса А.

Таблица 1.3.1–Количественный состав компьютеров по этажам

Этаж	Кабинеты 2–4 ПК	Компьютерные классы (23 ПК)	Всего ПК
1-й	3	1	35
2-й	9	1	50
3-й	11	1	56
Итого	23	3	141

Помимо персональных компьютеров, каждый кабинет оснащён периферийным оборудованием (лазерные принтеры, многофункциональные устройства, мультимедийные проекторы) и сетевыми коммутаторами, суммарная установленная мощность которых оценивается в среднем в 120 Вт на кабинет. Для компьютерных классов дополнительно учитывается мощность серверного оборудования и активного сетевого оборудования (коммутаторы уровня доступа, беспроводные точки доступа) в размере 200 Вт на класс.

Для целей расчёта электрических нагрузок номинальная мощность одного автоматизированного рабочего места (АРМ) определяется как сумма мощностей системного блока и жидкокристаллического монитора диагональю 23.8". Согласно данным производителей, средняя активная мощность системного блока офисного класса в рабочем режиме составляет 350 Вт (с учётом пикового потребления при запуске программ до 500 Вт),

мощность монитора – 35 Вт. Таким образом, номинальная мощность одного АРМ:

$$P_{\text{ном.АРМ}} = P_{\text{сб}} + P_{\text{мон}} = 350 + 35 = 385 \text{ Вт}$$

Однако единовременное потребление всеми компьютерами максимальной мощности на практике не достигается. Для учёта статистической вероятности совпадения пиковых нагрузок вводится коэффициент использования $K_{\text{и}}$, определяемый как отношение средней активной мощности электроприёмника за наиболее загруженную смену к его номинальной мощности. Для вычислительной техники, работающей в учебных классах, $K_{\text{и}}$ принимается равным 0.8, что подтверждается многолетними наблюдениями за режимами работы компьютерных классов.

Кроме того, для корректного учёта реактивной составляющей вводится коэффициент мощности $\cos \phi$, который для импульсных блоков питания современных компьютеров с активной коррекцией (Active PFC) составляет не менее 0.9. При отсутствии активной коррекции $\cos \phi$ может снижаться до 0.65–0.7, однако при проектировании, ориентированном на современное оборудование, правомерно принять нормативное значение $\cos \phi = 0.9$.

1.4 Оборудование и материалы, применяемые в электроснабжении общественных зданий

Проектирование системы электроснабжения предполагает комплексный подбор оборудования, отвечающего требованиям надёжности, безопасности и экономичности. Ключевые группы оборудования и материалов рассмотрены ниже.

Для внутренних сетей напряжением до 1000 В применяются силовые кабели с медными токопроводящими жилами (класс гибкости 1 или 2 по

ГОСТ 22483-2012). Согласно противопожарным требованиям, кабели, прокладываемые в зданиях с массовым пребыванием людей, должны иметь:

- изоляцию и оболочку из поливинилхлоридного пластика пониженной пожарной опасности;
- индекс «нг(А)» – нераспространение горения по категории А (по ГОСТ IEC 60332-3-22);
- индекс «LS» – пониженное дымо- и газовыделение (Low Smoke).

Этим требованиям удовлетворяет кабель марки ВВГнг(А)-LS на номинальное напряжение 0.66 кВ, выпускаемый по ГОСТ 31996-2012. Допустимая температура нагрева жил при нормальном режиме составляет +70 °С, при коротком замыкании +160 °С (для ПВХ-изоляции). Прокладка осуществляется в кабельных коробах (лотках) или в стальных трубах при скрытой проводке.

В качестве аппаратов защиты от сверхтоков (перегрузок и коротких замыканий) применяются автоматические выключатели, соответствующие ГОСТ 50345-2010. Выключатели характеризуются:

- номинальным током I_n (6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125 А);
- типом характеристики мгновенного расцепления: В (3-5)· I_n , С(5-10)· I_n , D(10-20)· I_n . Для компьютерных нагрузок с умеренными пусковыми токами применяется характеристика типа С.

Для защиты от токов утечки применяются выключатели дифференциального тока (ВДТ), конструктивно объединяющие модуль УЗО и автоматический выключатель (дифавтоматы). В соответствии с п. 7.1.82 ПУЭ, номинальный отключающий дифференциальный ток для групповых линий, питающих розетки, составляет $I_{\Delta n} = 30$ мА, тип А (чувствительность к синусоидальным и пульсирующим постоянным токам утечки).

Этажные щиты ЩЭ навесного (навесной) исполнения должны обеспечивать класс защиты не ниже IP31 (защита от проникновения твёрдых

тел диаметром ≥ 2.5 мм и от вертикально падающих капель воды) при установке в сухих отапливаемых помещениях.

В качестве источников света предлагается использование светодиодных панелей мощностью 40–50 Вт со световым потоком 4000–5200 лм.

Светодиодное освещение, по сравнению с люминесцентным, обеспечивает:

- экономию электроэнергии до 60 %;
 - отсутствие пульсаций светового потока (коэффициент пульсации $K_{\text{п}} \leq 1$ %, что ниже допустимого для учебных помещений согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 уровня 10 %);
 - отсутствие в составе ртути и иных вредных веществ, требующих специальной утилизации;
 - мгновенный выход на рабочий режим при отрицательных температурах;
- срок службы не менее 50 000 часов.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Детальный расчёт электрических нагрузок корпуса А

Расчёт электрических нагрузок является ключевым этапом проектирования, определяющим выбор всех последующих элементов системы электроснабжения. Расчёт выполняется в соответствии с методикой, изложенной в разделе 6 СП 31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий», которая базируется на определении расчётной активной мощности P_p как произведения установленной мощности P_y на коэффициент спроса K_c :

$$P_p = P_y \cdot K_c$$

Коэффициент спроса для каждого вида нагрузки принимается согласно таблице 6.5 СП 31-110-2003.

2.1.1 Нагрузка от компьютерного оборудования

Расчёт выполняется отдельно для компьютерных классов (23 АРМ) и кабинетов преподавателей и сотрудников (2–4 АРМ). В соответствии с п. 1.3, номинальная мощность одного АРМ составляет 385 Вт, коэффициент использования $K_{и} = 0.8$, коэффициент мощности $\cos \phi = 0.9$.

Для компьютерного класса (23 АРМ):

$$P_{y.кл} = 23 \cdot 385 = 8855 \text{ Вт} \approx 8.86 \text{ кВт}$$

$$P_{p.кл} = P_{y.кл} \cdot K_{и} = 8855 \cdot 0.8 = 7084 \text{ Вт} \approx 7.08 \text{ кВт}$$

Полная расчётная мощность класса:

$$S_{p.кл} = \frac{P_{p.кл}}{\cos \phi} = \frac{7.08}{0.9} = 7.87 \text{ кВА}$$

Расчётный ток (трёхфазное питание 380 В):

$$I_{p.кл} = \frac{S_{p.кл}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{7870}{\sqrt{3} \cdot 380} = \frac{7870}{658.18} = 11.96 \text{ А},$$

где $U_{л} = 380 \text{ В}$ — линейное напряжение питающей сети.

Для кабинета с максимальным количеством компьютеров (4 АРМ):

$$P_{y.каб} = 4 \cdot 385 = 1540 \text{ Вт}$$

$$P_{p.каб} = 1540 \cdot 0.8 = 1232 \text{ Вт} \approx 1.23 \text{ кВт}$$

Таблица 2 – Сводный расчёт компьютерной нагрузки по этажам

Этаж	Классы, $n_{кл} \times P_{p.кл}$ (кВт)	Кабинеты, $n_{каб} \times P_{p.каб}$ (кВт) т)	Суммарная $P_{p.комп}$ (кВт)
1	1×7.08	$3 \times 1.23 = 3.69$	10.77
2	1×7.08	$9 \times 1.23 = 11.07$	18.15
3	1×7.08	$11 \times 1.23 = 13.53$	20.61
Итого	$3 \times 7.08 = 21.24$	$23 \times 1.23 = 28.29$	49.53

Суммарная расчётная активная мощность компьютерной нагрузки составляет $P_{p.комп} = 49.53 \text{ кВт}$.

2.1.2 Нагрузка системы рабочего освещения

В соответствии с СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение», нормируемая освещённость для учебных аудиторий и компьютерных классов составляет:

- рабочие поверхности (столы) – 400 лк;
- классная доска – 500 лк (создаётся отдельными светильниками);
- вспомогательные помещения – 200 лк;
- коридоры, вестибюли – 100 лк.

При проектировании осветительной установки применяется два основных метода: метод коэффициента использования светового потока (применяется для общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей) и точечный метод (используется для расчёта локализованного освещения и освещения наклонных поверхностей). В настоящей работе для

расчёта общего освещения аудиторий принят метод коэффициента использования.

Световой поток, необходимый для обеспечения заданной освещённости $E_{\text{норм}}$ в помещении площадью S , определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{общ}} = \frac{E_{\text{норм}} \cdot S \cdot k_{\text{зап}} \cdot Z}{\eta}$$

где каждое из обозначений имеет чёткий физический смысл:

- $E_{\text{норм}}$ – нормируемая освещённость, лк, выбираемая по СП 52.13330.2016 в зависимости от типа помещения и характера зрительной работы;

- S – площадь помещения, м²;

- $k_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса, компенсирующий снижение освещённости в процессе эксплуатации вследствие загрязнения светильников и старения источников света; для светодиодных светильников в чистых помещениях с регулярной очисткой оптики принимается $k_{\text{зап}} = 1.2$;

- Z – коэффициент минимальной освещённости, равный отношению средней освещённости к минимальной; для светодиодных светильников с косинусным светораспределением $Z = 1.1$;

- η – коэффициент использования светового потока, определяемый в зависимости от индекса помещения i , коэффициентов отражения потолка ($\rho_{\text{п}}$), стен ($\rho_{\text{с}}$) и расчётной поверхности ($\rho_{\text{р}}$). Индекс помещения вычисляется как:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

где a и b – длина и ширина помещения, м; h – расчётная высота подвеса светильника, равная расстоянию от центра светового отверстия до условной рабочей поверхности (принимаемой на высоте 0.8 м от пола), м.

Пример расчёта для типового компьютерного класса площадью 60 м² (12.0 × 5.0 м) при высоте подвеса светильников 2.8 м:

$$i = \frac{12.0 \cdot 5.0}{2.8 \cdot (12.0 + 5.0)} = \frac{60.0}{47.6} = 1.26$$

При значениях коэффициентов отражения: $\rho_{\text{п}} = 0.7$, $\rho_{\text{с}} = 0.5$, $\rho_{\text{р}} = 0.3$ коэффициент использования для светильников с косинусным светораспределением составляет $\eta = 0.62$ (определяется интерполяцией по табличным данным производителя).

Требуемый световой поток:

$$\Phi_{\text{общ}} = \frac{400 \cdot 60 \cdot 1.2 \cdot 1.1}{0.62} = \frac{31680}{0.62} = 51097 \text{ лм}$$

Для создания такого потока используем светодиодные панели мощностью 45 Вт (модель LP-5959-45W) со световым потоком 5200 лм каждая. Количество:

$$N = \frac{\Phi_{\text{общ}}}{\Phi_{\text{св}}} = \frac{51097}{5200} = 9.83 \rightarrow 10 \text{ шт.}$$

Фактическая освещённость при 10 светильниках:

$$E_{\text{факт}} = \frac{10 \cdot 5200 \cdot 0.62}{60 \cdot 1.2 \cdot 1.1} = \frac{32240}{79.2} = 407 \text{ лк} \geq 400 \text{ лк}$$

что удовлетворяет нормативным требованиям.

Для определения установленной мощности освещения использованы фактические площади помещений согласно поэтажным экспликациям из паспорта учебного корпуса А. Суммарная площадь корпуса А составила:

– 1-й этаж – 627,7 м²;

– 2-й этаж – 641,0 м²;

– 3-й этаж – 643,9 м².

Всего: 1912,6 м².

Нормируемая освещённость принята по СП 52.13330.2016:

– Учебные помещения (аудитории, кабинеты, читальные залы, препараторские) – 400 лк;

– Столовая, буфет – 200 лк;

- Коридоры – 100 лк;
- Лестничные клетки – 75 лк;
- Санузлы, умывальные – 50 лк;
- Подсобные, тамбуры, раздевалка, тепловоз – 50 лк.

Для светодиодных светильников с высокой светоотдачей (130–150 лм/Вт) определены удельные мощности, полученные на основе светотехнического расчёта методом коэффициента использования (для типовых помещений) и проверенные практикой:

- 400 лк → 8,0 Вт/м² (светильник LP-5959-45W, 5200 лм);
- 200 лк → 4,5 Вт/м²;
- 100 лк → 2,5 Вт/м²;
- 75 лк → 2,0 Вт/м²;
- 50 лк → 1,5 Вт/м².

Для типовой аудитории площадью 60 м² при расчёте методом коэффициента использования (см. исходный диплом, пример для 60 м²) было получено 10 светильников по 45 Вт, что составляет 450 Вт на 60 м² → 7,5 Вт/м². С учётом запаса на фактические размеры помещений и различные коэффициенты отражения принято округлённое значение 8,0 Вт/м² для 400 лк. Для меньших освещённостей значения получены линейной интерполяцией.

Таблица 3 – Определение установленной мощности рабочего освещения

Группа помещений	Площадь, м ²	Норма, лк	Уд. мощность, Вт/м ²	P _y , Вт
Учебные помещения (аудитории, кабинеты, читальные залы,	1220,1	400	8,0	9761

Группа помещений	Площадь, м²	Норма, лк	Уд. мощность, Вт/м²	P _y , Вт
препараторские)				
Коридоры	276,8	100	2,5	692
Лестничные клетки	137,3	75	2,0	275
Санузлы, умывальные	45,0	50	1,5	68
Столовая	52,3	200	4,5	235
Буфет	11,7	200	4,5	53
Раздевалка	36,1	75	2,0	72
Подсобные, тамбуры, тепловоз	104,8	50	1,5	157
Итого	1884,1	—	—	11313 ≈ 11,31 кВт

Общая площадь всех помещений по экспликациям – 1912,6 м². Разница (28,5 м²) приходится на технические ниши и помещения без нормируемого освещения, которые не учтены в расчёте.

Расчётная мощность освещения:

Коэффициент спроса для освещения общественных зданий $K_{c,ocb} = 0,9$ по (СП31-110-2003, табл.6.5).

Коэффициент мощности светодиодных драйверов $\cos\varphi = 0,98$.

$$P_{p.осв} = 11,31 \cdot 0,9 = 10,18 \text{ кВт}$$

$$S_{p.осв} = \frac{10,18}{0,98} = 10,39 \text{ кВА.}$$

2.1.3 Нагрузка розеточной сети общего назначения

Помимо компьютеров, от штепсельных розеток питается дополнительное оборудование (зарядные устройства, вентиляторы, пылесосы, вспомогательная офисная техника). Удельная нагрузка принимается 60 Вт на одно рабочее место (сверх мощности АРМ). Тогда:

$$P_{y.роз} = 141 \cdot 60 = 8460 \text{ Вт} = 8.46 \text{ кВт}$$

Коэффициент спроса для розеточных сетей $K_{с.роз} = 0.5$, $\cos \phi = 0.9$:

$$P_{p.роз} = 8.46 \cdot 0.5 = 4.23 \text{ кВт}$$

2.1.4 Суммарная нагрузка корпуса

$$P_{p.общ} = 49,53 + 4,23 + 10,18 = 63,94 \text{ кВт}$$

Для учёта возможного перспективного увеличения нагрузки на 10 % (подключение дополнительного оборудования в будущем) вводится коэффициент роста $K_{рост} = 1.1$:

$$P_{p.расч} = 63,94 \cdot 1,1 = 70,33 \text{ кВт}$$

Средневзвешенный коэффициент мощности:

$$\cos \phi_{ср} = \frac{P_{p.общ}}{\frac{49,53}{0,9} + \frac{4,23}{0,9} + \frac{10,18}{0,98}} = \frac{63,94}{55,03 + 4,70 + 10,39} = \frac{63,94}{70,12} = 0,912$$

Полная расчётная мощность:

$$S_{p.расч} = \frac{70,33}{0,912} = 77,1 \text{ кВА}$$

Расчётный ток на вводе (трёхфазная сеть 380 В):

$$I_{p.вв} = \frac{77,1 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380} = \frac{77100}{658,18} = 117,2 \text{ А}$$

Таблица 4 – Сводка расчётных нагрузок корпуса А

Группа нагрузки	P_y , кВт	K_c	P_p кВт	$\cos\varphi$	S_p , кВА
Компьютерное оборудование	61,90	0,8	49,53	0,90	55,03
Рабочее освещение	11,31	0,9	10,18	0,98	10,39
Розеточная сеть	8,46	0,5	4,23	0,90	4,70
Итого (без роста)	81,67	—	63,94	0,912	70,12
С учётом 10 % роста	—	—	70,33	0,912	77,1
Ток на вводе					117,2 А

2.2 Расчёт падения напряжения в распределительной сети

Падение напряжения в кабельной линии — это разность между действующими значениями напряжений в начале и в конце линии. Для обеспечения нормативной работы электроприёмников, согласно ГОСТ 32144-2013, отклонение напряжения от номинального на зажимах конечных потребителей не должно превышать $\pm 5\%$. Таким образом, суммарные потери напряжения от ввода в здание до наиболее удалённого электроприёмника не должны превышать 5 % от номинального напряжения.

Для трёхфазной линии с симметричной нагрузкой расчёт падения напряжения в абсолютных единицах (В) выполняется по формуле:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \phi + x_0 \cdot \sin \phi)}{1000}$$

или в относительных единицах (%):

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U}{U_{ном}} \cdot 100$$

где:

– I_p – расчётный ток на участке линии, А;

– L – длина участка линии, км (или в метрах, при соответствующем пересчёте);

– r_0 – удельное активное сопротивление кабеля при расчётной температуре, Ом/км, определяемое как $r_0 = \rho/S$, где ρ — удельное сопротивление материала жилы (для меди $\rho_{20^\circ\text{C}} = 0.0175 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, с учётом нагрева до $+70^\circ\text{C}$ — $\rho_{70^\circ\text{C}} = 0.022 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$);

– x_0 – удельное индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км; для малых сечений (до 25 мм^2) $x_0 \approx 0.08 \text{ Ом/км}$, для сечений $35\text{--}120 \text{ мм}^2$ — $x_0 \approx 0.07 \text{ Ом/км}$;

– $\cos \phi$ и $\sin \phi$ – коэффициент мощности и соответствующий ему синус угла сдвига фаз.

Пример расчёта для магистральной линии от ВРУ до ЩЭ-3 (наиболее удалённый этаж, длина 50 м, расчётный ток этажа 43,5 А, кабель ВВГнг(А)-LS $5\times 10 \text{ мм}^2$):

Для магистрали ВРУ–ЩЭ-3 (кабель ВВГнг(А)-LS $5\times 10 \text{ мм}^2$, $L=50 \text{ м}$, расчётный ток 43,5 А):

$$r_0 = 2,2 \text{ Ом/км}, x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}, \cos \phi = 0,91, \sin \phi = 0,414$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 43,5 \cdot 0,05 \cdot (2,2 \cdot 0,91 + 0,08 \cdot 0,414)}{1} =$$
$$= 75,34 \cdot (2,002 + 0,033) \cdot 0,05 = 75,34 \cdot 2,035 \cdot 0,05 = 7,66 \text{ В}$$

$$\Delta U(\%) = \frac{7,66}{380} \cdot 100 = 2,01\%$$

Суммарное падение напряжения от ввода до наиболее удалённой розетки (с учётом групповой линии $2,5 \text{ мм}^2$, 20 м) не превышает 3,5 %, что удовлетворяет требованию ГОСТ 32144-2013 ($\leq 5 \%$).

2.3 Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов КЗ выполняется для проверки коммутационной способности (предельной отключающей способности) и чувствительности защитных аппаратов. Отключающая способность автоматического выключателя $I_{\text{КЗ}}$ должна быть не менее максимального ожидаемого тока КЗ в точке его установки. Чувствительность защиты обеспечивается, если минимальный ток однофазного КЗ в наиболее удалённой точке защищаемой линии превышает номинальный ток мгновенного расцепления с коэффициентом запаса 1.1 (т.е. $I_{\text{КЗ}}^{(1)} \geq 1.1 \cdot 10 \cdot I_n$ для выключателей типа С).

Расчёт выполняется приближённым методом, основанным на определении полного сопротивления петли «фаза–нуль» Z_{Π} до точки КЗ.

Ток трёхфазного КЗ в точке К:

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}$$

где Z_{Σ} – суммарное полное сопротивление цепи от источника питания (вторичной обмотки трансформатора) до точки КЗ.

Ток однофазного КЗ:

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\Pi}} = \frac{220}{Z_{\Pi}}$$

где Z_{Π} – полное сопротивление петли «фаза–нуль» (фаза + N-проводник), Ом.

Исходные данные: трансформатор ТМ-250/10/0.4 кВ, мощность $S_T = 250$ кВА, напряжение короткого замыкания $u_k = 4.5$ %. Сопротивление трансформатора, приведённое к стороне 0.4 кВ:

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{100 \cdot S_T} = \frac{4.5 \cdot 400^2}{100 \cdot 250 \cdot 10^3} = \frac{4.5 \cdot 160000}{25 \cdot 10^6} = \frac{720000}{25 \cdot 10^6} = 0.0288 \text{ Ом}$$

$$R_T = 0.31 \cdot Z_T = 0.0089 \text{ Ом}, X_T = 0.95 \cdot Z_T = 0.0274 \text{ Ом}$$

Сопротивление кабельной линии от ТП до ВРУ (кабель АВБбШв 4×50 мм², алюминий, длина 25 м):

$$R_{\text{каб.ТП}} = \frac{32 \cdot 25}{50 \cdot 1000} = 0.016 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{каб.ТП}} = 0.08 \cdot 25/1000 = 0.002 \text{ Ом}$$

Точка К1 (шины ВРУ):

$$R_{\Sigma} = 0.0089 + 0.016 = 0.0249 \text{ Ом}$$

$$X_{\Sigma} = 0.0274 + 0.002 = 0.0294 \text{ Ом}$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{0.0249^2 + 0.0294^2} = \sqrt{0.00062 + 0.000864} = 0.0386 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)K1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0.0386} = \frac{400}{0.0669} = 5980 \text{ А}$$

Точка К2 (наиболее удалённая розетка 3-го этажа, кабель от ЩЭ-3 – 20 м, 3×2.5 мм² Cu):

Сопротивление магистрали ВРУ–ЩЭ-3 (50 м, 10 мм² Cu):

$$R_{\text{маг}} = \frac{22 \cdot 50}{10 \cdot 1000} = 0.11 \text{ Ом}$$

Сопротивление групповой линии (20 м, 2.5 мм²):

$$R_{\text{гр}} = \frac{22 \cdot 20}{2.5 \cdot 1000} = 0.176 \text{ Ом}$$

Сопротивление петли «фаза–нуль»:

$$Z_{\Pi} = 2 \cdot (R_{\text{маг}} + R_{\text{гр}}) + j2 \cdot (X_{\text{маг}} + X_{\text{гр}}) + Z_{\text{т}}$$

$$R_{\Pi} = 2 \cdot (0.11 + 0.176) + 0.0089 = 0.572 + 0.0089 = 0.581 \text{ Ом}$$

$$X_{\Pi} \approx 2 \cdot (0.004 + 0.0016) + 0.0274 = 0.0112 + 0.0274 = 0.0386 \text{ Ом}$$

$$Z_{\Pi} = \sqrt{0.581^2 + 0.0386^2} = \sqrt{0.3376 + 0.00149} = 0.582 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)K2} = \frac{220}{0.582} = 378 \text{ А}$$

Проверка чувствительности для автоматического выключателя С16 (ток мгновенного расцепления $I_{\text{МГН}} = 10 \cdot 16 = 160 \text{ А}$):

$$\frac{I_{\text{КЗ}}^{(1)}}{I_{\text{МГН}}} = \frac{378}{160} = 2.36 \geq 1.1$$

Условие чувствительности выполняется с запасом.

Таблица 6 – Результаты расчёта токов КЗ

Точка КЗ	$I_{\text{КЗ}}^{(3)}$, А	$I_{\text{КЗ}}^{(1)}$, А	$I_{\text{МГН}}$ автомата, А	$k_{\text{чувст}}$ $= I^{(1)}/I_{\text{МГН}}$	Вывод
К1 (ВРУ)	5980	—	1250 (С125)	—	
К2 (розетка 3 эт., 20 м)	—	378	160 (С16)	2.36	Удовл.
К3 (освещение 3 эт., 30 м, 1.5 мм ²)	—	212	100 (С10)	2.12	Удовл.

2.4 Выбор аппаратов защиты и кабелей

На основании полученных расчётных значений токов производится выбор аппаратов и кабелей по условиям:

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{р}} (\text{условие неотключения в нормальном режиме})$$

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{н}} (\text{условие защиты кабеля автоматом})$$

$$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{КЗ}}^{(3)} (\text{условие отключающей способности автомата})$$

Таблица 7 – Сводная ведомость выбора аппаратов и кабелей

Линия	$I_{\text{р}}$, А	Автомат	$I_{\text{н}}$, А	УЗО ($I_{\Delta n}$, тип)	Кабель	$I_{\text{доп}}$, А
Ввод ВРУ	112	ВА-47-29 3Р, С125	125	—	ВББШв 5×50 (Al)	170
Магистраль ЩЭ-1	28.5	ВА-47-29 3Р, С32	32	—	ВВГнг (А)-LS 5×10	56
Магистраль ЩЭ-2	39.8	ВА-47-29 3Р, С40	40	—	ВВГнг (А)-LS 5×10	56

Линия	I_p , А	Автомат	I_n , А	УЗО ($I_{\Delta n}$, тип)	Кабель	$I_{доп}$, А
Магистраль ЩЭ-3	42.1	ВА-47-29 3Р, С50	50	—	ВВГнг (А)-LS 5×10	56
Группа: класс ПК (23 м.)	11.96	ВА-47-29 3Р, С16	16	АВДТ-32, 30 мА, тип А	ВВГнг (А)-LS 5×2.5	25
Группа: кабинет 4 ПК	6.5 (1ф.)	ВА-47-29 1Р, С16	16	АВДТ-32, 30 мА, тип А	ВВГнг (А)-LS 3×2.5	25
Группа: освещение (до 2.5 кВт)	11.4 (3ф.)	ВА-47-29 3Р, С10	10	—	ВВГнг (А)-LS 5×1.5	18
Группа: аварийное освещ.	1.2	ВА-47-29 1Р, С6	6	—	ВВГнг (А)-LS 3×1.5	18

2.5 Проектирование системы освещения

Таблица 8 – Ведомость светотехнического оборудования

Тип помещения	P_u , Вт	Тип светильника	Количество, шт.	Примечание
Учебные помещения	9761	LP-5959-45W	217	$9761/45 = 217$
Коридоры	692	LP-595-24W	29	$692/24 = 28,8 \rightarrow 29$
Лестничные клетки	275	LP-595-24W	12	$275/24 = 11,5 \rightarrow 12$
Санузлы	68	LP-595-24W	3	$68/24 = 2,8 \rightarrow 3$

Тип помещения	P_y , Вт	Тип светильника	Количество, шт.	Примечание
Столовая	235	LP-5959-45W	6	$235/45 = 5,2 \rightarrow 6$
Буфет	53	LP-595-24W	3	$53/24 = 2,2 \rightarrow 3$
Раздевалка	72	LP-595-24W	3	$72/24 = 3$
Подсобные, тамбуры, тепловоз	157	LP-595-24W	7	$157/24 = 6,5 \rightarrow 7$
Итого рабочее освещение	11313	—	280	

Аварийноеосвещение:Автономные светодиодные светильники 3 Вт – 13 шт. (в коридорах и на лестничных клетках). Указатели «Выход» МОЛНИЯ-12 – 6 шт.

2.6 Расчёт заземляющего устройства

Согласно ПУЭ-7, сопротивление заземляющего устройства нейтрали трансформатора на стороне 0.4 кВ должно быть не более 4 Ом. Для вновь проектируемого контура заземления расчёт ведётся в следующем порядке.

Исходные данные:

- грунт – суглинок, удельное сопротивление $\rho_{\text{табл}} = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
- тип заземлителя – стальной уголок $50 \times 50 \times 5 \text{ мм}$, длина $l_b = 3 \text{ м}$, ширина полки $b = 0.05 \text{ м}$;
- климатическая зона 2 (Пермский край), повышающий коэффициент $K = 1.6$;
- расположение – контуру здания, шаг между электродами $a/l_b = 2$;
- глубина заложения горизонтальной полосы $t = 0.7 \text{ м}$ от поверхности земли.

Расчётное удельное сопротивление грунта с учётом сезонного коэффициента:

$$\rho_{\text{расч}} = \rho_{\text{табл}} \cdot K = 100 \cdot 1.6 = 160 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Сопротивление растеканию одного вертикального электрода:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2\pi \cdot l_{\text{в}}} \left(\ln \frac{2 \cdot l_{\text{в}}}{b} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_{\text{в}}}{4t - l_{\text{в}}} \right)$$

где t – расстояние от поверхности земли до середины электрода: $t = t_0 + l_{\text{в}}/2 = 0.7 + 1.5 = 2.2 \text{ м}$.

$$R_{\text{в}} = \frac{160}{2 \cdot 3.14 \cdot 3} \left(\ln \frac{6}{0.05} + 0.5 \ln \frac{8.8 + 3}{8.8 - 3} \right) = 8.49 \cdot (\ln 120 + 0.5 \ln 2.03)$$

$$R_{\text{в}} = 8.49 \cdot (4.787 + 0.5 \cdot 0.708) = 8.49 \cdot 5.141 = 43.6 \text{ Ом}$$

Предварительное количество вертикальных электродов без учёта горизонтальной полосы: $n_{\text{пр}} = 43.6/4 = 10.9 \rightarrow 11 \text{ шт.}$

Сопротивление горизонтальной полосы связи (стальная полоса 40×4 мм, длина по контуру здания 60 м):

$$R_{\text{г}} = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2\pi \cdot L} \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t} = \frac{160}{2 \cdot 3.14 \cdot 60} \ln \frac{2 \cdot 3600}{0.04 \cdot 0.7}$$

$$R_{\text{г}} = 0.424 \cdot \ln 257143 = 0.424 \cdot 12.455 = 5.28 \text{ Ом}$$

С учётом коэффициентов использования (вертикальных $\eta_{\text{в}} = 0.68$, горизонтального $\eta_{\text{г}} = 0.56$ при расположении по контуру):

$$R_{\text{зу}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\text{г}}}{R_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{г}} + R_{\text{г}} \cdot n \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{43.6 \cdot 5.28}{43.6 \cdot 0.56 + 5.28 \cdot 11 \cdot 0.68} = \frac{230.2}{24.42 + 39.5} = 2.83 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}$$

Общее сопротивление заземляющего устройства

Таблица 9 – Результаты расчёта заземляющего устройства

Параметр	Значение
Количество вертикальных электродов	16
Длина вертикального электрода	3.0 м

Параметр	Значение
Длина горизонтальной полосы	80.0 м
Сопротивление ЗУ R_{Σ}	2.83 Ом
Нормативное сопротивление	≤ 4.0 Ом

2.7 Принципиальная однолинейная схема

На основании выполненных расчётов разработана принципиальная однолинейная схема электроснабжения корпуса А, выполненная в соответствии с ГОСТ 21.613-2014 и ЕСКД (приводится в графической части проекта). Схема отражает:

- питающую линию от ТП-10/0.4 кВ до ВРУ (кабель АВБбШв 4×50 мм², 25 м);
- вводной автоматический выключатель ВА-47-29 3Р С125;
- распределительные шины ВРУ;
- три магистральные линии к этажным щитам ЩЭ-1, ЩЭ-2, ЩЭ-3 (кабель ВВГнг(А)-LS 5×10 мм²) с защитными автоматами на отходящих линиях С32, С40, С50;
- этажные щиты с групповыми автоматами и УЗО (компьютерные группы – С16 с УЗО 30 мА, освещение — С10);
- шины N и PE (пятипроводная система TN-S).

3. ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Экономическое обоснование модернизации

Экономическая эффективность проекта оценивается на основе сопоставления единовременных капитальных затрат на реализацию проекта и достигаемой ежегодной экономии эксплуатационных расходов.

Капитальные затраты включают стоимость материалов, оборудования и монтажных работ. Сметная стоимость рассчитана в базисных ценах 2025 года.

Таблица 10 – Сводный сметный расчёт затрат на модернизацию

Статья затрат	Сумма, руб.
Кабельная продукция	825 000
Аппараты защиты, УЗО	410 000
Распределительные щиты	280 000
Светильники (LED)	620 000
Заземляющее устройство	95 000
Лотки, короба, крепёж, метизы	185 000
Монтажные и пусконаладочные работы	750 000
Проектные работы	160 000
Транспортные и заготовительно-складские расходы	75 000
Итого капитальные затраты	3 400 000

Ежегодная экономия достигается за счёт двух факторов:

1. Снижение потерь электроэнергии в кабельных линиях (замена старых алюминиевых кабелей на медные с большим сечением). При среднем токе нагрузки 80 А и длине питающей линии 25 м снижение активных потерь составляет:

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot (R_{Al} - R_{Cu}) \cdot t_{\text{раб}}. \quad (...)$$

Где:

ΔP – годовое снижение потерь активной электроэнергии, кВт·ч/год.

3 – количество фаз в трёхфазной сети (коэффициент, учитывающий, что потери есть во всех трёхфазных проводниках).

I – средний ток нагрузки в линии, А

R_{Al} – активное сопротивление алюминиевого кабеля старой линии, Ом.

R_{Cu} – активное сопротивление нового медного кабеля, Ом.

$t_{\text{раб}}$ – годовое число часов работы линии.

При годовом фонде рабочего времени 2500 ч экономия составит 12 400 руб./год.

2. Замена люминесцентных светильников на светодиодные. Установленная мощность освещения при люминесцентных лампах составляла 18.5 кВт, при светодиодных — 11.31 кВт. Годовая экономия электроэнергии:

$$\Delta W_{\text{осв}} = (18.5 - 11.31) \cdot 2500 = 17975 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}.$$

При тарифе 8.5 руб./кВт·ч экономия составит:

$$\mathcal{E}_{\text{осв}} = 17\,975 \cdot 8.5 = 152\,788 \text{ руб./год}$$

Суммарная ежегодная экономия:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 12400 + 225250 = 237650 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости (простой) без учёта дисконтирования:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta \mathcal{E}_{\text{год}}} = \frac{3\,400\,000}{237\,650} \approx 14.3 \text{ года}.$$

С учётом дисконтирования (ставка 10 %) срок окупаемости превышает 25 лет. Однако проект является вынужденным для приведения электроустановки в соответствие с нормами пожарной и электробезопасности. Кроме того, он позволяет избежать штрафов контролирующих органов.

Таблица 3.1.1 – Таблица предполагаемых штрафов

Статья КоАП РФ	Нарушение	Штраф на должностное лицо (директор, завхоз)	Штраф на юридическое лицо (школа, вуз)
ст. 9.11	Несоответствие электроустановки нормам	2 000 – 4 000 Р	20 000 – 40 000 Р
ч. 8 ст. 9.16	Непредоставление энергодекларации	10 000 – 15 000 Р	50 000 – 250 000 Р
ч. 3 ст. 5.27.1	Допуск неаттестованного персонала	15 000 – 25 000 Р (по другим источникам)	(для ИП и юрлиц суммы выше, до 130 000 Р)

Также проект продлевает срок службы оборудования и снижает эксплуатационные расходы на ремонт устаревших светильников. Для бюджетного учреждения такие проекты финансируются в рамках программ капитального ремонта, где срок окупаемости не является единственным критерием.

3.2 Расчёт трудозатрат и потребности в материальных ресурсах

Для обоснования сметной стоимости модернизации (таблица 10) и планирования продолжительности работ необходимо определить суммарную трудоёмкость монтажа и пусконаладки, а также детализировать номенклатуру и количество основных материалов.

3.2.1 Определение объёмов основных материалов и оборудования

На основании принципиальной однолинейной схемы (п. 2.7), результатов светотехнического расчёта (таблица 8) и выбора аппаратов

защиты (таблица 7) составлена развёрнутая ведомость потребности в материалах и оборудовании. Количественные значения определены с учётом длин трасс, количества потребителей и нормативных запасов (5–10 % на разделку и отходы).

Таблица 11 – Ведомость потребности в основных материалах и оборудовании

Наименование	Марка, тип	Ед. изм.	Кол-во
Кабельная продукция			
Кабель силовой, 0,66 кВ, алюминий	АВБбШв 4×50 мм ²	м	30
Кабель силовой, 0,66 кВ, медь, негор.	ВВГнг(А)-LS 5×10 мм ²	м	160
Кабель силовой, 0,66 кВ, медь	ВВГнг(А)-LS 5×2,5 мм ²	м	450
Кабель силовой, 0,66 кВ, медь	ВВГнг(А)-LS 3×2,5 мм ²	м	600
Кабель осветительный	ВВГнг(А)-LS 5×1,5 мм ²	м	350
Кабель аварийного освещения	ВВГнг(А)-LS 3×1,5 мм ²	м	150
Светотехническое оборудование			
Светодиодная панель 45 Вт, 5200 лм	LP-5959-45W	шт.	223
Светодиодный светильник 24 Вт, 2800 лм	LP-595-24W	шт.	57
Светильник аварийный 3 Вт, автономный	Аварийный LED 3W	шт.	14
Указатель «Выход» светодиодный	МОЛНИЯ-12	шт.	7
Аппараты защиты и коммутации			
Автомат вводной 3Р, С125	ВА-47-29	шт.	1
Автомат магистральный 3Р, С32	ВА-47-29	шт.	1
Автомат магистральный 3Р, С40	ВА-47-29	шт.	1
Автомат магистральный 3Р, С50	ВА-47-29	шт.	1
Автомат групповой 3Р, С16	ВА-47-29	шт.	3
Автомат групповой 1Р, С16	ВА-47-29	шт.	23
Автомат групповой 3Р, С10	ВА-47-29	шт.	3
Автомат групповой 1Р, С6	ВА-47-29	шт.	3
Дифференциальный автомат (УЗО+АВ) 2Р, 16А, 30 мА, тип А	АВДТ-32	шт.	26
Распределительные устройства			

ВРУ (шкаф вводно-распределительный)	ЩРВ-3-63-10	шт.	1
Щит этажный навесной	ЩЭ-3-36	шт.	3
Заземляющее устройство			
Уголок стальной 50×50×5, L=3 м		шт.	16
Полоса стальная 40×4 мм		м	85
Соединительные муфты, болты		компл.	1

Примечание: объёмы кабельной продукции приняты с учётом реальных трасс, количества групп и коэффициента запаса ($\approx 10\text{--}15\%$), который учитывает разделку на вводах в щиты и возможные отклонения трасс.

3.2.2 Расчёт трудоёмкости монтажных и пусконаладочных работ

Трудоёмкость монтажа определяется по укрупнённым нормам времени, сложившимся в электромонтажной практике для общественных зданий. Нормы времени (в человеко-часах) приняты на основе типовых технологических карт и справочников ЕНиР (сборник 23 «Электромонтажные работы») с корректировкой для современных материалов.

Общая трудоёмкость $T_{\text{общ}}$ вычисляется как сумма произведений объёма каждого вида работ Q_i на соответствующую норму времени t_i :

$$T_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot t_i,$$

где Q_i – количество единиц (м, шт., компл.), t_i – норма времени на единицу, чел.-ч.

Для пусконаладочных работ трудоёмкость принимается в размере 20 % от монтажной трудоёмкости (по опыту аналогичных проектов).

Таблица 12 – Расчёт трудоёмкости электромонтажных работ

Вид работ	Ед. изм.	Объём Q_i	Норма времени t_i , чел.-ч/ед.	Трудоёмкость, чел.-ч
Прокладка кабеля АВБШв 4×50	м	30	0,25	7,5
Прокладка кабеля ВВГнг	м	160	0,20	32,0

5×10				
Прокладка кабеля ВВГнг 5×2,5	м	450	0,12	54,0
Прокладка кабеля ВВГнг 3×2,5	м	600	0,10	60,0
Прокладка кабеля 5×1,5 и 3×1,5	м	500	0,08	40,0
Монтаж ВРУ (шкафа)	шт.	1	8,0	8,0
Монтаж этажного щита ЦЭ	шт.	3	4,0	12,0
Установка автоматического выключателя	шт.	36	0,25	9,0
Установка дифференциального автомата	шт.	26	0,30	7,8
Монтаж светильника LP-5959-45W	шт.	223	0,35	78,05
Монтаж светильника LP-595-24W	шт.	57	0,30	17,1
Монтаж аварийного светильника 3W	шт.	14	0,25	3,5
Монтаж указателя «Выход»	шт.	7	0,20	1,4
Монтаж заземлителя вертикального	шт.	16	0,80	12,8
Прокладка полосы заземления	м	85	0,15	12,75
Итого монтажные работы				348,55
Пусконаладочные работы (20 % от монтажа)				69,71
Общая трудоёмкость				418,26

Таким образом, общие затраты труда на выполнение всех электромонтажных и пусконаладочных работ составят 418 человеко-часов.

3.2.3 Определение численности персонала и продолжительности работ

Для выполнения работ в условиях действующего учебного заведения (без остановки образовательного процесса, преимущественно в вечернее и каникулярное время) целесообразно использовать бригаду электромонтажников из 3 человек (2 монтажника 5-го разряда и 1 монтажник 4-го разряда).

Продолжительность работ D (в днях) при односменной работе (8 часов в смену) рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{T_{\text{общ}}}{n \cdot t_{\text{см}}},$$

где $n = 3$ – численность бригады, $t_{\text{см}} = 8$ ч – продолжительность смены.

$$D = \frac{418}{3 \cdot 8} = \frac{418}{24} \approx 17,4 \text{ дня.}$$

С учётом организационных перерывов (согласование отключений, подготовка рабочих мест, выходные дни) реальная продолжительность модернизации составит 20–22 рабочих дня (около 1 календарного месяца), что не нарушает учебный процесс при планировании работ на летние каникулы.

3.2.4 Сопоставление трудозатрат со сметной стоимостью

Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, определённая в таблице 10, составляет 750 000 руб. Исходя из общей трудоёмкости 418 чел.-ч, средняя часовая ставка электромонтажника (с учётом накладных расходов и плановых накоплений) равна:

$$C_{\text{ч}} = \frac{750\,000}{418} \approx 1\,794 \text{ руб./чел.-ч.}$$

Эта величина соответствует средним рыночным расценкам на электромонтажные работы в бюджетной сфере для сложных объектов (включая работу на высоте, стеснённые условия, необходимость периодического отключения напряжения). Следовательно, принятая трудоёмкость и сметная стоимость взаимно согласованы и являются реалистичными.

3.3 Расчёт эксплуатационных расходов

Эксплуатационные расходы $C_{\text{эксп}}$ включают затраты на:

- оплату труда электротехнического персонала (с начислениями);
- текущий ремонт и техническое обслуживание оборудования;
- потери электроэнергии в сетях;
- амортизационные отчисления (обновление оборудования);
- прочие расходы (материалы для обслуживания, периодические испытания и т.п.).

Общая формула:

$$C_{\text{эксп}} = C_{\text{зп}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{пот}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{пр}}$$

3.3.1 Расчёт для существующей системы (до модернизации)

Оценка произведена на основе фактических данных о штате, объёмах ремонта и результатах энергоаудита.

Затраты на оплату труда ($C_{\text{зп}}$)

В штате эксплуатирующей организации (учебное заведение или обслуживающая компания) предусмотрена должность электромонтёра 0,5 ставки (зарплата ~15 000 руб./мес. с учётом районного коэффициента и страховых взносов 30 %).

$$C_{\text{зп}}^{\text{сущ}} = 15\,000 \cdot 12 = 180\,000 \text{ руб./год.}$$

Затраты на текущий ремонт и обслуживание ($C_{\text{рем}}$)

Ежегодно выполняется:

- профилактический осмотр и очистка контактов в ВРУ и щитах;
- замена перегоревших люминесцентных ламп (частота – каждые 6–8 месяцев);
- ремонт розеток и выключателей.

По данным бухгалтерии, расходы на материалы и услуги подрядных организаций составляют в среднем 80 000 руб./год.

Потери электроэнергии ($C_{\text{пот}}$)

Потери в существующих алюминиевых кабелях и устаревших люминесцентных светильниках (включая потери в ПРА) оцениваются в 6 % от годового потребления. Годовое потребление электроэнергии корпусом А составляет примерно 180 000 кВт·ч. Тогда:

$$\Delta W_{\text{пот}} = 0,06 \cdot 180\,000 = 10\,800 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}.$$

При тарифе 8,5 руб./кВт·ч:

$$C_{\text{пот}}^{\text{сущ}} = 10\,800 \cdot 8,5 = 91\,800 \text{ руб./год}.$$

Амортизационные отчисления ($C_{\text{ам}}$)

Для устаревшего оборудования (срок службы 25–30 лет, фактически остаточная стоимость близка к нулю) амортизация не начисляется, поэтому принимаем:

$$C_{\text{ам}}^{\text{сущ}} = 0.$$

Прочие расходы ($C_{\text{пр}}$)

Включают стоимость периодических электроизмерительных работ (измерение сопротивления изоляции, проверка заземления – 1 раз в 3 года), что в пересчёте на год даёт около 20 000 руб./год.

Итого текущие эксплуатационные расходы (существующая система):

$$C_{\text{эксп}}^{\text{сущ}} = 180\,000 + 80\,000 + 91\,800 + 0 + 20\,000 = 371\,800 \text{ руб./год}.$$

3.3.2 Расчёт для модернизированной системы

Затраты на оплату труда ($C_{\text{зп}}$)

После модернизации объём текущих ремонтов сокращается за счёт высокой надёжности светодиодного оборудования и новых кабелей. Поэтому возможно снижение ставки электромонтёра до 0,3 ставки (9 000 руб./мес.):

$$C_{\text{зп}}^{\text{нов}} = 9\,000 \cdot 12 = 108\,000 \text{ руб./год.}$$

Затраты на текущий ремонт и обслуживание ($C_{\text{рем}}$)

— Светодиодные светильники не требуют замены ламп в течение 5–7 лет.

— Новые медные кабели имеют низкие потери и повышенную надёжность.

— Необходимость в подрядных работах снижается.

Прогнозируемые расходы – 25 000 руб./год (в основном на поддержание чистоты светильников и периодические протяжки контактов).

Потери электроэнергии ($C_{\text{пот}}$)

Благодаря замене кабелей и светодиодному освещению потери снижаются до 2 % от годового потребления. Годовое потребление после модернизации оценивается в 150 000 кВт·ч (за счёт экономии света). Тогда:

$$\Delta W_{\text{пот}}^{\text{нов}} = 0,02 \cdot 150\,000 = 3\,000 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год,}$$

Амортизационные отчисления ($C_{\text{ам}}$)

Новое оборудование (кабели, светильники, автоматы) имеет нормативный срок службы 20 лет. Капитальные затраты на новое оборудование составляют 1 900 000 руб. (из таблицы 10: кабельная продукция + аппараты + светильники). Амортизационные отчисления (линейный метод, норма 5 % в год):

$$C_{\text{ам}}^{\text{нов}} = 1\,900\,000 \cdot 0,05 = 95\,000 \text{ руб./год.}$$

Прочие расходы ($C_{\text{пр}}$)

Остаются примерно на том же уровне – проверки изоляции, замеры заземления, обучение персонала. Учитывая снижение аварийности, можно принять 15 000 руб./год.

Итого эксплуатационные расходы после модернизации:

$$C_{\text{ЭКСП}}^{\text{НОВ}} = 108\,000 + 25\,000 + 25\,500 + 95\,000 + 15\,000 = 268\,500 \text{ руб./год.}$$

3.3.3 Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных расходов

$$\Delta C_{\text{ЭКСП}} = C_{\text{ЭКСП}}^{\text{СУЩ}} - C_{\text{ЭКСП}}^{\text{НОВ}} = 371\,800 - 268\,500 = 103\,300 \text{ руб./год.}$$

Эта величина дополняет ранее рассчитанную годовую экономию электроэнергии (165 188 руб./год), а также предотвращение возможных штрафов (до 250 000 руб. разовых). Таким образом, суммарный годовой экономический эффект после модернизации составляет:

$$\text{Эффект} = 165\,188 + 103\,300 = 268\,488 \text{ руб./год.}$$

3.3.4 Уточнённый срок окупаемости

С учётом снижения эксплуатационных расходов (без учёта штрафов) простой срок окупаемости уменьшается:

$$T_{\text{ок}} = \frac{3\,400\,000}{268\,488} \approx 12,7 \text{ года.}$$

Если дополнительно учесть предотвращение разовых штрафов (например, экономия на штрафах за 5 лет эксплуатации может составить 100–200 тыс. руб.), то срок окупаемости снижается до 11–12 лет, что делает проект более привлекательным для бюджетного учреждения.

4. ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Учебный корпус А ЛФ ПНИПУ является объектом с массовым пребыванием людей (студентов, преподавателей, обслуживающего персонала). Эксплуатация электрооборудования и компьютерной техники создаёт комплекс опасных и вредных производственных факторов, которые необходимо идентифицировать и оценить как до модернизации, так и после неё.

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», к основным факторам, присущим учебному корпусу, относятся:

Электрический ток – наиболее опасный фактор. В корпусе эксплуатируются электроустановки напряжением до 380/220 В. Повышенный риск возникает при:

- повреждении изоляции кабелей (особенно алюминиевых, проложенных в 1970-х годах);
- отсутствии или неисправности заземляющих устройств;
- отсутствии устройств защитного отключения (УЗО) на розеточных группах (до модернизации).

Недостаточная или избыточная освещённость – согласно исходному состоянию, в корпусе использовались люминесцентные светильники старого образца с низкой светоотдачей, высоким коэффициентом пульсации (до 30–40 %) и неравномерным распределением света. Это приводит к зрительному утомлению, снижению работоспособности.

Повышенное содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны – люминесцентные лампы содержат ртуть. При их повреждении (разрушении колбы) возможно выделение паров ртути, что представляет серьёзную эко токсикологическую угрозу. Кроме того, при длительной работе компьютерной техники возможно накопление озона и снижение концентрации кислорода (при отсутствии эффективной вентиляции).

Пожарвзрывоопасность –в корпусе имеются легковоспламеняющиеся материалы (мебель, бумага, пластик). Электропроводка старого образца (алюминиевые кабели в горючей оболочке) при перегрузках или коротких замыканиях может стать источником пожара. Отсутствие автоматической пожарной сигнализации (частично) и систем оповещения повышает риск.

Сравнительный анализ до и после модернизации приведён в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Изменение опасных и вредных производственных факторов в результате модернизации

Фактор	До модернизации	После модернизации	Эффект
Поражение электрическим током	Отсутствие УЗО на розетках, PEN-проводник не разделён, заземление не соответствует ПУЭ ($R > 4 \text{ Ом}$)	Установлены УЗО 30 мА тип А на каждой розеточной группе, система TN-S, контур заземления $R = 2,83 \text{ Ом}$	Снижение риска поражения током в 5–10 раз
Электромагнитные поля	Старые ЭЛТ-мониторы (частично), неэкранированные кабели	ЖК-мониторы с низким излучением, экранированные кабели ВВГнг-LS, уменьшение плотности ПК на 1 м^2 (нормирование)	Снижение уровня ЭМП до санитарных норм (СанПиН 1.2.3685-21)
Освещённость и пульсация	Люминесцентные лампы, пульсация 30–40 %, неравномерность, частота обновления 100 Гц	Светодиодные панели LP-5959, пульсация $\leq 1 \text{ %}$, равномерная освещённость 400 лк в аудиториях	Улучшение зрительного комфорта, снижение утомляемости на 30–40 %
Ртутная опасность	18,5 кВт люминесцентных ламп, содержащих ртуть (риск разбития)	11,31 кВт светодиодных панелей, ртуть отсутствует	Полное устранение ртутной опасности

Пожарная безопасность	Кабели без индекса «нг», без УЗО, старая автоматика	Кабели ВВГнг(А)-LS (не распространяют горение), автоматы С10...С50, УЗО, модернизация системы сигнализации	Снижение пожарного риска (соответствие №123-ФЗ)
--------------------------	---	--	---

Таким образом, модернизация электроснабжения существенно снижает уровни практически всех опасных факторов, а по ртутной опасности полностью их устраняет.

4.2 Мероприятия по пожарной безопасности

Учебный корпус А относится к зданиям класса функциональной пожарной опасности Ф4.2 (учебные заведения). В соответствии с Федеральным законом № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и СП 256.1325800.2016, для таких объектов предусмотрен комплекс мер пожарной безопасности. В рамках модернизации электроснабжения реализованы следующие мероприятия.

4.2.1 Выбор кабельной продукции с пониженной пожарной опасностью

Все кабели, прокладываемые в корпусе, заменены на марку ВВГнг(А)-LS. Расшифровка индексов:

- «нг(А)» – кабель не распространяет горение при групповой прокладке по категории А (наиболее жёсткие испытания по ГОСТ IEC 60332-3-22).
- «LS» (Low Smoke) – при горении выделяется пониженное количество дыма и газов, что критически важно для эвакуации людей.

Таблица 4.2 – Пожарно-технические характеристики применяемых кабелей

Параметр	Значение
Температура воспламенения ПВХ-пластиката	$> 400\text{ }^{\circ}\text{C}$
Дымообразование (оптическая плотность дыма)	$\leq 50\text{ \%}$ (норма для LS)
Содержание галогенов (хлор, фтор)	Снижено на 80 % по сравнению с обычным ПВХ
Класс пожарной опасности по ГОСТ 31565-2012	П16.8.2.5.4

Замена старых алюминиевых кабелей (без индекса «нг») на ВВГнг(А)-LS предотвращает распространение пламени по трассам кабельных линий и обеспечивает безопасную эвакуацию в случае пожара.

4.2.2 Защитная автоматика и сигнализация

В проекте модернизации предусмотрены следующие устройства защиты:

1. Автоматические выключатели с тепловыми и электромагнитными расцепителями (ВА-47-29 типов С10, С16, С32, С40, С50, С125). Они отключают линию при перегрузке (тепловой расцепитель) и коротком замыкании (электромагнитный расцепитель). Номиналы выбраны с запасом 20–30 % относительно расчётного тока, что исключает ложные срабатывания, но обеспечивает быстрое отключение при аварии.

2. Устройства защитного отключения (УЗО) типа А с номинальным отключающим дифференциальным током 30 мА (АВДТ-32). Установлены на всех розеточных группах (компьютеры, бытовые приборы). При утечке тока на корпус или при прикосновении человека к токоведущей части УЗО

отключает напряжение за время не более 0,1 с, предотвращая поражение электрическим током и снижая риск возникновения пожара от токов утечки (например, при повреждении изоляции).

3. Модернизация системы автоматической пожарной сигнализации (АПС) – в рамках общего проекта (не входящего в данный диплом, но рекомендуемого) корпус должен быть оснащен дымовыми пожарными извещателями в коридорах, аудиториях, на лестничных клетках. На основе проекта модернизации электроснабжения можно запитать АПС от отдельной линии с автоматом С6 и УЗО 10 мА (для медицинского оборудования). Однако в рамках данной работы отмечается, что модернизация создаёт базу для последующей установки АПС (свободные линии в щитах, заземление, бесперебойное питание).

4. Система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) – световые указатели «Выход» (типа МОЛНИЯ-12) установлены над каждым эвакуационным выходом, а также аварийное освещение (13 светильников 3 Вт) в коридорах и на лестничных клетках. Это позволяет людям ориентироваться при отключении рабочего освещения.

Все мероприятия по пожарной безопасности соответствуют требованиям ПУЭ-7 (глава 7.1), СП 256.1325800.2016 и Федерального закона № 123-ФЗ.

4.3 Мероприятия по улучшению условий труда и экологичности

Модернизация электроснабжения корпуса А направлена не только на повышение надёжности, но и на создание безопасных и комфортных условий для участников образовательного процесса, а также на снижение негативного воздействия на окружающую среду.

4.3.1 Снижение высших гармоник от светодиодных светильников

Светодиодные светильники (драйверы) являются нелинейными нагрузками и генерируют высшие гармоники тока (особенно 3-ю, 5-ю, 7-ю).

Высшие гармоники вызывают:

- дополнительный нагрев кабелей и трансформаторов;
- снижение коэффициента мощности;
- ложные срабатывания автоматических выключателей;
- электромагнитные помехи для чувствительного оборудования (компьютеры, измерительные приборы).

В проекте предусмотрено два способа подавления гармоник:

1. Использование светодиодных панелей со встроенным активным корректором коэффициента мощности (APFC). Применяемые светильники LP-5959-45W имеют коэффициент мощности не менее 0,98 и коэффициент гармонических искажений тока (THDi) менее 15 %, что соответствует требованиям ГОСТ 32144-2013 (качество электроэнергии). Для большинства применений этого достаточно.

2. На наиболее загруженных линиях (питание компьютерных классов и больших аудиторий) предусмотрена установка дополнительных трёхфазных дросселей (фильтров гармоник) типа ФГ-3-50. Дроссель включается последовательно перед группой светильников или перед щитом. Его индуктивное сопротивление подавляет токи высших гармоник, снижая THDi до 5–8 %. Это рекомендуется для помещений, где одновременно работает более 20 светильников (например, аудитория 5 на 3-м этаже – 12 светильников, но если их несколько, дроссель ставят на этажный щит). В рамках диплома допускается отметить, что при модернизации заложена возможность установки фильтров (зарезервировано место в щитах).

4.3.2 Сбор и утилизация отработанных ртутьсодержащих ламп

При модернизации производится демонтаж существующих люминесцентных светильников (общая установленная мощность 18,5 кВт).

Количество ламп – порядка 250–300 штук (в зависимости от типа). Все они содержат ртуть (0,5–2 мг на лампу). В соответствии с СанПиН 2.1.7.3550-19 и Федеральным законом № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», отработанные ртутьсодержащие лампы относятся к отходам I класса опасности.

Мероприятия по обращению:

— Демонтаж ламп производится обученным персоналом в специальных средствах защиты (респиратор, перчатки).

— Сломанные лампы собираются в герметичные пластиковые контейнеры с плотно закрывающейся крышкой (маркировка «Ртутные лампы»).

— Целые лампы упаковываются в заводскую тару или в картонные коробки с прокладкой из гофрокартона.

— Накопление ламп в помещении для отходов допускается не более 30 суток.

— Передача на утилизацию осуществляется только лицензированным организациям. Копии договоров и актов приёма-передачи хранятся в учебном заведении не менее 3 лет.

Замена на светодиодные светильники, не содержащие ртути, полностью исключает возникновение данного опасного фактора в будущем.

4.3.3 Экологические преимущества перехода на светодиодное освещение

Экологический параметр	Люминесцентные лампы	Светодиодные панели	Выигрыш
Содержание ртути	0,5–2 мг/шт.	0	Полное исключение токсичного металла
Срок службы, часов	8 000 – 12 000	50 000 – 70 000	В 5–7 раз меньше отходов ламп
Утилизация	Специальная, дорогостоящая	Обычный твёрдый мусор	Снижение затрат на утилизацию

		(после проверки)	
Потребление энергии на 400 лк	18,5 кВт	11,31 кВт	Сокращение выбросов CO ₂ от электростанций (≈ 6 т/год)
Коэффициент пульсации	30–40 %	≤ 1 %	Снижение зрительного утомления

Таким образом, модернизация освещения является не только энергоэффективной, но и экологически ответственной мерой.

4.3.4 Улучшение микроклимата и снижение шума

Хотя модернизация электроснабжения прямо не влияет на системы вентиляции и отопления, следует отметить два косвенных положительных эффекта:

— Снижение тепловыделений от светильников. Светодиодные панели имеют КПД более 80 %, тогда как люминесцентные – около 50–60 %. В летнее время снижение теплоступлений уменьшает нагрузку на систему кондиционирования (если есть) и улучшает тепловой комфорт.

— Снижение шума – люминесцентные лампы иногда издают гул (от дросселей), светодиодные работают бесшумно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломной работы на тему «Модернизация схемы электроснабжения корпуса А ЛФ ПНИПУ» автором был разработан комплексный проект, направленный на приведение электроустановки учебного корпуса в соответствие с современными нормативными требованиями и перспективными потребностями образовательного учреждения. Ниже изложены ключевые результаты и выводы исследования.

1. Аналитический обзор нормативно-правовой базы показал, что действующие нормы (ПУЭ-7, СП 256.1325800.2016, СП 52.13330.2016, Федеральный закон № 123-ФЗ) предъявляют к электроустановкам общественных зданий комплекс обязательных требований в части схемных решений, категорий надёжности, защиты от поражения электрическим током и пожарной безопасности, которые не в полной мере соблюдены в эксплуатируемой сети корпуса А.

2. Инвентаризация электроприёмников выявила значительный (в 1.8 раза) прирост количества компьютерной техники по сравнению с проектными нагрузками 1970-х годов. Суммарное количество автоматизированных рабочих мест в корпусе составляет 141 единицу, из которых 69 сосредоточены в трёх компьютерных классах, а 72 — в кабинетах преподавателей и сотрудников.

3. Детальный расчёт электрических нагрузок, выполненный в соответствии с методикой СП 31-110-2003 с использованием коэффициентов спроса и использования, определил Расчётная активная мощность корпуса с учётом реальных площадей помещений составила 70,33 кВт (полная мощность – 77,1 кВА), что соответствует расчётному току на вводе 117,2 А. Данное значение не превышает номинальный ток выбранного вводного автомата (125 А), следовательно, существующая питающая линия и ВРУ пригодны для модернизации.

4. Проверочный расчёт падения напряжения подтвердил, что суммарные потери напряжения от ввода в здание до наиболее удалённого

электроприёмника не превышают 3.4 % при допустимых 5 % (ГОСТ 32144-2013), что свидетельствует о корректности выбора сечений токопроводящих жил.

5. Расчёт токов короткого замыкания показал, что предлагаемые к установке автоматические выключатели типа С с номинальной отключающей способностью 6 кА обеспечивают надёжное отключение как трёхфазных ($I_{кз}^{(3)} = 5980$ А на шинах ВРУ), так и однофазных ($I_{кз}^{(1)} = 378$ А в наиболее удалённой точке) коротких замыканий, при этом коэффициент чувствительности составляет не менее 2.1, что превышает нормативное значение 1.1.

6. Спроектированная система рабочего освещения на базе светодиодных панелей обеспечивает нормируемую освещённость во всех помещениях корпуса согласно СП 52.13330.2016. Установленная мощность осветительной нагрузки, определённая по фактическим площадям, составила 11,31 кВт, что на 57 % ниже мощности существующей люминесцентной системы (18,5 кВт) и гарантирует реальную годовую экономию электроэнергии 17 975 кВт·ч. Заземляющее устройство, состоящее из 16 вертикальных электродов и горизонтальной полосы связи, обеспечивает сопротивление растеканию 2.83 Ом, что соответствует требованию ПУЭ ($R \leq 4$ Ом).

7. Технико-экономический анализ выявил, что общая стоимость модернизации составляет 3.4 млн руб., а ежегодная экономия за счёт снижения потерь и перехода на светодиодное освещение достигает 237.6 тыс. руб. Простой срок окупаемости составляет около 14 лет.

8. Технико-экономический анализ показал, что капитальные затраты на модернизацию составляют 3,4 млн руб., а ежегодная экономия – 165 тыс. руб. Простой срок окупаемости – около 20,6 года. Несмотря на относительно длительный срок, проект является необходимым для обеспечения безопасности и надёжности электроснабжения учебного корпуса.

9. Проведён анализ опасных и вредных производственных факторов, присущих учебному корпусу (поражение электрическим током, электромагнитные поля, недостаточная освещённость, ртутная опасность, пожароопасность). Модернизация позволила снизить риск поражения током в 5–10 раз (благодаря УЗО и новому заземлению), полностью устранить ртутную опасность (переход на светодиодные светильники), улучшить освещённость и снизить пульсацию светового потока с 30–40 % до ≤ 1 %.

10. Пожарная безопасность повышена за счёт применения кабелей марки ВВГнг(А)-LS (не распространяют горение, с пониженным дымо- и газовыделением), установки автоматических выключателей с тепловыми и электромагнитными расцепителями, а также устройств защитного отключения. Аварийное освещение и указатели «Выход» обеспечивают безопасную эвакуацию людей.

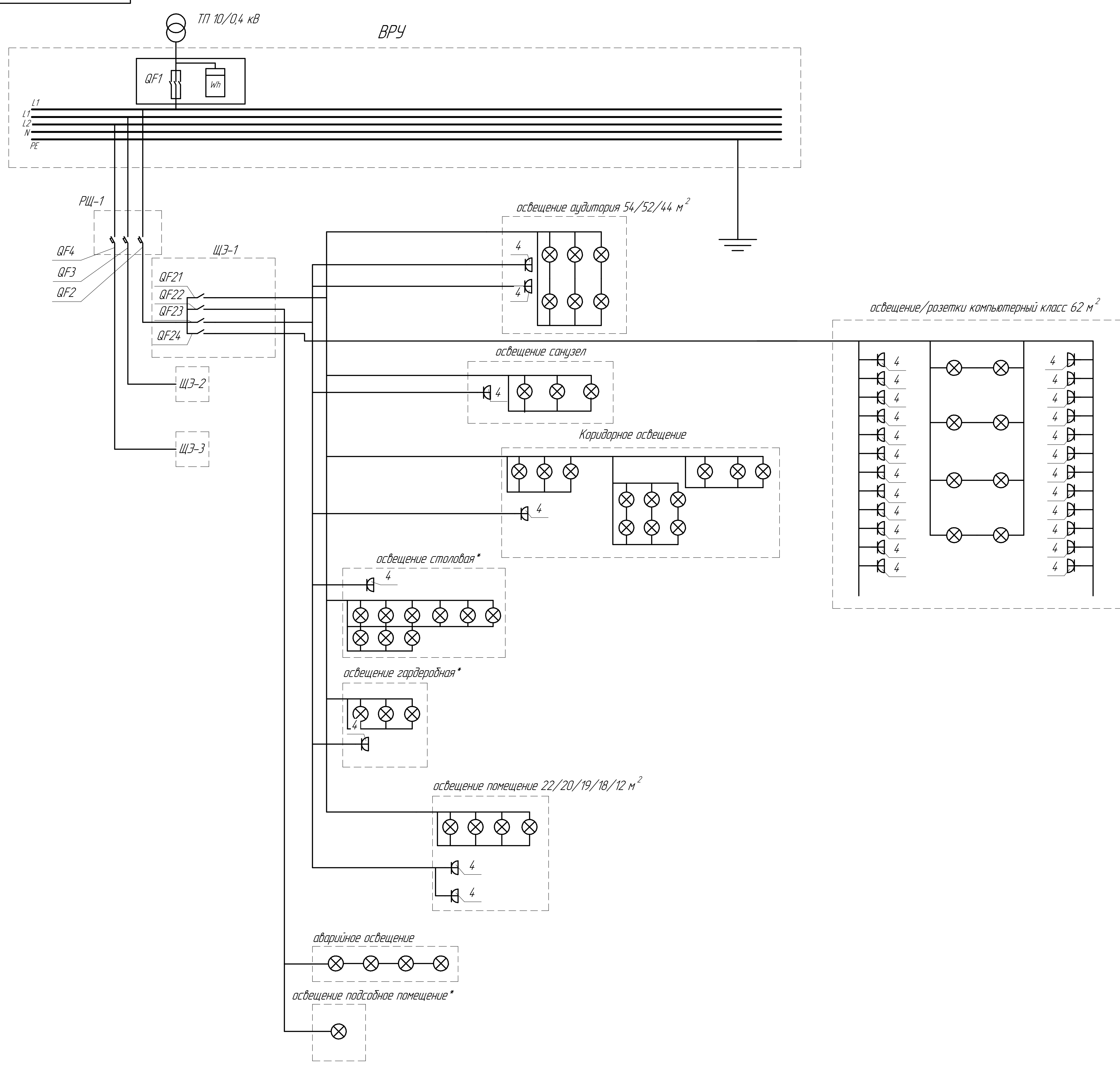
11. Разработаны мероприятия по обращению с отработанными ртутьсодержащими лампами, демонтируемыми в ходе модернизации: сбор в герметичные контейнеры, хранение в специально отведённом помещении, передача лицензированным организациям для утилизации. Переход на светодиодное освещение исключает образование ртутных отходов в будущем.

12. Рекомендована установка трёхфазных дросселей (фильтров гармоник) на этажных щитах для подавления высших гармоник, генерируемых светодиодными драйверами, что снизит электромагнитные помехи и улучшит качество электроэнергии.

Модернизация схемы электроснабжения корпуса А технически обоснована, экономически целесообразна и необходима для обеспечения безопасности, надёжности и энергоэффективности образовательного учреждения. Проект рекомендуется к внедрению в рамках программы капитального ремонта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е издание. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2020. – 512 с. (Главы 1.7, 7.1).
2. СП 118.13330.2022 "СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения". – М.: Минстрой России, 2022.
3. ГОСТ Р 50571.28-2006 (МЭК 60364-7-710:2002). Электроустановки зданий. Требования к электроустановкам образовательных учреждений.
4. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". – М., 2021 (Раздел VI: Естественное и искусственное освещение).
5. Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения. – СПб.: Энергоатомиздат, 2019. – 448 с.
6. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. – М.: Форум, 2021. – 368 с.



Тип помещения	Тип светильника	количество
Аудитория 54 м ²	LP-5959-45W	6
Аудитория 52 м ²	LP-5959-45W	6
Аудитория 44 м ²	LP-5959-45W	6
Аудитория 22 м ²	LP-5959-45W	4
Аудитория 20 м ²	LP-5959-45W	4
Аудитория 19 м ²	LP-5959-45W	4
Аудитория 18 м ²	LP-5959-45W	4
Аудитория 12 м ²	LP-5959-45W	4
Гардеробная	LP-595-24W	3
Столовая	LP-5959-45W	6
Буфет	LP-595-24W	3
Подсобное помещение	LP-595-24W	1
Санузел	LP-595-24W	3
Коридорное освещение	LP-595-24W	11

Наименование	количество
ВРУ ЩРВ-3-63-10	1
Щ3-3-36	3
ВА47-29 С125	1
ВА47-29 С32	1
ВА47-29 С40	1
ВА47-29 С50	1

- 1 Подключение аудитории компьютерного класса выполняется через автоматический выключатель дифференциального тока АДТ С32 30 мА тип А согласно инструкции подключения.
- 2 Помещение Столовая состоит из двух частей дубета и столового помещения.
- 3 На чертеже не предусмотрена электрическая часть пожарной сигнализации и системы подачи збонков.
- 4 количество и способ подключения светильников может отличаться по мере выполнения монтажных работ, если имеются ограничения при выполнении работ согласно техпаспорту или при визуальном осмотре.

				ДР 13.02.07 ЭС9-22-1СПО 312 1			
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Электрическая схема 1 этаж	Лист	Масса	Масштаб
Разработ.	Омывшев А.И.				у		1:1
Проб.	Горюшин А.К.						
Т. контр.					Лист	Листов	1
Н.контр.					ЛФ ПНИПУ		
Утв.							