

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения им.А. Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

Мажит Амир Еділұлы

Расчет и проектирование системы электроснабжения лаборатории возобновляемых
источников энергии

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

6В07101 – Энергетика

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения им.А. Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»

Институт энергетики
и машиностроения

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой «Энергетика»

PhD, ассоциированный профессор

 Е. А. Сарсенбаев

«12» 06 2025г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

на тему: «Расчет и проектирование системы электроснабжения лаборатории
возобновляемых источников энергии»

6B07101 - Энергетика

Выполнил:



Мажит А.Е.

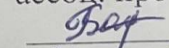
Рецензент

Главный редактор ТОО
«Universal Energy (Qazaqstan)»

 А.К.Жапбар
«09» 06 2025 г.



Научный руководитель
ассоц. профессор

 Бегентаев Б.М.
«07» 06 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.
Сатпаева

Институт энергетики и машиностроение

Кафедра «Энергетика»

6B07101 – "Энергетика"

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

PhD, ассоц. профессор

Е.А. Сарсенбаев

«30» 01 2025г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Обучающийся: Мажит Амир Еділұлы

Тема: Расчет и проектирование системы электроснабжения лаборатории возобновляемых источников энергии.

Утверждена приказом проректора университета №489 – П/Ө от «29» января 2025г.

Срок сдачи законченной работы: «28» мая 2025 г

Исходные данные к выполнению дипломной работы: Лаборатория возобновляемых источников энергии, включающая солнечные панели, стенд микроГЭС (10 кВт) и стенд ветрогенератора.

Перечень подлежащих разработке вопросов или краткое содержание дипломной работы:

- а) определение характеристик лаборатории возобновляемых источников энергии;
- б) Разработка электроснабжения лаборатории возобновляемых источников энергии;
- в) Расчёт номинальных и электрических нагрузок стендов;
- г) Разработка лабораторной работы «Моделирование выработки энергии микрогэс при различных оборотах турбины».

Перечень графического материала: Графический материал подготовить в виде презентации

Рекомендуемая литература: 10 наименований.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименования перечень вопросов	разделов, рассматриваемых	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Общая часть			
Технологическая часть		05.05.2025	Выполнено
Расчет и проектирование системы электрообеспечения лаборатории возобновляемых источников энергии		10.05.2025	Выполнено
		15.05.2025	Выполнено

Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с
указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Научный руководитель и консультанты	Дата подписания	Подпись
Общая часть	Бегентаев Б.М., ассоц. профессор	05.05.2025	
Технологическая часть	Бегентаев Б.М., ассоц. профессор	10.05.2025	
Расчет электрических нагрузок цеха	Бегентаев Б.М., ассоц. профессор	15.05.2025	
Сравнение схем внешнего электрообеспечения	Бегентаев Б.М., ассоц. профессор	18.05.2025	
Нормоконтроль	Бердибеков А.О., старший преподаватель	12.06.2025	

Научный руководитель Бегентаев Б.М.
(подпись)

Задание принял к исполнению обучающийся Мажит А.Е.
(подпись)

Дата

« 20 » 05 2025 г.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе рассматриваются вопросы расчета и проектирования системы электроснабжения лаборатории возобновляемых источников энергии. В ходе выполнения дипломной работы была разработана схема электроснабжения лаборатории, также выполнен расчет электрических нагрузок, произведен выбор необходимых кабелей, защитного оборудования. Результаты дипломной работы можно использовать при реальном проектировании электроснабжения лаборатории возобновляемых источников энергии кафедры «Энергетика» КазННТУ имени К.И. Сатпаева.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыста жаңартылатын энергия көздері зертханасының электрмен жабдықтау жүйесін есептеу және жобалау мәселелері қарастырылады. Дипломдық жұмысты орындау барысында зертхананы электрмен жабдықтау схемасы жасалды, сонымен қатар электр жүктемелерін есептеу жүргізілді, қажетті кабельдер, қорғаныс жабдықтары тандалды. Дипломдық жұмыстың нәтижелерін Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ "Энергетика" кафедрасының жаңартылатын энергия көздері зертханасын электрмен жабдықтауды нақты жобалау кезінде пайдалануға болады.

ANNOTATION

The thesis discusses the issues of calculating and designing the power supply system of the renewable energy laboratory. During the completion of the thesis, the laboratory's power supply scheme was developed, electrical loads were calculated, and the necessary cables and protective equipment were selected. The results of the thesis can be used in the actual design of the power supply of the laboratory of renewable energy sources of the Department of "Power Energy" of Satbayev university.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Краткая характеристика объекта электроснабжения	9
1.1 Характеристики лаборатории возобновляемых источников энергии	9
1.2 Характеристики стендов	11
2 Разработка электроснабжения лаборатории возобновляемых источников энергии	16
2.1 Расчёт номинальных нагрузок стендов	16
2.2 Расчёт электрических нагрузок	17
2.3 Расчет и выбор кабелей для подключения стендов	19
2.4 Расчет и выбор автоматов защиты	20
2.5 Расчёт токов короткого замыкания	22
2.6 Расчет и выбор защитного заземления	26
3 Разработка лабораторной работы «Моделирование выработки энергии микрогэс при различных оборотах турбины»	33
3.1 Цель и задачи лабораторной работы	35
3.2 Обоснование выбора турбины	35
3.3 Методика моделирования	35
3.4 Проведение лабораторного эксперимента	36
3.5 Анализ результатов	36
4 Технико-экономический анализ использования возобновляемых источников энергии в электроснабжении лаборатории от сети	37
4.1 Исходные данные	37
4.2 Расчет выработки энергии солнечной установкой	37
4.3 Сравнительный анализ затрат	37
4.4 Окупаемость проекта	38
Выводы	39
Заключение	40
Список использованной литературы	41

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие энергетики характеризуется стремительным переходом к устойчивым и экологически безопасным источникам энергии. Повышение спроса на возобновляемые источники энергии (ВИЭ), такие как солнечная, ветровая и гидроэнергия, диктует необходимость создания специализированной инфраструктуры, позволяющей исследовать, моделировать и внедрять такие технологии в практику. В этом контексте особую роль играет электроснабжение лабораторий, предназначенных для изучения и тестирования оборудования и систем на основе ВИЭ.

Проектирование систем электроснабжения объектов с интеграцией возобновляемых источников энергии требует комплексного подхода, включающего анализ потребляемой мощности, выбор оптимальных схем подключения, расчет параметров защитной и коммутационной аппаратуры, а также оценку надежности и энергоэффективности. Кроме того, важно учитывать особенности функционирования ВИЭ, таких как нестабильность выработки и необходимость использования накопителей энергии.

Цель данной дипломной работы заключается в разработке системы электроснабжения лаборатории, ориентированной на эксплуатацию оборудования, связанного с возобновляемыми источниками энергии. В рамках исследования рассматриваются вопросы выбора конфигурации энергосистемы, расчет электрических нагрузок, подбор источников питания и элементов защиты, а также оценка перспектив интеграции солнечных и ветровых установок.

Актуальность темы обусловлена необходимостью обеспечения бесперебойного и эффективного электроснабжения исследовательских лабораторий, работающих в области «зеленой» энергетики. Разработка и реализация подобных проектов способствуют не только решению научно-технических задач, но и подготовке специалистов, способных эффективно работать в сфере устойчивой энергетики.

Структура работы включает анализ исходных данных, расчет электрических нагрузок, выбор оборудования, моделирование системы электроснабжения в специализированных программных средах, а также обоснование проектных решений с учетом требований нормативной документации.

Объектом исследования является процесс проектирования системы электроснабжения и плана лаборатории по возобновляемым источникам энергии.

Предметом исследования являются стенды для лабораторных работ, выключатели и электроприводы.

Цель – разработка проекта системы электроснабжения лаборатории возобновляемых источников энергии.

Для её достижения решены следующие задачи:

- 1) Анализ лаборатории и стендов для работ по дисциплине «Возобновляемые источники энергии».
- 2) Произведены расчеты для выбора электрооборудования и проводов для электроснабжения лаборатории.
- 3) Созданы схемы расстановки стендов и системы электроснабжения в лаборатории возобновляемых источников энергии.

1 Краткая характеристика объекта электроснабжения

Учебно-лабораторный комплекс возобновляемых источников энергии (ВИЭ) предназначен для практического обучения и повышения квалификации студентов различных профилей энергетики. В данной лаборатории проводятся практические занятия с помощью оборудования, позволяющего смоделировать работу систем выработки электроэнергии на базе природных ресурсов – солнца, ветра и потока воды. Использование такого подхода позволяет на деле изучать конструкции подобных установок, правила сборки и обслуживания оборудования, способы контроля и повышения энергетической эффективности подобных систем.

Лаборатория укомплектована серией универсальных учебно-лабораторных стендов, позволяющих одновременно работать группе до трех человек. Эти стенды предназначены для применения на всех направлениях электроэнергетической. В ходе практических заданий студенты получают возможность выполнить до семи лабораторных работ, которые на практическом опыте показывают основные аспекты применения возобновляемых энергоисточников и способы повышения устойчивости системы с помощью автоматического включения резерва.

1.1 Характеристики лаборатории возобновляемых источников энергии

Данный учебно-лабораторный комплекс позволяет перейти от теории к практической деятельности, что играет главнейшую роль в точном восприятии работы энергетического оборудования ВИЭ. Используемая платформа позволяет смоделировать различные ситуации при выработке электроэнергии с помощью природных процессов, выполнить сборку и по-настоящему проанализировать поведение системы при изменениях режима работы.

Основными звеньями такого комплекса являются:

- пусковые элементы, которые получают информационные сигналы о состоянии системы с помощью датчиков тока, напряжения и других;
- измерительные элементы, позволяющие точнее определить направление и характер аварии;
- логическая часть, с помощью которой вырабатывается алгоритм воздействия на аварийный участок с целью его скорейшего отключения;
- исполнительные механизмы, которые получают команду на срабатывание и вызывают отключение оборудования либо включение резерва.

Когда ток короткого замыкания концентрируется на аварийном звене, релейно-автоматические устройства должны сработать с минимальной задержкой, чтобы избежать разрушения других элементов системы и сбоев в энергоснабжении. В ходе такого процесса, при срабатывании выключателя, ток

аварии прекращает поступать, что препятствует его термическому и динамическому воздействию на остальные элементы системы. Вслед за ликвидацией аварии восстанавливается нормальная среда работы оборудования, что позволяет перейти на резервные линии и сохранить устойчивость системы в целом.

Таким образом, главная функция релейной защиты заключается в точном и скором отключении повреждённых участков и передачи информации персоналу, что позволяет принять меры по ликвидации аварии и возврату системы в нормальный режим эксплуатации.

Неотъемлемая часть учебно-лабораторной деятельности заключается в практической стороне обучения. Когда студенты получают задание на выполнение лаборатории, они должны тщательно изучать методические указания, выполнить сборку и настройку оборудования, снять показания с помощью контрольно-измерительных устройств и заполнить лабораторный отчёт с целью контроля качества работы.

Перед практикой студенты должны пройти обязательный инструктаж по правилам технической безопасности, что особенно нужно при работе с оборудованием, находящимся под напряжениями. В ходе опыта они должны определить главные характеристики системы, заполнить соответствующие графы отчета и ответить на вопросы контроля, позволяющие преподавателю определить уровень усвоения темы.

Площадь учебно-лабораторной аудитории составляют около 50 м². В ней смонтировано восемь учебно-лабораторных стендов, позволяющих одновременно работать до 16 студентам (по двое на каждый стенд – один концентрируется на программно-аналитическом оборудовании, другой на сборке и коммутации элементов системы).

Кроме стендов, лаборатория оборудована учебно-преподавательским столом и учебной доской, что позволяет эффективно организовать учебный процесс, наглядно поясняя преимущества и недостатки различных технических процессов и явлений. Эти условия обеспечивают практико-ориентированное обучение и позволяют перейти к задачам повышения энергоэффективности и устойчивости энергетических систем на базе ВИЭ.

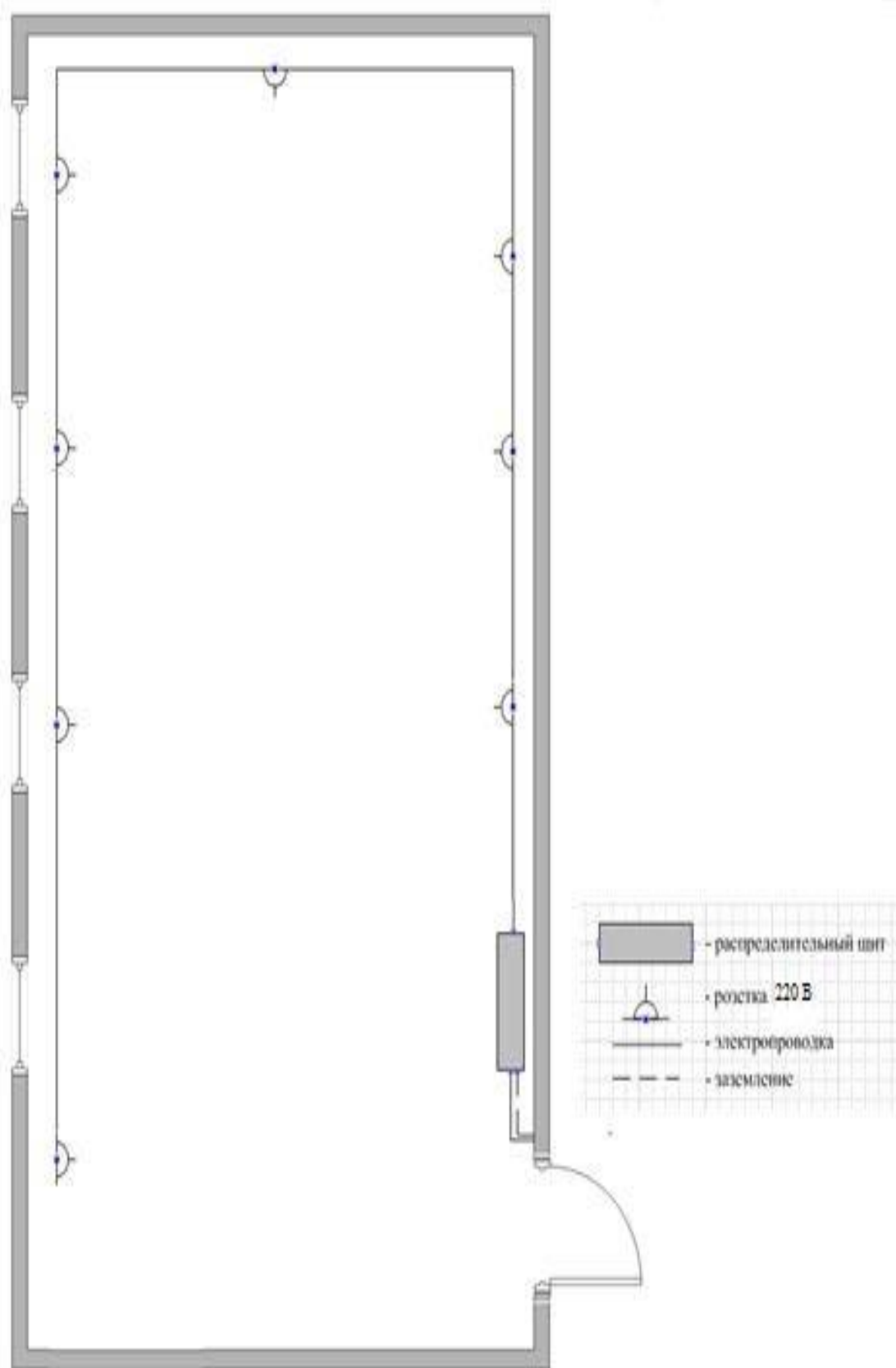


Рисунок 1.1 – Схема электроснабжения лаборатории ВИЭ

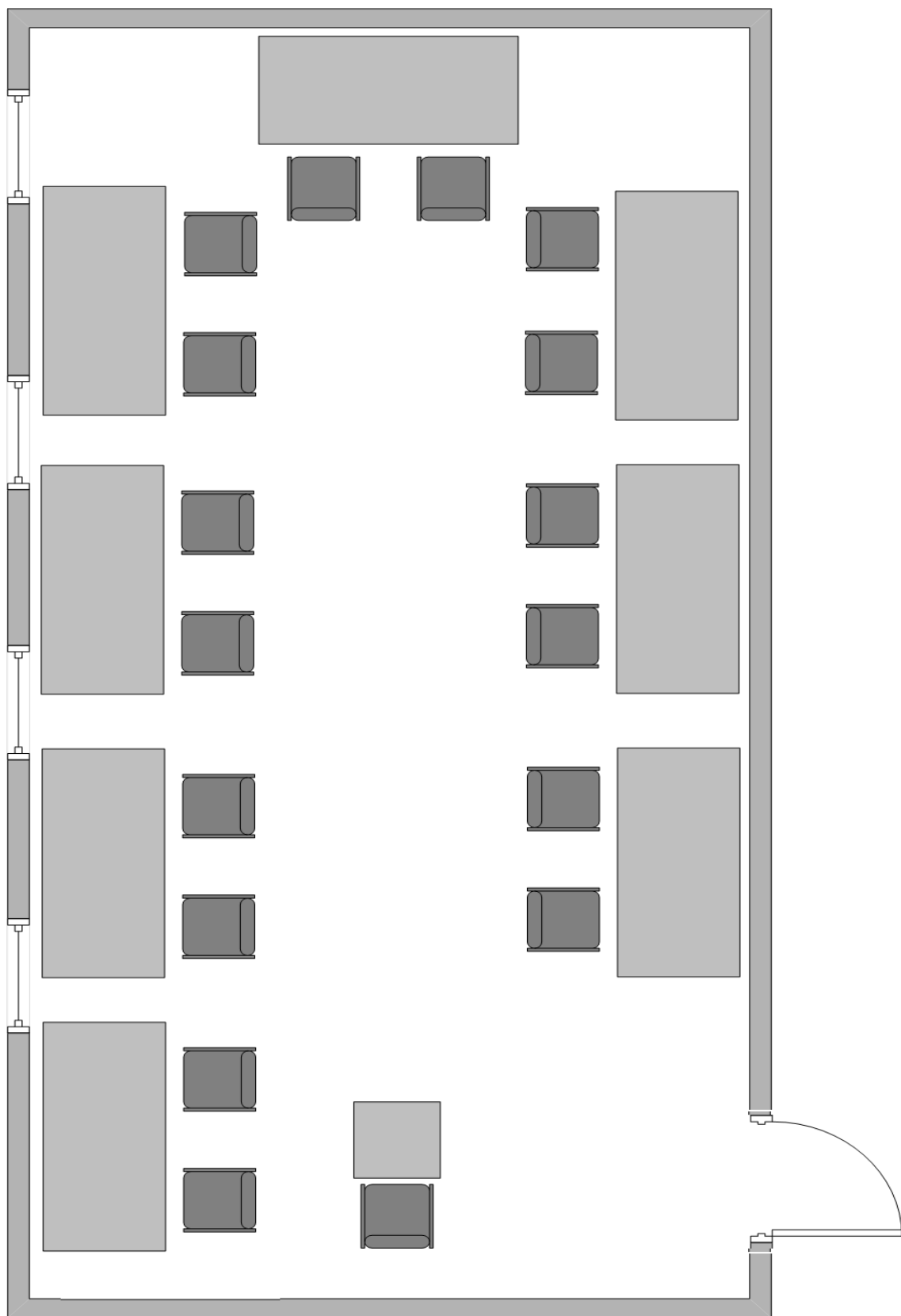


Рисунок 1.2 – План лаборатории по ВИЭ

1.2 Характеристики стендов лаборатории «Возобновляемые источники энергии»

Лаборатория предназначена для проведения учебных и научно-исследовательских работ в области использования возобновляемых источников энергии. В её составе имеются стенды, моделирующие работу различных установок на базе солнечной, ветровой и гидравлической энергии. Ниже приведены характеристики основных стендов, установленных в лаборатории.

1) Стенд солнечной энергетики

Назначение:

Моделирование работы солнечных фотоэлектрических установок, исследование влияния освещённости и температуры на эффективность солнечных панелей.

Основные характеристики:

Фотоэлектрические модули: поликристаллические кремниевые панели мощностью по 100 Вт.

Регулируемая нагрузка: от 10 до 200 Ом.

Измерительная система: амперметры, вольтметры, термодатчики.

Возможность подключения аккумуляторной батареи и инвертора.

Имитация солнечного излучения с помощью галогенных ламп.

2) Стенд ветроэнергетики

Назначение:

Исследование принципов преобразования кинетической энергии ветра в электрическую, анализ характеристик ветрогенераторов.

Основные характеристики:

Макет горизонтального ветрогенератора мощностью до 300 Вт.

Имитация ветрового потока при помощи регулируемой вентиляционной системы.

Регистрация скорости ветра и оборотов ротора.

Возможность анализа зависимости вырабатываемой мощности от скорости ветра.

3) Стенд «Лабораторная микроГЭС»

Стенд микроГЭС (микро-гидроэлектростанции) представляет собой учебно-лабораторную установку, предназначенную для моделирования и исследования работы гидроэнергетических систем малой мощности. Основное назначение стенда – демонстрация принципов преобразования гидравлической энергии в электрическую, а также изучение влияния различных параметров на эффективность работы установки.

Общие характеристики:

Тип установки: имитационная модель (с частотно-регулируемым электроприводом для имитации циклов циркуляции воды)

Назначение: учебно-исследовательское, демонстрационное

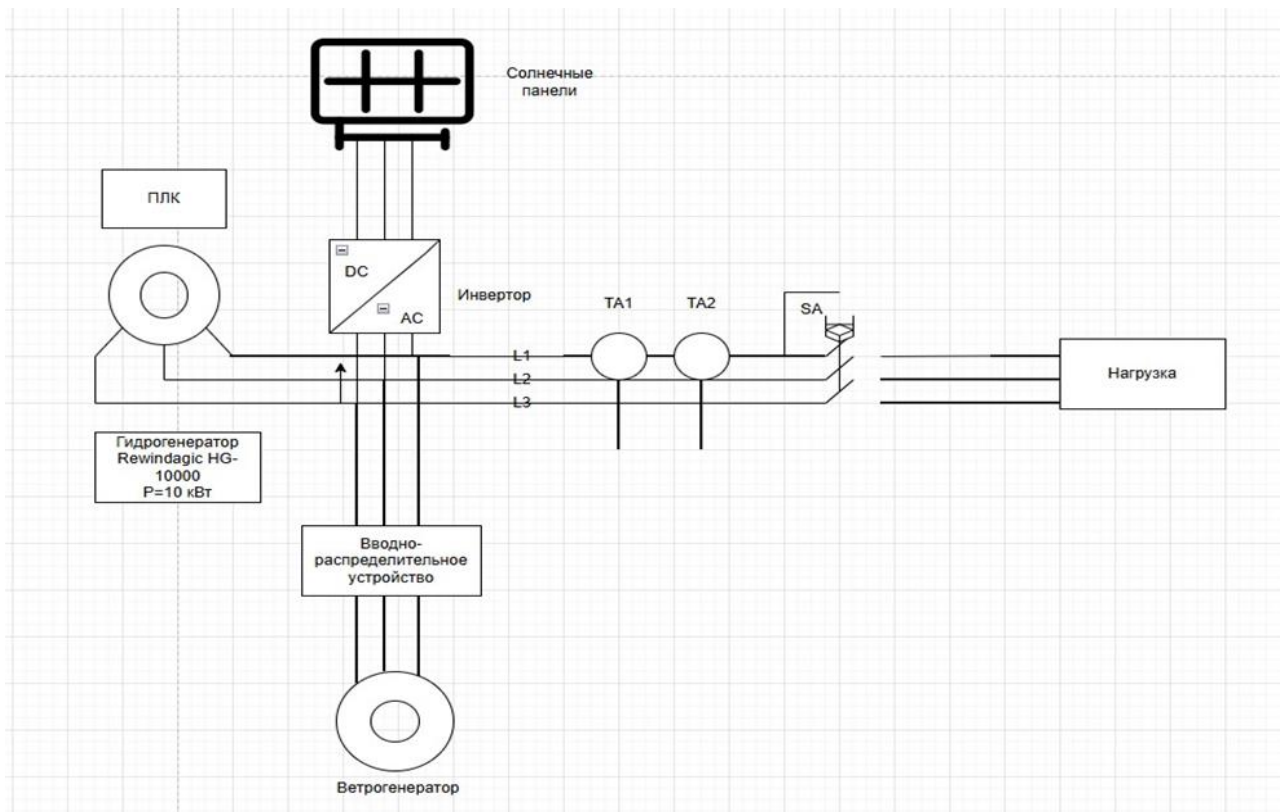


Рисунок 1.3 – Схема электроснабжения лаборатории ВИЭ.

Принцип действия: преобразование имитируемой с помощью частотно-регулируемого электропривода (ЧРП) потенциальной энергии воды в механическую, а затем в электрическую с помощью турбины и генератора

Конструктивные элементы:

Турбина

Тип: пелтон (ковшовая)

Диаметр рабочего колеса: 38 мм

Материал: нержавеющая сталь

Генератор:

Тип: синхронный/асинхронный

Номинальная мощность: 10 Вт

Напряжение: 380 В

Частота: 50 Гц

Система регулирования потока:

Плавная имитация с помощью частотно-регулируемого электропривода (ЧРП)

Возможность ручного и автоматического управления

Контрольно-измерительные приборы:

Вольтметр, амперметр, ваттметр (электрические параметры)

Система сбора данных (при наличии – с интерфейсом для ПК)

Технические характеристики:

Параметр	Значение
Максимальный напор, м	20-40
Максимальный расход воды, л/с	—
Номинальная мощность, Вт	10 кВт
КПД (при номинальной нагрузке)	98 %
Габариты установки, мм	800 × 1820 × 1600
Масса станда, кг	280
Электропитание	380 В / 50 Гц / 11 кВт

Возможности станда:

Демонстрация работы турбины при разных напорах и расходах

Измерение зависимости мощности от расхода и нагрузки

Исследование КПД установки при различных режимах

Номинальная мощность станда 10 кВт, электропитание осуществляется от трехфазной сети переменного тока с рабочим нулевым и защитным проводниками напряжения 380 В, с частотой 50 Гц. Ширина станда составляет 800 мм, длина 1820 мм, высота 1600 мм, а масса 280 килограмм.



Рисунок 1.4 – Внешний вид станда «Лабораторная микроГЭС»

2 Разработка электроснабжения лаборатории ВИЭ

2.1 Расчёт номинальных нагрузок стендов

Для обеспечения нормального режима работы учебно-лабораторной установки по возобновляемым видам энергии необходимо выполнить точный расчет электрической нагрузки всех стендов. В данной лаборатории будет смонтировано 15 учебно-лабораторных мест с оборудованием различной мощности (из них 12 со стандартной мощностью 0,25 кВт).

Необходимая мощность питающей линии рассчитывается на основании суммарной потребляемой мощности всех электроустройств, которые одновременно должны быть включены на стенде. В ходе такого подхода учитывается максимальная потребляемая мощность всех лабораторных установок, которые должны работать параллельно при выполнении практических задач.

Таким образом, полное значение питающей мощности может быть выражено следующего вида:

$$P_{\text{ном}} = \sum P_i, \quad (1)$$

где P_i - потребление каждого оборудования на стенде.

Необходимая питающая мощность на стенде зависит напрямую от количества одновременно включаемых устройств и режима работы оборудования. В ходе расчетов принято, что среднее количество одновременно включённых аппаратов на учебно-лабораторном столе равно 25 % всех установленных.

Таким образом для стенда с питающим напряжениями 220 В:

$$P_{\text{ном}(220)} = 0,25 \cdot 12 = 3 \text{ кВт},$$

Когда потребуется, эту методику легко воспроизводить и для других питающих уровней.

Не вся лабораторная аппаратура используется с полными техническими характеристиками одновременно. В ходе учебно-производственного процесса разные устройства работают с неполными нагрузками и с перерывами. В целях точности расчетов следует принять среднее значение коэффициента нагрузки, позволяющего перейти к расчетной мощности на базе установленных технических характеристик.

С помощью приведённых выражений и с учетом среднего режима работы оборудования, был выполнен расчет питающей мощности всех учебно-лабораторных стендов. Эти данные легли в основание при проектировании системы электроснабжения лаборатории, подборе питающих линий, аппаратов защиты и других элементов системы.

Таблица 2.1 Номинальные нагрузки стендов

Наименование электроприемника	Кол-во	U_n , В	P_n , кВт	$\cos\varphi$
Лабораторные стенды «Силовая электроника»	12	~220	3	0,67

Нагрузки приняты исходя из нагрузки на лабораторных работах.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Грамотное прогнозирование электрических нагрузок является главнейшим звеном при проектировании системы электроснабжения лаборатории возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Эти данные являются основанием для выбора оборудования, сечения проводников, аппаратов защиты и других элементов системы. В данной главе производится расчет электрических нагрузок лаборатории ВИЭ, оборудованной асинхронными потребителями и установкой на базе солнечных батарей. наибольшее значение. Расчет производим для нагрузок напряжениями переменного тока 220 В и 380 В, для последующего сравнения мощности трансформатора.

Для точного выбора оборудования системы электроснабжения лаборатории возобновляемых источников энергии (ВИЭ) необходимо выполнить расчет всех электрических нагрузок, которые присутствуют на объекте. В данной лаборатории установлены:

- Трехфазный асинхронный электродвигатель с номинальной мощностью $P_1=11$ кВт.

- Трехфазный вентилятор с мощностью $P_2=0,25$ кВт.

- Стенды с оборудованием на 220 В, суммарно $P_3=3$ кВт.

Солнечные панели, которые являются генерирующим оборудованием, но на стороне потребления они должны учитываться для полноты картины. В данной лаборатории установлены панели с общей вырабатываемой мощностью P_4 , но для задач расчета нагрузки эту мощность вычитать из общей нужно на стадии баланса. В данном считаем, что вся выработка полностью используется на месте (для учебно-научных целей).

Не всё электрооборудование работает одновременно с полной нагрузкой. В расчет принимают:

- Коэффициент применения k_n - учитывает среднюю загруженность оборудования.

- Коэффициент одновременности k_o - учитывает вероятность одновременной работы всех потребителей на полной мощности.

для лаборатории ВИЭ можем принять:

- $k_n=0,9$ для главных установок;

- $k_n=0,7$ для вентиляторов и стендов;

- $k_o=0,8$ – среднее значение одновременной работы всех потребителей.

Рассчитаем активную мощность с учетом применения коэффициентов:

$$P_{\text{рас}} = k_p \cdot k_o \cdot \sum P_i, \quad (2)$$

где P_i – паспортные мощности оборудования.

Расчет:

$$\sum P_i = 11 + 0,25 + 3 = 14,25 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{рас}} = k_p \cdot k_o \cdot \sum P_i \quad (3)$$

Не можем взять один k для всех, поэтому считаем с учетом применения:

а) Двигатель 11 кВт: $k_p=0,9$, $k_o=0,8$, $P_{\text{рас1}}=11 \cdot 0,9 \cdot 0,8=7,92$ кВт;

б) Вентилятор 0,25 кВт: $k_p=0,7$, $k_o=0,8$, $P_{\text{рас2}}=0,25 \cdot 0,7 \cdot 0,8=0,14$ кВт;

в) Оборудование на стендах 3 кВт: $k_p=0,7$, $k_o=0,8$, $P_{\text{рас3}}=3 \cdot 0,7 \cdot 0,8=1,68$ кВт.

Результаты расчетов мощности в таблице 1.2.

Таблица 2.2 Результаты расчетов мощности

№	Наименование	Мощность, кВт	k_p	k_o	Расчетная мощность, кВт
1	Двигатель	11	0,9	0,8	$11 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \approx 7,92$
2	Вентилятор	0,25	0,7	0,8	$0,25 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \approx 0,14$
3	Оборудование на стендах	3	0,7	0,8	$3 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \approx 1,68$
	Итого:	14,25	-	-	$\approx 9,74$

Рассчитаем ток нагрузки:

Когда расчетная активная мощность $P_{\text{рас}}$ известна, можем определить ток по следующей формуле:

$$I_{\text{рас}} = P_{\text{рас3}} / \sqrt{3} \cdot \cos\phi \cdot U, \quad (4)$$

где:

- $\cos\phi$ – среднее значение, принимаем $\cos\phi=0,85$.

- U – линейное напряжение питающей системы (для 3Ф оборудования $U_{\text{л}}=380$ В).

Подставляя значения получим:

$$I_{\text{рас}} = 9,74 \cdot 10^3 / \sqrt{3} \cdot 0,85 \cdot 380$$

$$I_{\text{рас}} = 9\,740 / 1,733 \cdot 0,85 \cdot 380 \approx 17,43 \text{ А}$$

Расчетный ток нагрузки лаборатории ВИЭ составляет приблизительно

17,43 А, что позволяет правильно принять сечение питающего кабеля, расставить аппараты защиты и скоординировать работу всех потребителей.

2.3 Расчет и выбор кабелей для подключения стендов

Исходные данные для расчетов и выбора кабелей представлены в таблица 2.3 исходя из результатов предыдущих разделов.

Таблица 2.3 Исходные данные для расчетов

№	Показатель	Значение
1	Расчетный ток, $I_{рас}$	17,43 А
2	Расчетная мощность, $P_{рас}$	9,74 кВт
3	Число фаз	3
4	Номинальное напряжение	220 В, 380 В
5	Коэффициент мощности $\cos\phi$	0,9
6	Способ прокладки	В лотке
7	Температура среды	+25°C
8	Материал жил	Медь
9	Изоляция	ПВХ

Необходимое сечение питающего кабеля выбирают по допустимой токовой нагрузке. Необходимый токопроводящая жила должны пропускать ток $I_{рас}$ с учетом условий эксплуатации и метода прокладки.

Допустимый ток зависит также и от конструкции, сечения и изоляции проводника. В справочнике ПУЭ на эту конструкцию с помощью поправочного коэффициента выбираем сечение с запасом.

Для токопроводящей жилы из меди с ПВХ изоляцией при прокладке в лотке и температуре +25°C допустимый ток для сечения 2,5мм² составляет около 24 А. Таким образом:

$$I_{доп} > I_{рас}, \quad (5)$$

$$24A > 17,43A.$$

Таким образом сечение 2,5 мм² по току проходит с запасом.

Осуществляем проверку по потере напряжения. Допустимое падение напряжения на питающей линии не должны превышать 5%. Посчитаем потерю с помощью выражения:

$$\Delta U = I_{рас} \cdot L \cdot \cos\phi \cdot r \cdot 100 / U, \quad (6)$$

где:

L – длина линии, допустим 30 м.

r – активное сопротивление жил; для сечения 2,5 мм² $r \cong 7,41$ мОм/м.

cosφ – коэффициент мощности, 0,9.

U – фазное напряжение, 380 В (линейное).

Подставляем:

$$\Delta U = 17,43 \cdot 30 \cdot 0,9 \cdot 0,00741 \cdot 100 / 380 \approx 0,28\%.$$

Таким образом потеря напряжения (около 0,28%) значительно меньше допустимой (5%).

Выбранное сечение питающего кабеля с медными жилами и ПВХ изоляцией 2,5 мм² полностью подходит по токовым характеристикам; потере напряжения; механической прочности и условиям эксплуатации.

Для повышения надежности и срока эксплуатации следует использовать кабели с маркировкой с сечениями жил 2,5 мм². Эти кабели устойчивы к механическим воздействиям, влаге и имеют пониженное выделение дыма при воспламенении.

Таблица 2.4 Выбор кабелей для подключения стендов

Наименование ЭП	P _н , кВт	I _p , А	Cosφ	Марка кабеля	I _{доп} , А	ΔU, %
Лабораторные стенды	9,74	17,43	0,9	ВВГнг(А)-LS (4x2, 5)	24	0,28

2.4 Расчет и выбор автоматов защиты

Задача выбора автоматического выключателя заключается в надежной защите питаемой линии и потребителей при коротких замыканиях и перегрузках; нормальной работе при всех режимах работы, обеспечении отключающей способности при аварийных токах, которые могут возникать на линии.

По правилам ПУЭ, при подборе автомата следует принять:

$$I_{ном.ав.} \geq I_{рас}, \quad (7)$$

но при нормальной эксплуатации ток автомата должны быть на ступень выше расчетной нагрузки с целью исключения срабатывания при пусковых токах и других коротких повышениях нагрузки.

Таким образом, из серии стандартных аппаратов выбираем автомат с

номиналом 20 А. Это значение на следующей ступени после расчетной нагрузки ($17,43 \text{ А} < 20 \text{ А}$).

Осуществим выбор по отключающей способности. Необходимая отключающая способность автомата зависит от токов короткого замыкания на защищаемом участке. Допустим, что расчетный ток короткого замыкания $I_{кл}$ на линии, питающей лабораторию, составляет около 2 кА.

Таким образом, выбираем автомат с отключающей способностью не менее 6 кА, что полностью покрывает эту величину с запасом.

Рассчитаем время срабатывания и характеристика расцепителя. Не менее важными являются время срабатывания и характеристика расцепителя. для такого рода нагрузки выбираем автомат с характеристикой С, что позволяет эффективно защищать сеть при коротких замыканиях, сохранив устойчивость при пусковых токах, которые до 5–10 раз превышают номинал на короткое время.

Результаты расчета параметров выбора на основании всех критериев сведем в таблицу 2.5.

Таблица 2.5. Результаты расчета параметров для выбора автоматического выключателя

№	Параметр	Значение
1	Номинальный ток	20
2	Характеристика расцепителя	С
3	Отключающая способность	6 кА
4	Число полюсов	3
5	Время срабатывания при коротком замыкании	Мгновенное
6	Производитель	ABB, Schneider Electric, IEK (например, серии SH201C20)

Для защиты питающей линии с расчетными током 17,43 А и мощностью нагрузки 9,74 кВт был выбран трехполюсный автоматический выключатель с характеристикой «С», с номиналом 20 А и отключающей способностью 6 кА.

Данный автомат полностью отвечает условиям норм ПУЭ и сможет эффективно защищать питаемый участок при аварийных ситуациях, сохранив при этом устойчивость при нормальной эксплуатации.



Рисунок 2.1 – Устройство автоматического выключателя

2.5 Расчёт токов короткого замыкания

Неисправности такого рода, как короткое замыкание, являются одними из главнейших аварийных процессов в системе электроснабжения. Их суть заключается в резком смещении нормального режима работы оборудования из-за появления прямого соединения точек с различными потенциалами – фаз с нейтралью, фаз с другими фазами, либо проводников с корпусом оборудования.

Не следует концентрировать внимание лишь на простой ситуации, когда «плюс» напрямую соединяется с «минусом». В сетях с переменным током картина бывает куда сложнее. Например, при однофазном коротком замыкании может произойти контакт одной из фаз с нейтралью либо с землёй. В трехфазной системы авария может быть двухфазной – когда смежные фазы смыкаются – либо трехфазной, когда одновременно смежными становятся все провода системы, что вызывает наибольший аварийный ток.

Не следует терять из виду и наличие такого явления, как межвитковые замыкания в обмотках трансформаторов и электрических машин. В подобных случаях смежные витки образуют замкнутый контур с сверхнизким сопротивлением. Вследствие такого процесса ток начинает концентрированно циркулировать по коротко замкнутым виткам, что препятствует теплоотводу и может привести к перегоранию изоляции и выходу оборудования из строя. Ремонт такого рода заключается в полной замене либо тщательной перемотке обмоток с помощью специализированной техники.

Не следует также терять из виду и то, что на значение тока короткого

замыкания влияет ряд факторов: активные и индуктивные сопротивления всех элементов аварийной цепи; наличие автоматических выключателей и других аппаратов, вставляемых в эту цепь; сопротивление катушек трансформаторов тока, которые питают системы контроля и защиты; качество и свойства контактов, что влияет на переходные сопротивления; сечение и длина проводников, по которым проходит ток при коротком замыкании.

Таким образом, точное прогнозирование режима короткого замыкания зависит напрямую и одновременно и от конструкции системы, и от режима работы оборудования на момент появления аварии.

Когда нужно определить ток короткого замыкания на участках с напряжениями до 1000 В, следует принять в расчет активные и реактивные элементы всех звеньев коротко замкнутой цепи. Эти элементы образуют полное сопротивление контура. В ходе такого подхода учитываются: активные потери, вызываемые проводимостью проводников и контактными соединениями и реактивные потери, которые заведомо присутствуют из-за явления самоиндукции элементов системы.

На графическом языке вся аварийно замкнутая сеть может быть представлена с помощью замещающей схемы. В ней концентрированно представлены главные элементы – источник питающего напряжения, активные и реактивные звенья (например, сопротивление проводов, аппаратов, трансформатора тока и других элементов).

Не на всех участках системы сопротивление одинаково. В точке короткого замыкания концентрируется вся аварийная среда. Эти свойства нужно принять в расчет при прогнозе токов короткого замыкания и при подборе оборудования, которое будет защищать сеть, такого как автоматические выключатели и предохранители. Рисунок 2.2 на замещающей схеме на 220 В наглядно показывает эту структуру.

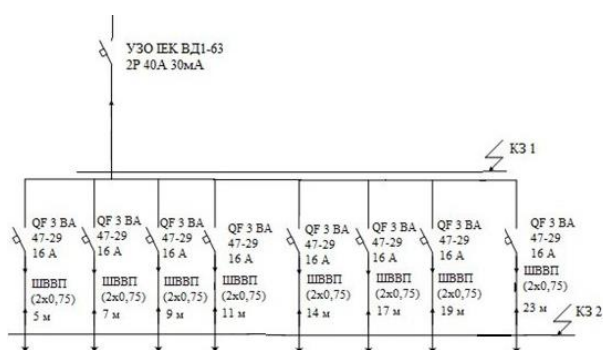


Рисунок 2.2 - Схема короткого замыкания
Составим схему замещения удельных сопротивлений на рисунке 2.3.

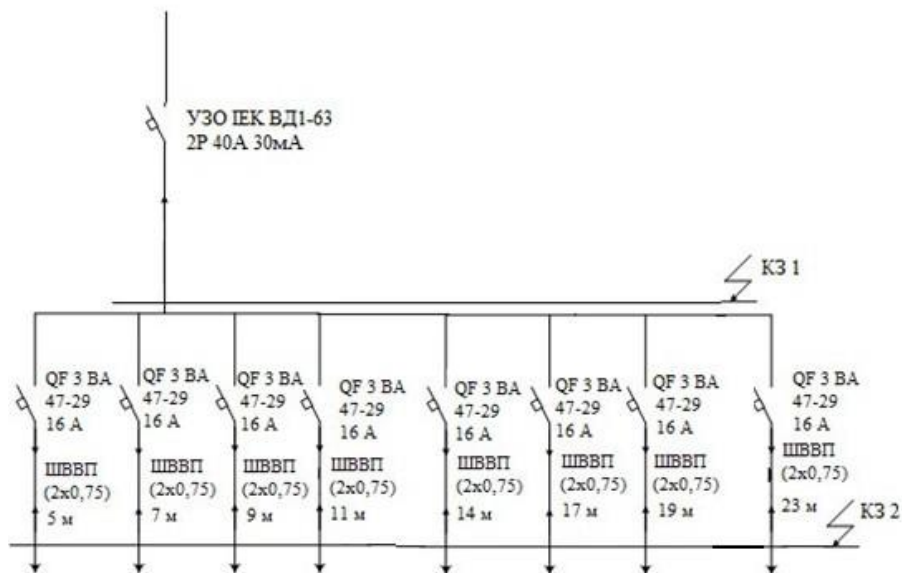


Рисунок 2.3 – Схема замещения

Активные удельные сопротивления всех элементов схемы в таблице 2.6.

Таблица 2.6 Удельные активные сопротивления

$r_{a1},$ мОм	$r_{a2},$ мОм	$r_{a3},$ мОм	$r_{a4},$ мОм	$r_{a5},$ мОм	$r_{a6},$ мОм	$r_{a7},$ мОм	$r_{a8},$ мОм	$r_{a9},$ мОм	$r_{a10},$ мОм
0,92	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Реактивные удельные сопротивления всех элементов схемы в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Удельные реактивные сопротивления

$x_{p1},$ мОм	$x_{p2},$ мОм	$x_{p3},$ мОм	$x_{p4},$ мОм	$x_{p5},$ мОм	$x_{p6},$ мОм	$x_{p7},$ мОм	$x_{p8},$ мОм	$x_{p9},$ мОм	$x_{p10},$ мОм
0,073	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28

Расчёт суммарных активных и реактивных сопротивлений для КЗ 1:

$$\sum r = \sum r_k \cdot l + \sum r_{др.}, \quad (8)$$

$$\sum x = \sum x_k \cdot l + \sum x_{др.}, \quad (9)$$

$$\sum r = 0,6 \cdot 126 + 0,92 = 76,52 \text{ мОм},$$

$$\sum x = 0,28 \cdot 126 + 0,073 = 35,4 \text{ мОм}.$$

Определим полное сопротивление КЗ2:

$$z = \sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2}, \quad (10)$$

$$z = \sqrt{(76,52)^2 + (35,4)^2} = 84,3 \text{ мОм}.$$

Ток короткого замыкания найдем по формуле КЗ1:

$$\overline{I}_{к.з} = \frac{U_{\phi}}{z + z_m}, \quad (11)$$

где z_m - полное сопротивление трансформатора при однофазном КЗ2, мОм.

$$\overline{I}_{к.з} = \frac{220}{84,3 + 63} = 1,4 \text{ А}.$$

По паспорту плавкой вставки или автомата, он должен отключать при токе короткого замыкания превышающим в 3-5 раз номинальный, возьмем наихудшее 3 раза:

$$I_{к.з.} \geq 3 \cdot I_{пз.вст.}, \quad (12)$$

$$14 \text{ А} \geq 3 \text{ А} \cdot 40 = 120 \text{ А}.$$

Условие выполняется, значит защита выбрана верно. Для КЗ2 все расчеты сведем в таблицу 8:

Таблица 8 – Расчеты токов короткого замыкания

Наименование ЭП	$\sum r$, мОм	$\sum x$, мОм	$\sum z$, мОм	$I_{к.з.}$, А	$I_{т.р.}$, А	$3I_{т.р.}$, А	Результат
OF2 ВА 47-29 16А	81,2	39,3	89,4	404	16	48	Срабатывает

2.6 Расчет и выбор защитного заземления

Безопасность эксплуатации электроустановок напрямую зависит от применения эффективных методов повышения устойчивости оборудования и защиты персонала при аварийных ситуациях, например при замыкании одной из фаз на корпус. В подобных случаях точка корпуса может перейти под опасное напряжение, что представляет угрозу людям, которые с ним контактируют.

Когда нейтраль питающей системы эффективно заземлена и питающая сеть имеет напряжение до 1000 В, простой метод защитного заземления теряет свою действенность. Главная причина заключается в недостаточно большом токе замыкания на землю — такого тока недостаточно для срабатывания максимальной токовой защиты, что препятствует своевременному отключению аварийной линии. В подобных условиях для повышения безопасности используется метод зануления, позволяющий перевести корпус оборудования на нейтраль и обеспечить срабатывание автоматов при коротком замыкании.

Таким образом, при изолированной нейтрали до 1000 В и при глухозаземлённых нейтралях свыше 1000 В используется заземление, что позволяет снизить риск поражения током, сохранив при этом устойчивость системы.

Когда на корпус оборудования попадает напряжение из-за аварии, человек, касающийся такого оборудования и одновременно находящийся на полу (земле), замыкает собой электрический контур. В эту цепь входят: провод фазы, корпус, тело человека, земля и элементы изоляционной конструкции, что позволяет току потечь по этому контуру.

Не следует терять из виду наличие емкости и активной проводимости изоляторов и других элементов конструкции. Эти свойства обеспечивают наличие связи с землёй даже при внешней изоляции. Когда длина питающей линии велика, активное и емкостное сопротивление такого соединения уменьшается и начинает соизмеряться с сопротивлением человеческого организма, что повышает риск травматического воздействия тока.

Когда включено заземление, параллельно с человеком образуется путь с меньшим сопротивлением — через заземляющий контур. В таком случае главная часть аварийного тока потечет по заземлителю, что снизит значение тока, проходящего через тело человека, до безопасной величины. Задача заключается в создании такого устройства, сопротивление которого будет заведомо мало — около нескольких Ом. В норме для установок с изолированной нейтралью это значение не должно превышать 4 Ом.

Когда нужно организовать заземление, используют либо природные конструкции, либо искусственный контур. В природные заземлители включаются трубопроводы, каркасные конструкции зданий и другие элементы, которые имеют устойчивый контакт с грунтом. Искусственный контур создают с помощью труб, профилей, полос и других металлических конструкций,

заглубляемых в землю.

Не следует использовать трубопроводы с легковоспламеняющимися и взрывоопасными средами, а также конструкции с коррозионными покрытиями. В ходе эксплуатации тонкие профили теряются из-за коррозии и снижают качество заземления. Рекомендовано использовать трубы диаметром 32 мм и с толщиной стенки не менее 3,5 мм, профили с полкой около 50 мм и с толщиной не менее 4 мм, либо полосу с сечениями около 100 мм². В крайнем случае, допустимо использовать и гладкие стержни с диаметром не менее 10 мм.

Группа подобных электродов образует концентрированное поле рассеивания тока. В таком контуре элементы соединяются сваркой с помощью такого же профиля, что и главные электроды. В точке выхода на поверхность земли также следует установить концентратор для присоединения заземляющего проводника.

Группы заземлителей следует заглублять на 2,5–3 м и концентрировать вокруг защищаемого оборудования. Соединения должны быть выполнены сваркой, что обеспечит минимальную проводимость на всех участках конструкции. Когда имеется выбор, выносное заземление стараются установить на стороне с наименьшим сопротивлением грунтов — это повышает качество рассеивания тока.

Когда такого преимущества достичь нельзя, практикуют контурное заземление — по периметру оборудования. В таком случае выравнивается поле потенциалов вокруг конструкции и уменьшается разница потенциалов на площади, по которой может пройти человек, что повышает уровень безопасности.

Согласно ГОСТ 12.1.030-81, защитное заземление следует выполнить:

- при всех установках с напряжениями 380 В и выше при питающем токе, что является средством повышения безопасности;
- при среде с повышенной опасностью и особо опасными условиями даже при напряжении 42–380 В для трехфазной системы и 110–440 В для системы с постоянным током;
- при всех электроустановках, которые располагаются в помещениях с повышенной взрывоопасностью.

Заземляющий контур состоит из двух главных элементов:

- Заземляющих проводников, которые обеспечивают надежное соединение оборудования с контуром.
- Заземлителей — элементов конструкции, заглубляемых в землю с целью рассеивания тока.

Не следует использовать в конструкции заземляющего устройства каленый металл, так как при коррозии он теряет свойства и плохо проводит ток. В мягкие грунты проще всего загонять профили с помощью кувалды. В других случаях используют трубные конструкции с заглушкой на конце и перфорированными стенками — при недостатке влаги эту перфорацию заполняют соляными

концентрами для повышения проводимости.

Не менее 60–100 см должны быть заглублены верхушки такого электрода, что препятствует его вымерзанию и потере качества рассеивания. В засушливом климате длину конструкции следует делать 2–3 м, что обеспечит устойчивый контакт с природными слоями влаги.

Пример использования металлических прутков на рисунке 2.4.

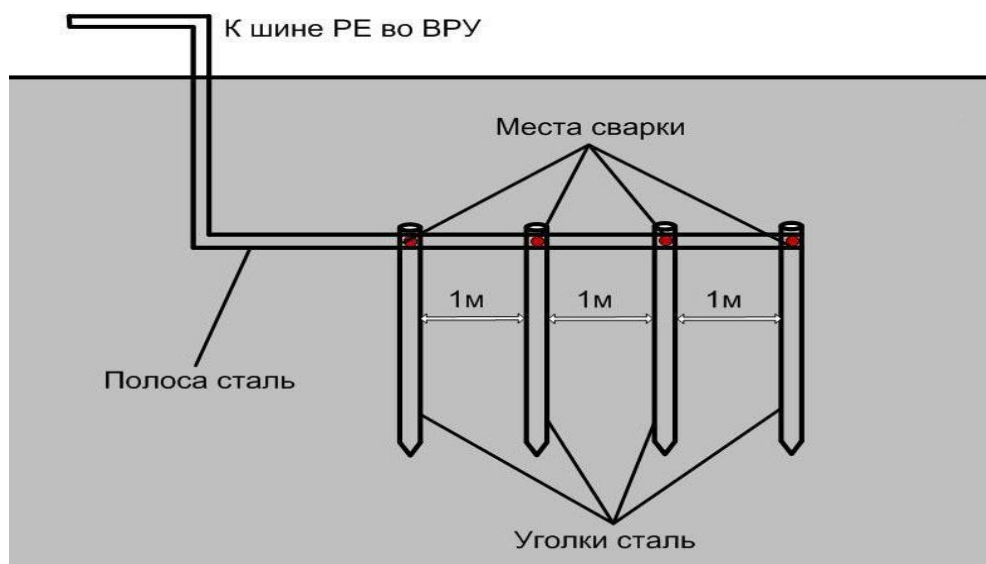


Рисунок 2.4 - Заземление с использованием металлических прутков

Безопасность эксплуатации электрооборудования напрямую зависит от правильно смонтированного и эффективно работающего защитного заземления. Главнейшая функция такого заземления заключается в рассеивании токов утечки и аварийных токов по обширной площади грунтового массива. Когда корпус электроустановки по каким-либо причинам попадает под опасное напряжение (например, при пробое изоляции), ток концентрируется на точке соединения конструкции с системой заземления и далее уходит в землю. Эти меры препятствуют накоплению потенциала на оборудовании и уменьшают риск поражения людей электрическим током при касании.

Для повышения качества рассеивания тока главнейшую роль играет наличие плотного контакта заземляющих элементов с природными слоями почвы. В ходе устройства такого контура используют различные конструкции — металлические штыри, полосы и трубные профили — которые заглубляют на нужное основание и соединяются с главными заземляющими проводником. Эти элементы должны обеспечивать минимальную переходное сопротивление на границе «металл — грунт», что повышает точку рассеивания и сокращает путь для аварийного тока к нейтрали.

Не следует наносить на заземляющие конструкции лакокрасочные покрытия. Красочные пленки препятствуют прямому контакту металла с почвой, что повышает переходное сопротивление и препятствует рассеиванию тока. Вследствие такого явления уменьшается эффективность системы заземления, что может привести к повышенной опасности при аварийных ситуациях. В то время как покраска вредно влияет на проводимость, коррозионно-активные участки, особенно области сварных соединений, должны быть защищены с помощью нейтральных антикоррозионных смесей. Эти составы препятствуют коррозии, сохранив при этом хорошие свойства проводимости конструкции.

Не менее важными являются меры по поддержанию системы заземления в работоспособном состоянии на всех стадиях эксплуатации. Рекомендуется периодически (не реже раза в год) делать визуальный осмотр всех элементов конструкции, очищать контакты и при необходимости восстанавливать смазку на сварных соединениях с помощью нейтральных, проводящих смесей. В ходе такого обслуживания следует тщательно избегать применения красок и других диэлектрических покрытий на главных элементах конструкции, что позволит сохранить свойства рассеивания тока на весь срок эксплуатации оборудования.

Пример использования металлических труб показан на рисунке 2.5

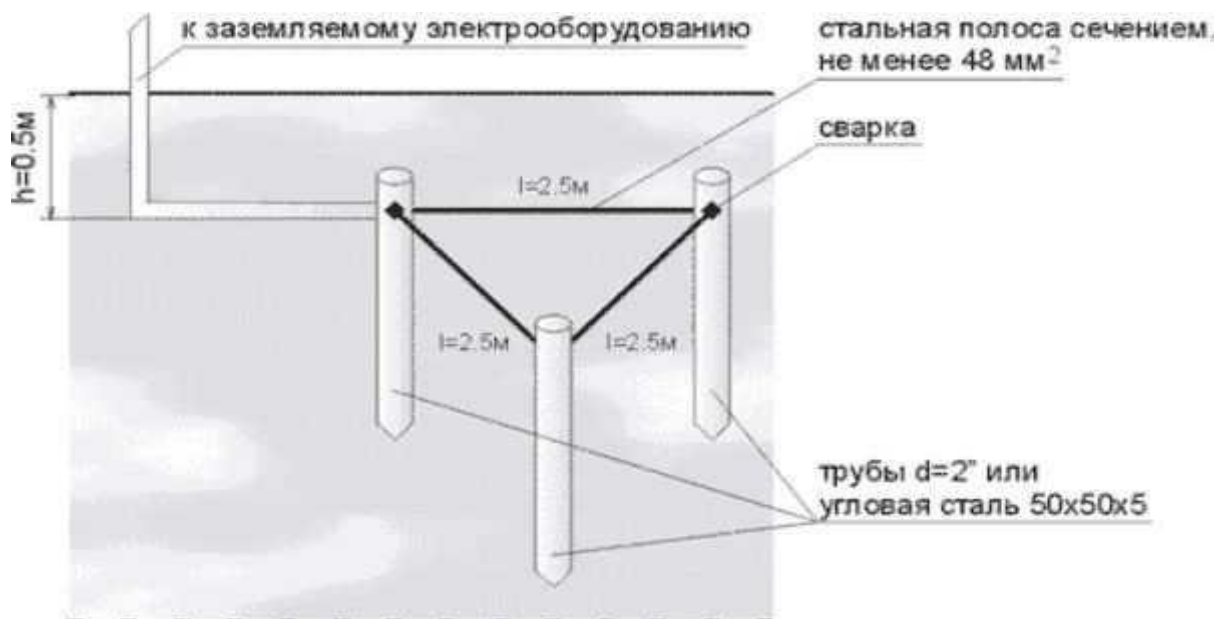


Рисунок 2.5 - Заземление с использованием металлических труб



Рисунок 2.6 - Набор модульной системы заземления

Безопасность эксплуатации электроустановок напрямую зависит от качества системы заземления. В современное время всё большую популярность получают модульные штыревые конструкции, позволяющие смонтировать глубинное заземление с помощью набора концентрических элементов (штырей). Эти конструкции являются сборными, что даёт преимущества при транспортировке и установке, особенно на участках с ограниченной свободной площадью. Соединения элементов производится с помощью специальной муфты, что обеспечивает механическую устойчивость конструкции и надежный электрический контакт.

Преимущества и недостатки модульно-штыревого метода. Основными преимуществами такого подхода являются:

Малая площадь. Весь контур концентрируется на точке ввода, что сокращает объем земляных работ.

Глубинное погружение. Заземлители заглубляются на десятки метров, что позволяет перейти на устойчивый слой грунтов с меньшим сопротивлением.

Без сварки. Соединения элементов механические, что сокращает время и трудоемкость сборки.

Готовность конструкции к эксплуатации сразу после монтажа.

Не следует при этом терять из виду недостатки такого метода:

Неудобство при препятствиях. Если на пути заглубления встречаются твердые породы, внедрение может быть затруднено.

Необходимость применения специального оборудования. Вбивать глубинные конструкции простой кувалдой не эффективно; потребуется перфоратор с ударными насадками.

Необходимость контроля качества на всех стадиях. Рекомендуется после погружения каждого звена замерять сопротивление конструкции.

Относительно высокая цена оборудования и услуг по установке.

Исходные данные для расчета. Для учебной лаборатории с напряжениями до 0,4 кВ нужно выполнить расчет системы заземления. В ходе проекта принято использовать:

В качестве вертикального заземлителя – прут из стали с диаметром 20 мм и длиной 3 м.

В качестве горизонтального проводника – стальная полоса с сечениями 40×4 мм.

Грунты на глубине около 0,5 м представлены суглинком с повышающим коэффициентом 2.

Замеренное значение сопротивления грунтов до повышения равно 100 Ом·м.

4. Расчет конструкции заземлителя

4.1. Расчетное сопротивление грунтов с повышающим коэффициентом:

$$\rho_{\Psi} = \rho_{\text{из}} \cdot \Psi, \quad (13)$$

где $\rho_{\text{из}}$ – замеренное сопротивление грунтов до повышения, Ом·м;

Ψ – повышающий коэффициент.

Таким образом:

$$\rho_{\Psi} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Расчет сопротивления одиночного заземлителя:

$$R_0 = (0,366 \cdot \rho_{\Psi} / l) \cdot \lg(4 \cdot l / d),$$

где l – длина заземлителя (3 м);

d – диаметр (0,02 м);

ρ_{Ψ} – скорректированное значение сопротивления грунтов (200 Ом·м).

Подставив значения:

$$R_0 = (0,366 \cdot 200 / 3) \cdot \lg(4 \cdot 3 / 0,02) \approx 5,41 \text{ Ом}.$$

Число необходимых заземлителей:

$$n = R_0 / (\eta \cdot R_d), \quad (14)$$

где R_0 – сопротивление одиночного заземлителя;

η – коэффициент экранирования (для такого расставления - 0,58);

R_d – допустимое значение сопротивления заземляющего контура (4 Ом).

Таким образом:

$$n = 5,41 / (0,58 \cdot 4) \approx 2,33.$$

Когда число получается дробное, производится округление до ближайшего

большого целого. В данном проекте потребуется 3 вертикальных заземлителя.
Результат проверки:

$$R_{\text{д}} = R_0 / (\eta \cdot n), \quad (15)$$

$$R_{\text{д}} = 5,41 / (0,58 \cdot 3) \approx 3,11 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}.$$

Таким образом, при установке трех глубинных заземлителей суммарное сопротивление системы будет соответствовать норме.

Для системы заземления учебной лаборатории с целью повышения безопасности эксплуатации оборудования следует установить 3 модульно-штыревых заземлителя из стали диаметром 20 мм и длиной 3 м. Эти конструкции должны быть смонтированы с помощью специализированной муфты и перфоратора с целью точной и легкой установки на проектно заданной глубине. Результат такого подхода – концентрированное, устойчивое и эффективно работающее заземление с минимальными трудозатратами и объемом земляных работ.

3 Разработка лабораторной работы «Моделирование выработки энергии микроГЭС при различных оборотах турбины»

Ниже представлено подробное описание лабораторной работы. Данная лабораторная работа посвящена моделированию выработки энергии микроГЭС при различных оборотах турбины.

Посещая лабораторию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) первый раз, студент обязан тщательно изучить правила по технике безопасности и подтвердить это росписью в специальном журнале. В дальнейшем следует строго придерживаться всех установленных норм и порядка работы на оборудовании.

Во время каждого практического занятия студент обязан вести записи всех проводимых опытов и наблюдений (например, заполнять лабораторный протокол), подтверждать точность результатов у преподавателя, а затем на его основе готовить технически грамотный и тщательно оформленный отчет. В таком отчете должны быть представлены принцип работы стенда, способы включения оборудования, смонтированные электрические схемы, показания всех измерительных приборов и выводы по результатам опыта. В ходе написания отчета следует использовать стандарты и руководящую документацию (например, ГОСТ) для точной передачи всех графических, электрических и других технических деталей. В завершении следует привести собственные соображения и предложения по модернизации оборудования либо повышения точности опыта на базе проанализированных данных.

Неотъемлемыми правилами при оформлении лабораторной работы являются точность, полнота, наглядность и логическая структура всех записей. Рекомендации, приведенные в методическом пособии и учебно-научной литературе, должны быть тщательно проанализированы и внедрены при сборе и интерпретации результатов.

Не допускаются к практикуму студенты, которые не владеют правилами эксплуатации электроустановок и технической безопасностью при работе с оборудованием. Задача преподавателя заключается в точном и всестороннем контроле такого рода подготовки. В ходе такого контроля может быть задан ряд вопросов по содержанию работы, конструкции оборудования и правилам безопасности. В случаях недостаточного уровня знания практикум переносится на следующий раз.

Группа, приступающая к лаборатории, может быть поделена на звенья (бригады) по согласованию с преподавателем. Распределение задач внутри звеньев производится добровольно. Далее староста группы предоставляет преподавателю список всех звеньев с персональными данными участников.

Перед практической работой следует тщательно изучать методические указания и учебно-научные руководства, что позволяет точнее понимать структуру опыта и избегать ошибки при сборе электрической схемы. Эти

правила являются обязательными для всех, что подтверждает качество и точность проводимой работы.

Перед сборкой следует полностью уяснить задаче практикума и проанализировать схему опыта. Рекомендуются с помощью старших лиц группы произвести сбор главной питающей цепи, двинуться с точкой старта и перейти к точке выхода, тщательно соединив элементы по порядку. Когда главная цепь собрана правильно, добавляются параллельные элементы, что позволяет точнее воспроизводить схему на стенде.

Не следует загромождать стол излишними проводами и приборами — всё должно быть расположено логично и на виду, что повысит точность и снизит вероятность ошибки при сборке и дальнейшем наблюдении. Ручки всех органов контроля должны быть выведены в нейтральное среднее положение, что обеспечит безопасное включение оборудования.

Когда сборка полностью завершена, преподаватель проводит контроль качества сборки, подтверждает правильно ли всё смонтировано, и лишь после такого контроля разрешает включать питающее напряжение.

Когда стенд включен, следует с помощью контрольно-измерительных приборов тщательно наблюдать за показаниями. В ходе работы нужно быть готовым к аварийной ситуации, например, при резком смещении стрелки амперметра на максимальную отметку. В таком случае следует полностью отключать питание и вызывать преподавателя.

Не разрешаются:

- изменения конструкции схемы при включённых аппаратах;
- прикасаться руками к токоведущему оборудованию;
- покидать стенд с включёнными установками;
- снимать, вставлять или перезаписывать элементы оборудования и приборов, что может привести к аварии;
- использовать устройства с других стендов без разрешения преподавателя;
- нагружать аппараты током и напряжениями сверх допустимой меры, что может привести к выходу оборудования из строя.

Когда практикум подходит к концу, вся собранная конструкция должны быть полностью отключена и лишь после обесточивания разрешено демонтировать схему. Результат работы следует с помощью преподавателя проанализировать, заполнить лабораторный журнал и сдать на проверку.

Не следует легкомысленно относиться к правилам безопасности. Людскому организму опасен ток даже около 0,01 А — такого воздействия бывает достаточно, чтобы нанести вред здоровью. В ходе всех процессов следует тщательно избегать касания токопроводящими частями оборудования и других элементов, что может привести к травме.

Не следует также прикасаться к вращающимся механическим узлам, что может привести к механическим повреждениям, либо покидать стенды с включёнными установками, что представляет собой прямую угрозу аварии.

Точное выполнение всех норм и правил при сборке, включении и эксплуатации лабораторных установок позволяет эффективно и безопасно выполнить практические работы, глубже изучить принцип работы оборудования, проанализировать поведение электрических процессов и выполнить точные измерения. Эти правила являются главнейшим звеном повышения квалификации специалиста-электрика и должны тщательно внедряться на всех стадиях учебно-лабораторной деятельности.

3.1 Цель и задачи лабораторной работы

Цель лабораторной работы — ознакомление студентов с основными принципами работы микрогидроэлектростанции (микроГЭС), а также анализ влияния изменения оборотов турбины Пелтона на выработку электроэнергии.

Задачи, решаемые в процессе выполнения лабораторной работы:

- моделирование функционирования микроГЭС в среде MATLAB/Simulink или аналогичной среде Simintech;
- исследование зависимости мощности генератора от частоты вращения турбины;
- формирование навыков анализа энергетических характеристик микроэнергетических установок;
- получение навыков интерпретации графических результатов моделирования.

3.2 Обоснование выбора турбины

Турбина Пелтона является представителем ударных гидротурбин, предназначенных для использования на высоконапорных потоках. Благодаря своей простоте, надёжности и эффективности при высоких напорах, она широко применяется в малых и микрогидроэлектростанциях. Конструкция турбины обеспечивает эффективное преобразование потенциальной энергии воды в механическую, что делает её подходящей для учебных и исследовательских целей.

3.3 Методика моделирования

В рамках лабораторной работы реализована модель микроГЭС, включающая следующие компоненты:

- генератор с заданной характеристикой;
- турбина Пелтона, модель которой учитывает подачу воды, геометрию ковшей и механическое сопротивление;
- система измерения электрической мощности;
- блок управления, регулирующий подачу воды и, соответственно, частоту

вращения турбины.

Моделирование проводилось с использованием стандартных математических моделей, описывающих:

- поток жидкости;
- вращательное движение;
- преобразование механической энергии в электрическую.

Для параметризации модели использовались приближённые значения, соответствующие типичной микроГЭС мощностью до 10 кВт. Основное внимание уделялось динамике изменения выработки электроэнергии при варьировании частоты вращения турбины в диапазоне 300–1200 об/мин.

3.4 Проведение лабораторного эксперимента

В рамках лабораторной работы студентам предлагается выполнить следующие действия:

- 1) Запуск модели в среде MATLAB/Simulink.
- 2) Установка начального значения оборотов турбины.
- 3) Проведение серии экспериментов с изменением частоты вращения.
- 4) Сбор данных о выходной мощности генератора при различных режимах.
- 5) Построение графика зависимости мощности от оборотов.

Анализ графиков позволяет сделать выводы о наиболее эффективных режимах работы турбины и о том, как нагрузка влияет на эффективность преобразования энергии.

3.5 Анализ результатов

По итогам моделирования было установлено, что максимальная эффективность турбины достигается в диапазоне средних оборотов – около 800–900 об/мин. При слишком низких оборотах выработка энергии недостаточна, в то время как при избыточных оборотах потери увеличиваются за счёт механического сопротивления и нестабильности потока.

Полученные результаты соответствуют ожидаемым характеристикам Пелтон-турбины и подтверждают корректность построенной модели.

Выводы

Разработанная лабораторная работа позволяет эффективно моделировать процессы, происходящие в микроГЭС, и анализировать их с учётом изменения ключевых параметров. Работа способствует формированию у студентов представления о принципах работы малых гидроэлектростанций и о влиянии конструктивных и эксплуатационных факторов на их энергетическую эффективность.

4 Технико-экономический анализ использования возобновляемых источников энергии в электроснабжении лаборатории от сети

В условиях роста тарифов на электроэнергию и необходимости повышения энергетической эффективности все большее внимание уделяется возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). Целью данной главы является проведение технико-экономического анализа использования ВИЭ в системе электроснабжения лаборатории с учетом подключения к сети, а также определение уровня экономической эффективности такого решения.

4.1 Исходные данные

Местоположение лаборатории: г. Алматы, ул. Сатпаева 22, НАО КазННТУ имени К.И. Сатпаева, корпус ГМК 38 и 53.

Среднемесячное электропотребление: 1200 кВт·ч

Тариф на электроэнергию от сети: 30 тг/кВт·ч

Солнечная инсоляция: 4.5 кВт·ч/м²·сут

Установленная мощность фотоэлектрической системы: 5 кВт

Стоимость солнечной установки: 2 500 000 тг

Срок службы оборудования: 20 лет

КПД инвертора: 95%

Стоимость обслуживания ВИЭ: 25 000 тг/год

4.2 Расчет выработки энергии солнечной установкой

Годовая выработка энергии:

$$E = P * G * 365 * \eta, \quad (16)$$

где $P = 5$ кВт - установленная мощность;

$G = 4.5$ кВт·ч/м²·сут - среднесуточная инсоляция;

$\eta = 0.95$ - КПД инвертора;

$$E = 5 * 4.5 * 365 * 0.95 = 7\,806.375 \text{ кВт·ч/год}$$

4.3 Сравнительный анализ затрат

Вариант 1: Только сеть

Годовое потребление: $1200 * 12 = 14\,400$ кВт·ч.

Годовая стоимость: $14\,400 * 30 = 432\,000$ тг.

Вариант 2: ВИЭ + сеть

Покрытие потребности ВИЭ: 7 806.375 кВт·ч. Оставшаяся потребность от сети: $14\,400 - 7\,806.375 = 6\,593.625$ кВт·ч

Годовая стоимость: $6\,593.625 \cdot 30 = 197\,808.75$ тг

Обслуживание ВИЭ: 25 000 тг

Итого годовые затраты: $197\,808.75 + 25\,000 = 222\,808.75$ тг

Таблица 4.1 – Сравнение затрат по вариантам

Вариант	Годовые затраты, тг
Только сеть	432 000
ВИЭ + сеть	222 809

4.4 Окупаемость проекта

Экономия в год:

$$432\,000 - 222\,809 = 209\,191 \text{ тг}$$

Срок окупаемости:

$$2\,500\,000 / 209\,191 \approx 11.95 \text{ лет}$$

Выводы

Внедрение фотоэлектрической установки позволяет значительно снизить годовые затраты на электроэнергию (на ~48%). Несмотря на достаточно долгий срок окупаемости (~12 лет), срок службы оборудования (20 лет) обеспечивает экономическую эффективность проекта. Данный подход может быть рекомендован для повышения энергетической устойчивости лаборатории и снижения зависимости от традиционного электроснабжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломной работы была разработана система электроснабжения лаборатории, специализирующейся на исследовании и эксплуатации возобновляемых источников энергии. Проект охватывает питание как от внешней электросети, так и от автономных станций, включающих солнечную электростанцию, ветроэнергетическую установку и микрогидроэлектростанцию.

Был выполнен технический расчёт электрических нагрузок лаборатории, определены режимы работы оборудования, а также проведён выбор сечений кабельных линий, защитных устройств и элементов автоматики. Особое внимание уделено обеспечению надёжности и безопасности эксплуатации как в нормальных, так и в аварийных режимах.

Для каждого вида генерации разработана схема подключения, согласованная с общей архитектурой электроснабжения. Предусмотрено функционирование в гибридном режиме — с возможностью параллельной работы с сетью и автономной подачей питания при отключении внешнего источника. Выполнен расчёт энергоэффективности и анализ перспектив интеграции накопителей энергии в систему.

Результаты работы подтверждают техническую реализуемость проекта и его соответствие требованиям нормативных документов. Проект может быть использован как в учебных целях, так и для опытной эксплуатации с возможностью расширения и модернизации.

Проект продемонстрировал целесообразность интеграции различных видов ВИЭ в единую гибридную систему. Проведённый технико-экономический анализ показал, что, несмотря на начальные инвестиционные затраты, использование возобновляемых источников энергии в долгосрочной перспективе позволяет существенно снизить эксплуатационные расходы, а также повысить энергетическую независимость объекта.

Таким образом, поставленные в работе задачи были успешно решены: предложено рациональное техническое решение, обеспечивающее стабильное и экологически чистое энергоснабжение лаборатории. Разработанная система может быть использована как модель для внедрения аналогичных проектов в сфере образования и науки, ориентированных на устойчивое развитие и энергоэффективность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 "Российский институт потребительских испытаний" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ripi-test.ru/1731-technicheskij-reglament-o-bezopasnosti-nizkovoltnogo-oborudovaniya>
- 2 Акимова Н.А., Котеленец Н.Ф., Сентюрихин Н.И. Монтаж техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования. – Москва: «Академия», 2008. – 304 с.
- 3 Безопасность труда в строительстве (СниП 12032001). Часть 1. Общие требования; Мир - Москва, 2013. - 261 с.
- 4 Булычев, А. В. Релейная защита электроэнергетических систем: учебное пособие / А. В. Булычев, В. К. Ванин, А. А. Наволочный, М. Г. Попов. — Санкт-Петербург.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — 211 с.
- 5 ГОСТ Р 50571.15-97 (МЭК 364-5-52-93). Электрические установки зданий. Часть 5 - Выбор и монтаж электрооборудования.
- 6 Группа компаний «ГалСен»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://galsen.ru> (Дата обращения: 27.05.2018).
- 7 Информационная торговая система «ЭлектроТехИнфо»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.eti.su>.
- 8 Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование: Учебное пособие / Г.В. Коробов, В.В. Картавцев, Н.А. Черемисинова. – Санкт-Петербург: Лань, 2011. - 192 с.
- 9 Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Б.И. Кудрин. - Москва: ИЦ Академия, 2012. - 352 с.
- 10 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ -016-2001 РД 153-34.0-03.150- 00) [Текст]: справочник – Москва: Омега-Л, 2016. – 92с.
- 11 Миллер Г. Р. Автоматизация в системах электроснабжения промышленных предприятий / Г.Р. Миллер. - Москва: Государственное энергетическое издательство, 2012. - 176 с.
- 12 Министерство труда и социальной защиты РФ. Приказ от 24 июля 2013 г. N 328н «Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации электроустановок».
- 13 МПО «Электромонтаж» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electro-mpo.ru/> (дата обращения: 05.05.2018).
- 14 Неклепаева Б.Н. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Б.Н. Неклепаева. - Москва: НИЦ НАС, 2002. – 152 с.
- 15 Полуянович Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий / Н.К. Полуянович. - Москва: Лань, 2012. - 400 с.

16 Правила устройства электроустановок. - Москва: Госторгиздат, 2015. - 144 с.

17 Правила учета электрической энергии. - Москва: АОЗТ «Энергосервис», 2012. - 367 с.

18 Правила. Методики. Инструкции. Выпуск 18. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Москва: Энергосервис, 2016. - 308 с.

19 Проектирование инженерных сетей «Мега» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://m-e-g-a.ru> (дата обращения: 15.05.2018).

20 СТ КазННТУ - 09 - 2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала.- КазННТУ, 2023.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мажит Амир Еділұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Расчет и проектирование системы электроснабжения лаборатории возобновляемых источников энергии

Научный руководитель: Кайрат Баянбаев

Коэффициент Подобия 1: 9.8

Коэффициент Подобия 2: 4.6

Микропробелы: 31

Знаки из других алфавитов: 69

Интервалы: 30

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Незаконных заимствований нет

Дата

К. Баянбаев

проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мажит Амир Еділұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Расчет и проектирование системы электроснабжения лаборатории возобновляемых источников энергии

Научный руководитель: Кайрат Баянбаев

Коэффициент Подобия 1: 9.8

Коэффициент Подобия 2: 4.6

Микропробелы: 31

Знаки из здругих алфавитов: 69

Интервалы: 30

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата

17.06.25

Заведующий кафедрой



Сорсеимбаев Е.А.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу
(наименование вида работы)

Мажита Амира Еділұлы
(Ф.И.О. обучающегося)

6B07101– Энергетика
(шифр и наименование ОП)

На тему: Расчет и проектирование системы электроснабжения лаборатории
возобновляемых источников энергии

Выполнено:

а) графическая часть на 9 листах
б) пояснительная записка на 41 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В дипломной работе Мажита Амира Еділұлы рассмотрены вопросы расчета и проектирования системы электроснабжения лаборатории возобновляемых источников энергии. Осуществлен расчет электрических нагрузок, выбор электрического оборудования, а также обоснована рациональность выбранной схемы электроснабжения.

Работа посвящена электроснабжению лаборатории возобновляемых источников энергии. В технологической части представлено оборудование лаборатории, позволяющее моделировать получение электрической энергии от источников солнца, ветра и воды.

Дипломная работа предполагает использование для получения электрической энергии современных средств и оборудования, позволяющих значительно повысить долю ВИЭ в электроснабжении.

Студент Мажит А.Е. выполнил работу согласно полученного задания качественно и квалифицированно. Показал хорошие знания в области проектирования систем электроснабжения. Грамотно и обоснованно осуществил выбор системы электроснабжения, электрических аппаратов и электрических машин.

В специальной части Мажит А.Е. рассмотрел вопросы разработки лабораторной работы «Моделирование выработки энергии МикроГЭС при различных оборотах турбины».

Расчеты и выбор электрической аппаратуры выполнены грамотно. К недостаткам работы можно отнести некоторые стилистические ошибки в тексте, которые впоследствии были устранены после замечаний.

Оценка работы

В целом, работа представлена завершенной и данную дипломную работу оцениваю на 85%, а при успешной защите студент Мажит Амир Еділұлы достоин присвоения академической степени бакалавра по специальности 6B07101– Энергетика.

Рецензент

Главный дежурный ТОО
«Universal Energy (Qazaqstan)», магистр
(должность, уч. степень, звание)

А.К.Жапбар

«09»

2025 г.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу
(наименование вида работы)
Мажита Амира Еділұлы
(Ф.И.О. обучающегося)
6B07101– Энергетика
(шифр и наименование ОП)

Тема:

Расчет и проектирование системы электроснабжения
лаборатории возобновляемых источников энергии

Дипломная работа Мажита Амира Еділұлы посвящена вопросам
расчета и проектирования системы электроснабжения лаборатории
возобновляемых источников энергии.

В технологическом разделе представлено оборудование лаборатории,
позволяющее моделировать получение электрической энергии от источников
солнца, ветра и воды.

В расчетной части опираясь на технические данные, полученные в
технологическом разделе, произведены расчеты номинальных нагрузок
стендов, электрических нагрузок, расчет и выбор кабелей для подключения
стендов, расчет и выбор автоматов защиты, расчёт токов короткого
замыкания, расчет и выбор защитного заземления.

В специальной части осуществлена разработка лабораторной работы
«Моделирование выработки энергии микрогэс при различных оборотах
турбины».

Мажит А.Е. проявил свои прочные знания и навыки в проектировании
системы электроснабжения.

В процессе проектирования было указано на необходимость
дополнения в специальной части по моделированию. Необходимые
изменения и дополнения им были произведены.

Дипломную работу оцениваю на 85%. Студента Мажита Амира
Еділұлы предлагаю признать достойным присвоения академической степени
бакалавра по специальности «6B07101– Энергетика».

Научный руководитель

Ассоциированный профессор

(должность, уч. степень, звание)


(подпись)

Бегентаев Б.М.

«17» июня 2025 г.