Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владивостокский государственный университет»
Кафедра инженерно-технических наук

Рабочая программа дисциплины (модуля)

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Специальность и специализация
21.05.04 Горное дело. Горное дело

Год набора на ОПОП
2024

Форма обучения
очная

Владивосток 2026

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 21.05.04 Горное дело (утв. приказом Минобрнауки России от 12.08.2020г. №987) и Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утв. приказом Минобрнауки России от 06.04.2021 г. N245).

Составитель(и):

Васянович Ю.А., доктор технических наук, профессор, Кафедра горного дела, Y.Vasyanovich@vvsu.ru

Педан Н.Р., ассистент, Кафедра горного дела, Nikita.Pedan@vvsu.ru

Утверждена на заседании кафедры инженерно-технических наук от 14.09.2026, протокол № 1

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой (разработчика)

Кузнецов П.А.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат	1576663924
Номер транзакции	0000000000EF2093
Владелец	Кузнецов П.А.

1 Цель, планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)

Целью освоения дисциплины «Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ» является анализ и выбор электрооборудования и схемы электроснабжения открытых горных работ.

Задачи освоения дисциплины:

1. изучить типы, конструктивные схемы и основные технические данные электрооборудования и электроснабжения карьеров;

2. получить знания для решения задач, связанных с использованием электрической энергии при добыче полезных ископаемых в условиях открытых горных работ;

3. изучить требования и область применения электрооборудования и электробезопасность на горном предприятии;

Планируемыми результатами обучения по дисциплине (модулю), являются знания, умения, навыки. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, формируемые в результате изучения дисциплины (модуля)

Название ОПОП ВО, сокращенное	Код и формулировка компетенции	Код и формулировка индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
			Код результата	Формулировка результата
21.05.04 «Горное дело» (ГД)	ОПК-17 Способен применять методы обеспечения промышленной безопасности, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций, при производстве работ по эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых, строительству и эксплуатации подземных объектов	ОПК-17.1к Использует методы и формы организации управления охраной труда и промышленной безопасностью при производстве работ по эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых, строительству и эксплуатации подземных объектов	РД1	Знание организационно-управленческих методик по формированию структуры промышленной безопасности и охраны труда при ведении горных работ
		ОПК-17.2к Применяет методы аттестации рабочих мест по условиям труда, анализировать причины производственного травматизма и разрабатывать мероприятия по его предупреждению	РД2	Умение обосновывать, анализировать и реализовывать действенные меры по снижению производственного травматизма на горном производстве и разрабатывать мероприятия по его предупреждению
		ОПК-17.3к Разрабатывает систему коллективной	РД3	Навык владения методами оценки уровня промышленной безопасности и разработки систем коллективной защиты работающих на опасных

		защиты от негативного воздействия технологических процессов и производств в штатных и аварийных ситуациях		производственных объектах, в штатных и аварийных ситуациях.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ» входит в базовую часть учебного плана специальности 21.05.04 Горное дело и проводится в 9 семестре

3. Объем дисциплины (модуля)

Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу с обучающимися (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу, приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Общая трудоемкость дисциплины

Название ОПОП ВО	Форма обучения	Часть УП	Семестр (ОФО) или курс (ЗФО, ОЗФО)	Трудоемкость (З.Е.)	Объем контактной работы (час)						СРС	Форма аттестации
					Всего	Аудиторная			Внеаудиторная			
						лек.	прак.	лаб.	ПА	КСР		
21.05.04 Горное дело	ОФО	С1.Б	9	4	73	36	36	0	1	0	71	Э

4 Структура и содержание дисциплины (модуля)

4.1 Структура дисциплины (модуля) для ОФО

Тематический план, отражающий содержание дисциплины (перечень разделов и тем), структурированное по видам учебных занятий с указанием их объемов в соответствии с учебным планом, приведен в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Разделы дисциплины (модуля), виды учебной деятельности и формы текущего контроля для ОФО

№	Название темы	Код результата обучения	Кол-во часов, отведенное на				Форма текущего контроля
			Лек	Практ	Лаб	СРС	
1	Введение в дисциплину «Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ». Основные положения в области горного электроснабжения	РД1	2	2	0	4	Устный опрос Практическая работа. Тестирование
2	Основные термины и понятия	РД1	2	4	0	8	Устный опрос Практическая работа. Тестирование
3	Защита от поражения электрическим током	РД2	4	6	0	12	Устный опрос Практическая работа. Тестирование

4	Внешнее электроснабжение открытых горных работ	РД2	6	2	0	4	Устный опрос Практическая работа. Тестирование
5	Исполнение горного оборудования	РД2	4	4	0	8	Устный опрос Практическая работа. Тестирование
6	Электрические сети и установки напряжением до 1 кВ и выше 1 кВ	РД2	2	6	0	11	Устный опрос Практическая работа. Тестирование
7	Рудничная аппаратура управления и защиты.	РД2	6	4	0	8	Устный опрос Практическая работа. Тестирование
8	Электрические сети на карьерах	РД3	4	2	0	8	Устный опрос Практическая работа. Тестирование
9	Электрическое освещение	РД3	2	2	0	4	Устный опрос Практическая работа. Тестирование
10	Особенности электрификации горных предприятий	РД3	2	2	0	4	Устный опрос Практическая работа. Тестирование
11	Энергетические показатели при электрификации горных работ	РД3	2	2	0	4	Устный опрос Практическая работа. Тестирование
Итого по таблице			**36**	**36**	**0**	**75**	

4.2 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля) для ОФО

Тема 1 Введение в дисциплину «Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ». Основные положения в области горного электроснабжения.

Содержание темы: Историческая ретроспектива электрофикации вскрышных и добычных работ на карьере. Вклад учёных в теорию электроснабжения для открытых горных работ. Высокая профессиональная подготовленность - одно из основных требований к специалистам с высшим образованием.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Изучение лекций, работа с дополнительной литературой.

Тема 2 Основные термины и понятия.

Содержание темы: Основные термины и понятия по электрооборудованию и электроснабжению на карьерах. ГОСТы. Правила безопасности.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Изучение лекций, работа с дополнительной литературой.

Тема 3 Защита от поражения электрическим током.

Содержание темы: Действие электрического тока на организм человека. Влияние режима работы нейтрали на уровень электробезопасности. Устройство защитных заземлений. Проверка состояния заземляющих устройств. Предупреждение взрывов и пожаров от электрического тока. Искробезопасность электрических цепей.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Изучение лекций, работа с дополнительной литературой.

Тема 4 Внешнее электроснабжение открытых горных работ.

Содержание темы: Напряжения питающих линий. Основные положения. Выбор напряжения питающих линий. Категории бесперебойности электроснабжения. Схемы внешнего электроснабжения. Схемы распределения электроэнергии. Подстанции на поверхности горных предприятий.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Изучение лекций, работа с дополнительной литературой.

Тема 5 Исполнение горного оборудования.

Содержание темы: Степень защиты электрооборудования. Взрывобезопасность рудничного электрооборудования. Принципы взрывобезопасности Виды взрывозащиты. Виды исполнения рудничного электрооборудования. Классификация и маркировка электрооборудования.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Изучение лекций, работа с дополнительной литературой.

Тема 6 Электрические сети и установки напряжением до 1 кВ и выше 1 кВ.

Содержание темы: Характеристика основных повреждений электроустановок. Защита электрических сетей и установок поверхностного комплекса предприятий горного профиля. Защита электрических сетей и установок подземного комплекса предприятий горного профиля.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Изучение лекций, работа с дополнительной литературой.

Тема 7 Рудничная аппаратура управления и защиты.

Содержание темы: Автоматические выключатели. Общие сведения. Виды защиты рудничной аппаратуры. Рудничная аппаратура управления и защиты взрывобезопасного исполнения. Автоматические выключатели. Рудничные автоматические выключатели. Пускатели и магнитные станции. Пускатели ручного управления Магнитные пускатели. Рудничные пускатели. Магнитные станции управления. Рудничная аппаратура управления и защиты для городских подземных сооружений. Подземные подстанции. Электрооборудование подземных подстанций. Комплектные распределительные устройства. Шахтные трансформаторы. Центральные подземные подстанции. Передвижные трансформаторные подстанции. Преобразовательные подстанции.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Изучение лекций, работа с дополнительной литературой.

Тема 8 Электрические сети на карьерах.

Содержание темы: Конструкция кабелей. Общие сведения. Бронированные кабели. Гибкие и особо гибкие кабели. Маркировка и обозначение кабелей. Соединение и прокладка кабелей. Прокладка кабелей. Кабельные туннели. Кабельные каналы. Кабельные блоки. Кабельные эстакады и галереи. Коллекторы. Кабельные траншеи. Прокладка кабелей в подземных горных выработка. Кабельные муфты. Классификация кабельных муфт и заделок. Монтаж соединительных и концевых муфт.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Изучение лекций, работа с дополнительной литературой.

Тема 9 Электрическое освещение.

Содержание темы: Основные понятия и единицы светотехники. Параметры источников света. Выбор системы освещения и нормированной освещенности. Источники света. Световые приборы. Методы расчета электрического освещения.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Изучение лекций, работа с дополнительной литературой.

Тема 10 Особенности электрификации горных предприятий.

Содержание темы: Способы электроснабжения горных работ. Электроснабжение открытых горных работ. Электроснабжение подземных горных работ через ствол. Электроснабжение подземных горных работ через шурфы или энергетические скважины. Сравнение способов электроснабжения горных работ.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Изучение лекций, работа с дополнительной литературой.

Тема 11 Энергетические показатели при электрификации горных работ.

Содержание темы: Коэффициент мощности. Компенсация реактивной мощности. Учет и тарификация электроэнергии. Удельные нормы электропотребления.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Изучение лекций, работа с дополнительной литературой.

5 Методические указания для обучающихся по изучению и реализации дисциплины (модуля)

5.1 Методические рекомендации обучающимся по изучению дисциплины и по обеспечению самостоятельной работы

Успешное освоение дисциплины предполагает активную работу студентов на всех занятиях аудиторной формы, выполнение аттестационных мероприятий, эффективную самостоятельную работу. В процессе изучения дисциплины студенту необходимо ориентироваться на самостоятельную подготовку к практическим занятиям, выполнение творческих заданий, самостоятельное изучение некоторых разделов курса.

Практические задания выполняются студентами как аудиторно, так и самостоятельно. В начале занятия преподаватель информирует студентов о требованиях и дает рекомендации по выполнению каждой практической работы.

Работа над практическими заданиями включает: качество проделанных практических работ, посещаемость занятий, результаты самостоятельной работы по выполнению практических заданий.

Подготовке студента к выполнению работ на практическом занятии должно предшествовать изучение литературы, приведенной в списке основной и дополнительной

литературы рабочей программы учебной дисциплины. При этом, желательно, чтобы студенты проводили анализ полученной дополнительной информации, анализировали существенные дополнения и ставили вопросы. В процессе самостоятельной подготовки используются электронные базы данных и различные электронные ресурсы. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Темы практических заданий, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в ФОС к дисциплине.

Текущий контроль проводится:

- по результатам работы студентов на практических занятиях и самостоятельной работы по выполнению практических заданий. Критерием оценки является полнота выполнения практических работ, выполнение их в точном соответствии с постановкой и творческий подход к решению проблем.

5.2 Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

При необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов (по заявлению обучающегося) предоставляется учебная информация в доступных формах с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания, консультации и др.
- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания, консультации и др.
- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания, консультации и др.

6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

В соответствии с требованиями ФГОС ВО для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю) созданы фонды оценочных средств. Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 1.

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

7.1 Основная литература

1. Анчарова, Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2024. — 415 с. — (Высшее образование:

Бакалавриат). - ISBN 978-5-00091-500-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2078400 (Дата обращения - 22.01.2026)

2. Беляков, Г. И. Электробезопасность : учебник для вузов / Г. И. Беляков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 201 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-17192-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/561111 (дата обращения: 01.09.2025).

3. Медведев, В. В. Электроснабжение шахт и рудников : учебное пособие / В. В. Медведев, А. А. Морозов, А. В. Бейдин. — Чита : ЗабГУ, 2023. — 202 с. — ISBN 978-5-9293-3195-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/438401 (дата обращения: 20.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7.2 Дополнительная литература

1. Введение в электротехнику и электроэнергетику: методические указания к проведению практических занятий для направленияэлектротехника» «Электроснабжение», студентов 13.03.02 «Электроэнергетика и (профили«Электромеханика», «Электропривод и автоматика») очной и заочной форм обучения : методические указания / составители В. П. Шелякин, Е. Л. Савельева. — Воронеж : ВГТУ, 2025. — 30 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/496127 (дата обращения: 20.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Вегера, Ж. Г. Автоматизированный электропривод : учебное пособие / Ж. Г. Вегера, В. В. Слепцов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. - 120 с. – ISBN 978-5-9729-2286-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2225370 (Дата обращения - 22.01.2026)

3. Китиков, В. О. Скважинные электронасосные агрегаты с синхронными электродвигателями на постоянных магнитах / В. О. Китиков, А. С. Козорез, Ю. А. Башко ; Национальная академия наук Беларуси, Институт жилищно-коммунального хозяйства. – Минск : Белорусская наука, 2023. – 165 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=707962 (дата обращения: 19.01.2026). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-985-08-2992-4. – Текст : электронный.

7.3 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы (при необходимости):

1. Образовательная платформа "ЮРАЙТ"
2. Электронно-библиотечная система "ZNANIUM.COM"
3. Электронно-библиотечная система "ЛАНЬ"
4. Электронно-библиотечная система "УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН"
5. Open Academic Journals Index (OAJI). Профессиональная база данных - Режим доступа: http://oaji.net/
6. Президентская библиотека им. Б.Н.Ельцина (база данных различных профессиональных областей) - Режим доступа: https://www.prlib.ru/
7. Информационно-справочная система "Консультант Плюс" - Режим доступа: http://www.consultant.ru/

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения

Основное оборудование:

- Компьютеры
- Проектор

Программное обеспечение:

- Office
- КонсультантПлюс

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владивостокский государственный университет»
Кафедра инженерно-технических наук

Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля
и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Специальность и специализация
21.05.04 Горное дело. Горное дело

Год набора на ОПОП
2024

Форма обучения
очная

Владивосток 2026

1 Перечень формируемых компетенций

Название ОПОП ВО, сокращенное	Код и формулировка компетенции	Код и формулировка индикатора достижения компетенции
21.05.04 «Горное дело» (ГД)	ОПК-17. Способен применять методы обеспечения промышленной безопасности, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций, при производстве работ по эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых, строительству и эксплуатации подземных объектов	ОПК-17.1к Использует методы и формы организации управления охраной труда и промышленной безопасностью при производстве работ по эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых, строительству и эксплуатации подземных объектов
		ОПК-17.2к Применяет методы аттестации рабочих мест по условиям труда, анализировать причины производственного травматизма и разрабатывать мероприятия по его предупреждению
		ОПК-17.3к Разрабатывает систему коллективной защиты от негативного воздействия технологических процессов и производств в штатных и аварийных ситуациях

Компетенция считается сформированной на данном этапе в случае, если полученные результаты обучения по дисциплине оценены положительно (диапазон критериев оценивания результатов обучения «зачтено», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично»). В случае отсутствия положительной оценки компетенция на данном этапе считается несформированной.

2 Показатели оценивания планируемых результатов обучения

Компетенция ОПК-17. «Способен применять методы обеспечения промышленной безопасности, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций, при производстве работ по эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых, строительству и эксплуатации подземных объектов»

Код и формулировка индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине			Критерии оценивания результатов обучения
	Код рез-та	Тип рез- та	Результат	
ОПК-17.1к. Использует методы и формы организ-ации управления охраной труда и промышленной безопасностью при производстве работ по эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископае-мых, строительству и эксплуатации подземных объектов;	РД4	Знание	организационно-управленческих методик по формированию структуры промышленной безопасности и охраны труда при ведении горных работ	понимает и формирует систему охраны труда и промышленной безопасности на предприятии для ведения открытых горных работ

ОПК-17.2к. Применяет методы аттестации рабочих мест по условиям труда, анализировать причины производственного травматизма и разрабатывать мероприятия по его предупреждению;	РД5	Умение	обосновывать, анализировать и реализовывать действенные меры по снижению производственного травматизма на горном производстве и разрабатывать мероприятия по его предупреждению	Находит и применяет способы воздействия по снижению и предупреждению производственного травматизма, учитывая результаты аттестации рабочих мест на горном предприятии
ОПК-17.3к. Применяет навыки разработки систем коллективной защиты работающих от негативного воздействия технологических процессов и производств в штатных и аварийных ситуациях.	РД6	Навыки	владения методами оценки уровня промышленной безопасности и разработки систем коллективной защиты работающих на опасных производственных объектах, в штатных и аварийных ситуациях	составляет техническую документацию по вопросам промышленной безопасности на горном производстве и организовывает её применение в штатных и аварийных ситуациях

Таблица заполняется в соответствии с разделом 2 Рабочей программы дисциплины (модуля).

3 Перечень оценочных средств

Таблица 3 – Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)

Контролируемые планируемые результаты обучения		Контролируемые темы дисциплины	Наименование оценочного средства и представление его в ФОС	
			Текущий контроль	Промежуточная аттестация
очная форма обучения				
РД1	Знание : набора правил и требований, а также нормативных документов по электробезопасности, обязательных к составлению схем электроснабжения	1.1. Введение в дисциплину «Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ». Основные положения в области горного электроснабжения	Опрос Тест	Экзамен в письменной форме
		1.2. Основные термины и понятия	Опрос Тест	Экзамен в письменной форме
РД2	Умение : осуществлять выбор вариантов по повышению эффективности безопасной эксплуатации электрооборудования на карьере.	1.3. Защита от поражения электрическим током	Опрос Тест	Экзамен в письменной форме
		1.4. Внешнее электроснабжение открытых горных работ	Опрос Тест	Экзамен в письменной форме
		1.5. Исполнение горного оборудования	Опрос Тест	Экзамен в письменной форме
		1.6. Электрические сети и установки напряжением до 1 кВ и выше 1 кВ	Опрос Тест	Экзамен в письменной форме
		1.7. Рудничная	Опрос	Экзамен в

		аппаратура управления и защиты.	Тест	письменной форме
РД3	Навык : применения систем коллективной защиты работающих для составления схем электроснабжения горного предприятия	1.8. Электрические сети на карьерах	Опрос Тест	Экзамен в письменной форме
		1.9. Электрическое освещение	Опрос Тест	Экзамен в письменной форме
		1.10. Особенности электрификации горных предприятий	Опрос Тест	Экзамен в письменной форме
		1.11. Энергетические показатели при электрификации горных работ	Опрос Тест	Экзамен в письменной форме

4 Описание процедуры оценивания

Качество сформированности компетенций на данном этапе оценивается по результатам текущих и промежуточных аттестаций при помощи количественной оценки, выраженной в баллах. Максимальная сумма баллов по дисциплине (модулю) равна 100 баллам.

Качество сформированности компетенций на данном этапе оценивается по результатам текущих и промежуточных аттестаций при помощи количественной оценки, выраженной в баллах. Максимальная сумма баллов по дисциплине (модулю) равна 100 баллам.

Вид учебной деятельности	Оценочное средство											
	Тема 1	Тема 2	Тема 3	Тема 4	Тема 5	Тема 6	Тема 7	Тема 8	Тема 9	Тема 10	Тема 11	Итого
Лекция	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	12
Самостоятельная работа	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	12
Промежуточная аттестация	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76
Итого												100

Сумма баллов, набранных студентом по всем видам учебной деятельности в рамках дисциплины, переводится в оценку в соответствии с таблицей.

Сумма баллов по дисциплине	Оценка по промежуточной аттестации	Характеристика качества сформированности компетенции
от 91 до 100	«отлично»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций, обнаруживает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, умеет свободно выполнять практические работы, предусмотренные программой, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
от 76 до 90	«хорошо»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
от 61 до 75	«удовлетворительно»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных

		компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков по некоторым дисциплинарным компетенциям, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.
от 41 до 60	«неудовлетворительно»	У студента не сформированы дисциплинарные компетенции, проявляется недостаточность знаний, умений, навыков.
от 0 до 40	«неудовлетворительно»	Дисциплинарные компетенции не сформированы. Проявляется полное или практически полное отсутствие знаний, умений, навыков.

5 Примерные оценочные средства

5.1 Тестирование

Тест 1. Введение в дисциплину «Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ». Основные положения в области горного электроснабжения. Основные термины и понятия.

ЗАДАНИЯ ЗАКРЫТОГО ТИПА С ВЫБОРОМ ВАРИАНТОВ ОТВЕТА

Выбор одного или нескольких вариантов ответа

Выбор одного правильного ответа

Прочитайте вопрос или задание. Выберите правильный ответа, запишите его в виде буквы

1. Какова главная цель дисциплины «Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ»?

а) Изучение общих принципов электротехники.

б) Подготовка специалистов, способных проектировать, эксплуатировать и обеспечивать безопасность систем электроснабжения и электрооборудования карьеров.

в) Обучение ремонту бытовой электротехники.

г) Изучение геологического строения месторождений.

Ответ: б)

2. Что является основным объектом изучения в данной дисциплине?

а) Энергосистемы крупных городов.

б) Системы электроснабжения и электропривода стационарных промышленных предприятий.

в) Электротехнические комплексы и системы, обеспечивающие энергоснабжение и выполнение технологических процессов на открытых горных работах.

г) Альтернативные источники энергии.

Ответ: в)

3. Что понимается под термином «система электроснабжения карьера»?

а) Только главная понизительная подстанция (ГПП) на карьере.

б) Исключительно силовые кабели, питающие экскаваторы.

в) Только высоковольтные линии электропередачи, подходящие к карьеру.

г) Совокупность наружных и карьерных электрических сетей, трансформаторных и преобразовательных подстанций, обеспечивающих передачу и распределение электроэнергии от источника питания до карьерных потребителей.

Ответ: г)

4. Какое электрооборудование относится к категории «главное» (основное технологическое) на открытых горных работах?

а), буровые станки, конвейеры, дробильные установки, насосы водоотлива.

б) Силовые трансформаторы на подстанции.

в) Осветительная арматура и обогреватели в бытовых помещениях. Экскаваторы

г) Системы вентиляции административных зданий.

Ответ: а)

5. Что понимается под термином «система электроснабжения карьера»?

а) Только главная понизительная подстанция (ГПП) на карьере.

б) Совокупность наружных и карьерных электрических сетей, трансформаторных и преобразовательных подстанций, обеспечивающих передачу и распределение электроэнергии от источника питания до карьерных потребителей.

в) Только высоковольтные линии электропередачи, подходящие к карьеру.

г) Исключительно силовые кабели, питающие экскаваторы.

Ответ: б)

6. Какое электрооборудование относится к категории «главное» (основное технологическое) на открытых горных работах?

а) Осветительная арматура и обогреватели в бытовых помещениях.

б) Силовые трансформаторы на подстанции.

в) Системы вентиляции административных зданий.

г) Экскаваторы, буровые станки, конвейеры, дробильные установки, насосы водоотлива.

Ответ: г)

7. Чем системы электроснабжения открытых горных работ принципиально отличаются от систем электроснабжения стационарных заводов?

а) Отсутствием необходимости в трансформации напряжения.

б) Постоянным перемещением фронта работ, требующим мобильности и перекладки сетей.

в) Использованием исключительно постоянного тока.

г) Полным отсутствием требований к электробезопасности.

Ответ: б)

8. Что из перечисленного является определением термина «потребитель электроэнергии» в контексте горного предприятия?

а) Электротехническое устройство (приемник), преобразующее электроэнергию в другой вид энергии для выполнения технологического процесса.

б) Организация, продающая электроэнергию карьеру.

в) Линия электропередачи, подающая напряжение на подстанцию.

г) Персонал, обслуживающий электроустановки.

Ответ: а)

ЗАДАНИЕ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ

Прочитайте вопрос или текст задания. Установите правильное соответствие между элементами. Правильные ответы напишите в виде буквы и соответствующей ей цифры.

9. Установите соответствие между ключевыми понятиями дисциплины и их определениями.

а) Электроснабжение карьера

б) Главный привод (экскаватора, бурового станка)

в) Горный электротехник

г) Карьерная электрическая сеть

Варианты:

1. Система электродвигателей, преобразователей и передаточных механизмов, обеспечивающая выполнение основного технологического процесса машины.

2. Специалист, отвечающий за надежную, экономичную и безопасную работу электрохозяйства карьера.

3. Часть системы электроснабжения, распределяющая электроэнергию по карьеру от ГПП к передвижным и стационарным потребителям (напряжением обычно 6 или 10 кВ).

4. Обеспечение электроэнергией всех потребителей открытого горного предприятия в необходимом количестве и требуемого качества.

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

а	б	в	г
4	1	2	3

10. Установите соответствие между основными задачами проектирования систем электроснабжения карьеров и их содержанием.

а) Определение электрических нагрузок.

б) Выбор рациональной схемы электроснабжения.

в) Обеспечение электробезопасности.

г) Выбор электрооборудования.

Варианты:

1. Анализ расположения потребителей, источников питания и определение конфигурации электрических связей (радиальная, магистральная, смешанная).

2. Расчет установленной, средней и максимальной мощности потребителей для определения мощности трансформаторов и сечения проводников.

3. Комплекс организационных и технических мероприятий по защите персонала от поражения электрическим током (заземление, защитное отключение и др.).

4. Подбор аппаратов и устройств (трансформаторов, выключателей, кабелей) по номинальным параметрам (току, напряжению, мощности) и условиям окружающей среды.

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

а	б	в	г
2	1	3	4

11. Установите соответствие между видами электрооборудования на карьере и их основным назначением.

а) Силовой трансформатор

б) Высоковольтный ячейковый комплект (КРУ)

в) Карьерный силовой кабель

г) Электродвигатель привода механизма подъема экскаватора

Варианты:

1. Преобразование электрической энергии одного напряжения в энергию другого напряжения (например, 110 кВ в 6 кВ).

2. Коммутация, измерение и защита участка электрической сети (содержит выключатель, разъединители, измерительные трансформаторы, релейную защиту).

3. Передача электроэнергии от распределительного пункта к передвижным потребителям в тяжелых условиях карьера.

4. Преобразование электрической энергии в механическую для выполнения полезной работы (подъем стрелы и ковша).

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

а	б	в	г
1	2	3	4

12. Установите соответствие между характеристиками систем электроснабжения и их категориями/типами.

а) Не допускает перерыва в электроснабжении. Резерв питания должен включаться автоматически.

б) Допускает перерыв в электроснабжении на время, необходимое для включения резерва дежурным персоналом.

в) Электрическая сеть, линия которой проходит по последовательно соединенным подстанциям (узлам нагрузки).

г) Электрическая сеть, в которой каждый потребитель или группа питаются по отдельной линии.

Варианты:

1. Потребители I категории надежности электроснабжения.
2. Радиальная схема электроснабжения.
3. Потребители II категории надежности электроснабжения.
4. Магистральная схема электроснабжения.

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

а	б	в	г
1	3	4	2

ЗАДАНИЯ ОТКРЫТОГО ТИПА

Ввод развернутого ответа (текстовое поле)

Прочитайте задание. Напишите правильный ответ напишите в виде текста

13. Раскройте основные цели и задачи дисциплины «Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ». В ответе отразите, какие знания и навыки приобретает студент в результате её изучения.

Ответ: Основной целью дисциплины является формирование у будущих горных инженеров комплекса знаний и практических навыков, необходимых для обеспечения эффективного, надежного и безопасного электроснабжения предприятий открытой добычи.

Задачи дисциплины включают:

Теоретическое изучение: принципов построения систем электроснабжения карьеров; устройства, работы и характеристик основного карьерного электрооборудования (экскаваторов, буровых станков, конвейеров); методов расчета электрических нагрузок и выбора аппаратов защиты.

Приобретение практических навыков: чтения схем электроснабжения; выбора рациональных схем питания и размещения подстанций; расчета сечений кабелей; основ проектирования и эксплуатации систем.

Изучение специальных вопросов: обеспечения электробезопасности в специфических условиях карьера; учета влияния внешних факторов (пыль, влага, низкие температуры, перемещение забоя) на работу электрооборудования.

В результате изучения дисциплины студент должен научиться решать инженерные задачи, связанные с обеспечением технологических процессов карьера электроэнергией.

14. Перечислите и охарактеризуйте ключевые факторы, которые принципиально отличают систему электроснабжения открытого горного

предприятия (карьера) от системы электроснабжения стационарного промышленного завода. Дайте краткое пояснение каждому фактору.

Ответ: Система электроснабжения карьера характеризуется рядом специфических факторов:

Подвижность (мобильность) фронта работ: По мере выемки полезного ископаемого фронт работ и основное оборудование (экскаваторы) постоянно перемещаются. Это требует применения гибких, передвижных или часто перекладываемых средств подвода электроэнергии (кабельные линии на барабанах, передвижные подстанции, троллейные сети).

Суровые условия эксплуатации: Оборудование работает под воздействием повышенной запыленности, влаги (осадки, туман), значительных перепадов температур, вибраций и механических воздействий. Это предъявляет повышенные требования к пылевлагозащите (IP), климатическому исполнению и механической прочности электрооборудования.

Высокая концентрация мощных потребителей: В ограниченной площади забоя одновременно работают несколько экскаваторов и другой техники с большой единичной мощностью (до нескольких мегаватт), что создает высокую удельную нагрузку и требует специальных решений для распределения энергии.

Повышенные требования к безопасности: Работа в карьере связана с повышенной опасностью из-за возможности повреждения кабелей тяжелой техникой, обвалов уступов, образования опасных зон. Это делает критически важными системы защитного заземления, автоматического отключения и организационные меры электробезопасности.

Иерархическая и разветвленная структура сети: Система имеет четкую иерархию: внешняя сеть → Главная понизительная подстанция (ГПП) → распределительные сети карьера (напряжением 6-10 кВ) → мощные передвижные потребители → вспомогательные и стационарные потребители (дробильные комплексы, водоотлив, освещение).

Краткие методические указания

Шкала оценки

Оценка 5 (35-40 баллов) - ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

Оценка 4 (24-34 балла) - ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

Оценка 3 (10-23 балла) – ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

Оценка 2 (0-9) балла – ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

5.2 Вопросы к экзамену

1. Электрооборудование экскаваторов.
2. Электрооборудование приводов экскаваторов и устройств приема и распределения напряжения на экскаваторе.
3. Электрооборудование буровых станков, водоотливных установок.
4. Электрооборудование горно-транспортных машин непрерывного действия.
5. Электрические подстанции открытых горных работ.
6. Силовые трансформаторы.
7. Выключатели напряжением выше 1 кВ.
8. Разъединители, отделители, короткозамыкатели.
9. Изоляторы и шины.
10. Как определить мощность трансформатора?
11. Аппаратура управления и защиты напряжением до 1 кВ.
12. Аппаратура ручного управления.
13. Аппаратура дистанционного и автоматического управления.
14. Выбор аппаратуры напряжением до 1 кВ.
15. Электрические источники света.
16. Осветительные приборы карьеров.
17. Методы расчета электрического освещения.
18. Меры защиты от поражения электрическим током.
19. Контроль изоляции и защитное отключение.
20. Заземление и заземляющие устройства.
21. Расчет заземляющего устройства.
22. Электробезопасность в сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью

Краткие методические указания

Шкала оценки

Критерии оценивания устного ответа (*экзамен)*

Оценка 5 (35-40 баллов) - ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

Оценка 4 (24-34 балла) - ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

Оценка 3 (10-23 балла) – ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать

аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

Оценка 2 (0-9) балла – ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

5.3 Примерные темы для опроса

1. Перечислите основное электрооборудование экскаваторов, буровых станков, транспорта;
2. Объясните конструктивные особенности токоприемных устройств у экскаваторов;
3. Назначение и схемы комплектных распределительных устройств экскаваторов;
4. Каково назначение трансформаторов собственных нужд на экскаваторе?
5. Основные типы ГПП (ОРУ, ЗРУ);
6. Особенности системы глубокого ввода, применяемого в условиях горных предприятий;
7. С какой целью на ГПП карьеров применяют силовые трансформаторы с расщепленными

обмотками

8. Основное назначение и особенности передвижных подстанций и приключательных пунктов;
9. Устройство и отличительные особенности приключательных пунктов для экскаваторов, буровых

станков и других потребителей.

10. Определить расчетный ток нагрузки;
11. Определить условия и место прокладки кабеля;
12. Определить сечения проводников по нагреву;
13. Выбрать сечение кабеля по экономической плотности тока;
14. Выбрать марку кабеля.
15. Расчет электрических нагрузок;
16. Выбор мощности трансформатора на ГПП.
17. Контроль изоляции;
18. Расчет защитного заземления;
19. Расчет защитного зануления и отключения

Краткие методические указания

Шкала оценки

Критерии оценивания устного ответа (*устный опрос)*

10-12 баллов - ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

7-9 балла - ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений,

процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

4-6 балла – ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

0-3 балла – ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

КЛЮЧИ К ОЦЕНОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ»

5.1 Ответы на тестовые задания

Ответы к тесту 1. Введение в дисциплину «Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ». Основные положения в области горного электроснабжения. Основные термины и понятия.

1. б
2. в
3. г
4. а
5. б
6. г
7. б
8. а
9. а4, б1, в2, г3
10. а2, б1, в3, г4
11. а1, б2, в3, г4
12. а1, б3, в4, г2

13. Раскройте основные цели и задачи дисциплины «Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ». В ответе отразите, какие знания и навыки приобретает студент в результате её изучения.

Ответ: Основной целью дисциплины является формирование у будущих горных инженеров комплекса знаний и практических навыков, необходимых для обеспечения эффективного, надежного и безопасного электроснабжения предприятий открытой добычи.

Задачи дисциплины включают:

Теоретическое изучение: принципов построения систем электроснабжения карьеров; устройства, работы и характеристик основного карьерного электрооборудования (экскаваторов, буровых станков, конвейеров); методов расчета электрических нагрузок и выбора аппаратов защиты.

Приобретение практических навыков: чтения схем электроснабжения; выбора рациональных схем питания и размещения подстанций; расчета сечений кабелей; основ проектирования и эксплуатации систем.

Изучение специальных вопросов: обеспечения электробезопасности в специфических условиях карьера; учета влияния внешних факторов (пыль, влага, низкие температуры, перемещение забоя) на работу электрооборудования.
В результате изучения дисциплины студент должен научиться решать инженерные задачи, связанные с обеспечением технологических процессов карьера электроэнергией.

14. Перечислите и охарактеризуйте ключевые факторы, которые принципиально отличают систему электроснабжения открытого горного предприятия (карьера) от системы

электроснабжения стационарного промышленного завода. Дайте краткое пояснение каждому фактору.

Ответ: Система электроснабжения карьера характеризуется рядом специфических факторов:

Подвижность (мобильность) фронта работ: По мере выемки полезного ископаемого фронт работ и основное оборудование (экскаваторы) постоянно перемещаются. Это требует применения гибких, передвижных или часто перекладываемых средств подвода электроэнергии (кабельные линии на барабанах, передвижные подстанции, троллейные сети).

Суровые условия эксплуатации: Оборудование работает под воздействием повышенной запыленности, влаги (осадки, туман), значительных перепадов температур, вибраций и механических воздействий. Это предъявляет повышенные требования к пылевлагозащите (IP), климатическому исполнению и механической прочности электрооборудования.

Высокая концентрация мощных потребителей: В ограниченной площади забоя одновременно работают несколько экскаваторов и другой техники с большой единичной мощностью (до нескольких мегаватт), что создает высокую удельную нагрузку и требует специальных решений для распределения энергии.

Повышенные требования к безопасности: Работа в карьере связана с повышенной опасностью из-за возможности повреждения кабелей тяжелой техникой, обвалов уступов, образования опасных зон. Это делает критически важными системы защитного заземления, автоматического отключения и организационные меры электробезопасности.

Иерархическая и разветвленная структура сети: Система имеет четкую иерархию: внешняя сеть → Главная понизительная подстанция (ГПП) → распределительные сети карьера (напряжением 6-10 кВ) → мощные передвижные потребители → вспомогательные и стационарные потребители (дробильные комплексы, водоотлив, освещение).

Ответы к тесту 2. Защита от поражения электрическим током. Внешнее электроснабжение открытых горных работ. Исполнение горного оборудования. Электрические сети и установки напряжением до 1 кВ и выше 1 кВ. Рудничная аппаратура управления и защиты.

1. в
2. б
3. а
4. б
5. г
6. в
7. б
8. а
9.г
10.в
11. а3, б4, в2, г1
12. а4, б3, в1, г2
13. а3, б4, в1, г2

14. а2, б1, в1, г3
15. а3, б1, в2, г4

16. Опишите комплекс организационных и технических мероприятий по защите персонала от поражения электрическим током при эксплуатации карьерного электрооборудования. В ответе обязательно упомяните не менее трёх технических и двух организационных мер.

Ответ:
Комплекс мероприятий включает:
Технические меры:

Защитное заземление: Преднамеренное соединение металлических нетоковедущих частей оборудования (корпусов, кожухов), которые могут оказаться под напряжением, с заземляющим устройством. Это обеспечивает снижение напряжения прикосновения до безопасного уровня при замыкании фазы на корпус.

Применение малых напряжений (42 В, 12 В): Использование для переносного ручного инструмента и местного освещения в особо опасных условиях (высокая влажность, металлические емкости).

Устройства защитного отключения (УЗО): Установка аппаратов, реагирующих на дифференциальный ток (ток утечки). При опасной утечке тока на землю (например, через тело человека) УЗО мгновенно отключает цепь.
Организационные мери:

Допуск к работе: Проведение инструктажей, обучение, медицинский осмотр и присвоение соответствующей квалификационной группы по электробезопасности.

Оформление работ: Выполнение работ только по наряду-допуску или распоряжению для операций в электроустановках, особенно выше 1000 В.

17. Какие факторы являются определяющими при выборе рациональной схемы и напряжения внешнего электроснабжения карьера? Перечислите и дайте краткое пояснение каждому фактору.

Ответ:
Выбор схемы и напряжения внешнего питания зависит от:

Мощность и категория надежности карьера как потребителя: Мощные карьеры I категории (недопустимость перерыва в питании) требуют двух независимых источников питания или сквозных резервированных линий. Менее мощные карьеры II-III категорий могут питаться по более простым схемам.

Удаленность от энергосистемы и наличие свободных мощностей: Определяет экономическую целесообразность и возможность подключения на том или ином уровне напряжения (35, 110, 220 кВ).

Напряжение существующих сетей в районе: Часто выбор ограничен доступными точками подключения на ближайших подстанциях энергосистемы.

Перспективы развития карьера: Схема должна предусматривать возможность увеличения мощности при углублении карьера или расширении фронта работ.

Природно-климатические условия: Влияют на выбор типа опор и проводов воздушных линий (ВЛ), а также на возможность применения кабельных вставок.

18. Сформулируйте основные требования к конструктивному исполнению электрооборудования, предназначенного для работы в условиях открытого горного производства (карьера). Объясните, чем вызвано каждое требование.

Ответ:
Основные требования обусловлены суровостью карьерной среды:

Повышенная механическая прочность и виброустойчивость: Обусловлена постоянной вибрацией от работающей техники, динамическими нагрузками и возможными ударами.

Высокая степень защиты оболочки от внешних воздействий (IP54/IP65): Необходима для защиты от обильной пыли (ведущая к пробоям и перегреву), атмосферных осадков (дождь, снег) и струй воды при мойке оборудования. Цифра «5» означает пылезащищенность, «4» или «5» — защиту от воды.

Климатическое исполнение для работы на открытом воздухе (У1, ХЛ1): Обеспечивает работоспособность в широком диапазоне температур (от -40°С до +40°С), устойчивость к солнечной радиации, инею, обледенению.

Коррозионная стойкость: Материалы и покрытия должны противостоять агрессивному воздействию влаги, солей, выхлопных газов.

Удобство обслуживания и ремонта в полевых условиях: Наличие легкосъемных крышек, доступных клеммных соединений, модульной конструкции.

Ответы к тесту 3. Электрические сети на карьерах. Электрическое освещение. Особенности электрификации горных предприятий. Энергетические показатели при электрификации горных работ.

1. а
2. в
3. б
4. б
5. г
6. в
7. а
8. б
9. а3, б1, в2, г4
10. а2, б4, в3, г1
11. а2, б4, в3, г1
12. а2, б1, в4, г3

13. Опишите основные требования, предъявляемые к кабельным линиям распределительной сети карьера (напряжением 6-10 кВ). Объясните, чем обусловлено каждое требование спецификой открытых горных работ.

Ответ:
Кабельные линии карьера должны соответствовать ряду жёстких требований:

Механическая прочность и гибкость: Кабели (например, типа КГЭШ) должны выдерживать частые перекладки, натяжение, возможные удары породой, давление шинами тяжёлой техники. Это обусловлено постоянным перемещением фронта работ и самих потребителей (экскаваторов).

Повышенная стойкость изоляции к внешним воздействиям: Изоляция и оболочка должны быть устойчивы к абразивному воздействию пыли, ультрафиолету, осадкам, перепадам температур (от -40°С до +40°С) и возможному воздействию масел и топлива.

Надёжная система защиты и коммутации: Для оперативного подключения, отключения и переключения питающих линий применяются кабельные пункты (КП) или соединительные муфты в пылевлагозащищённом исполнении, позволяющие быстро менять схему питания по мере продвижения забоя.

Безопасность: Конструкция кабеля и способ прокладки (часто открытый, по поверхности) должны минимизировать риск повреждения и последующего поражения персонала электрическим током. Обязательно наличие брони или усиленной шланговой защиты.

14. Перечислите и охарактеризуйте основные системы (виды) освещения, применяемые на открытых горных работах. Укажите назначение каждой системы и типичные места их размещения.

Ответ:
На карьере применяется комплексная система освещения, включающая:

Общее рабочее освещение: Предназначено для создания необходимой освещённости на всей рабочей площади карьера, проездах, отвалах. Обеспечивает безопасность движения транспорта и обзор уступов. Реализуется с помощью мощных прожекторов (с лампами ДНаТ, ДРЛ или светодиодами), установленных на стационарных или передвижных мачтах по периметрам уступов.

Локальное (местное) освещение рабочих мест: Обеспечивает освещение непосредственной зоны работы машины (ковша экскаватора, забоя бурового станка). Создаётся светильниками, установленными непосредственно на корпусе самой машины. Часто используется напряжение 12 или 24 В для безопасности.

Охранное и дежурное освещение: Предназначено для освещения периметра карьера, складов ВМ, подстанций в нерабочее время для обеспечения охраны и безопасности. Может быть менее интенсивным, чем рабочее.

Сигнальное освещение: Служит для обозначения габаритов и траектории движения крупногабаритной техники, ограждения опасных зон (края уступов, ям) с помощью проблесковых маячков, светодиодных ограждений и сигнальных фонарей.

15. Какие основные энергетические показатели используются для анализа и планирования электроснабжения карьера? Дайте определение каждому показателю и поясните его практическое значение для экономичной и надежной эксплуатации электрохозяйства.

Ответ:
Для анализа и планирования используются следующие ключевые показатели:

1. **Установленная мощность (P_уст):** Сумма номинальных мощностей всех электроприёмников, подключённых к сети карьера. Показывает потенциальный максимальный уровень энергопотребления и используется для определения требуемой мощности источника питания (трансформаторов ГПП).
2. **Расчётная (максимальная) нагрузка (P_мах):** Наибольшая из средних нагрузок за наиболее загруженную смену. Является основой для выбора сечения кабелей, мощности трансформаторов и уставок защитных аппаратов. Определяется с учётом коэффициентов спроса (Кс) и одновременности (Кодн) для разных групп потребителей.
3. **Коэффициент мощности (cos φ):** Показывает долю активной мощности в полной потребляемой. Низкий cos φ (менее 0.9-0.95) приводит к перетоку реактивной мощности, потерям в сети и штрафам от энергосбытовой компании. Для его повышения применяют компенсирующие устройства (конденсаторные установки).
4. **Удельный расход электроэнергии (q):** Количество электроэнергии, затрачиваемое на производство единицы продукции (кВт·ч/т, кВт·ч/м³). Это интегральный показатель энергоэффективности предприятия. Снижение удельного расхода — ключевая задача для сокращения себестоимости добычи.

16. Какие практические меры могут быть приняты на карьере для снижения удельного расхода электроэнергии и повышения коэффициента мощности (cos φ)? Приведите примеры для каждого направления.

Ответ:
Для повышения энергоэффективности карьера реализуется комплекс мер:
1. Меры по снижению удельного расхода электроэнергии (q):

- **Оптимизация технологических процессов:** Снижение холостых пробегов и простоев тяжёлой техники (экскаваторов, самосвалов), применение рациональных схем вскрыши и отработки уступов для минимизации дальности транспортировки.
- **Модернизация парка оборудования:** Замена устаревших электродвигателей и механизмов на энергоэффективные (класса IE3, IE4), применение частотно-регулируемых приводов (ЧРП) на насосах, вентиляторах и конвейерах для точного соответствия мощности технологической потребности.
- **Снижение потерь в сетях:** Правильный выбор и поддержание состояния кабельных линий (своевременная замена перегруженных или старых кабелей), оптимизация схем электроснабжения для сокращения длины питающих линий.
- **Учёт и нормирование:** Внедрение системы детального учёта электроэнергии по участкам и типам оборудования, установление обоснованных норм расхода и проведение регулярного энергоаудита.

2. Меры по повышению коэффициента мощности (cos φ):

- **Компенсация реактивной мощности:** Установка статических конденсаторных установок (СКУ) или синхронных компенсаторов на главной понизительной подстанции (ГПП) и у крупных потребителей (например, на драглайнах). Это позволяет генерировать реактивную мощность непосредственно в точке потребления, разгружая от неё сеть.

- **Технологические решения:** Использование синхронных электродвигателей вместо асинхронных, где это технологически оправдано, так как они могут работать с опережающим cos φ.
- **Оперативное управление:** Отключение неиспользуемых трансформаторов и двигателей, работающих вхолостую или с недогрузкой, так как это резко снижает cos φ.

5.2 Ответы к вариантам вопросов к экзамену:

1. Электрооборудование экскаваторов.

Экскаваторы (карьерные, вскрышные, добычные) оснащаются:

- **Высоковольтным комплектным распределительным устройством (КРУ)** на 6(10) кВ: вводной разъединитель, выключатель нагрузки или вакуумный выключатель, трансформаторы тока, защиты.
- **Силовыми трансформаторами** (собственных нужд) для питания цепей 0,4 кВ.
- **Электродвигателями**: главных механизмов (подъём, напор, поворот, ход) – чаще постоянного тока с системой «генератор-двигатель» или частотно-регулируемый привод; вспомогательных – асинхронные.
- **Преобразовательными агрегатами** (для экскаваторов с приводом Г-Д) или **частотными преобразователями**.
- **Центральным токоприёмником** (токосъёмником) для передачи энергии с ходовой части на поворотную платформу.
- **Кабельным барабаном** для гибкого высоковольтного кабеля.
- **Аппаратурой управления, защиты и автоматики**: контроллеры, контакторы, реле, микропроцессорные системы диагностики.

2. Электрооборудование приводов экскаваторов и устройств приема и распределения напряжения на экскаваторе.

Приводы экскаваторов:

- **Система Г–Д (генератор–двигатель):** нерегулируемый привод переменного тока (асинхронный двигатель) вращает генератор постоянного тока, который питает двигатели постоянного тока главных механизмов. Плавное регулирование – изменением тока возбуждения генератора.
- **Частотно-регулируемый привод:** преобразователь частоты с IGBT-транзисторами, питающий асинхронные двигатели с обратной связью по скорости. Обеспечивает энергоэффективность, лучшие динамические характеристики.
- **Тиристорные преобразователи** (на старых моделях).

Устройства приема и распределения напряжения:

- **Вводное устройство** – высоковольтная ячейка с разъединителем, вакуумным выключателем, трансформаторами напряжения и тока.
- **КРУ экскаватора** – шкафы с выкатными элементами, где размещаются ячейки на трансформатор собственных нужд, на преобразовательный агрегат, на вспомогательные двигатели.
- **Секционирование** – позволяет разделять питание главных приводов и вспомогательных механизмов.
- Все элементы снабжены блокировками (механическими, электрическими) для безопасного обслуживания.

3. Электрооборудование буровых станков, водоотливных установок.

Буровые станки (шарошечные, пневмоударные):

- Высоковольтное КРУ (6 кВ) – ввод, защита.
- Трансформатор собственных нужд.

- Электродвигатели: вращателя, подъёмного механизма, компрессора, насосов, вентиляторов.
- Аппаратура управления (контакторы, пускатели, контроллеры), защиты (токовые, тепловые, от замыканий на землю).
- Кабельный барабан.
- Системы автоматизации (поддержание режима бурения, контроль параметров).

Водоотливные установки:

- Насосные агрегаты с асинхронными двигателями (до 1000 кВт и более).
- Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) для питания.
- Аппаратура автоматического управления уровнем воды (поплавковые, электродные датчики), схемы АВР.
- Защита от перегрузки, сухого хода, коротких замыканий.

4. Электрооборудование горно-транспортных машин непрерывного действия.

К ним относятся: **роторные экскаваторы, отвалообразователи, конвейерные системы, дробильно-сортировочные комплексы**.

- **Высоковольтные двигатели** (6–10 кВ) мощностью до нескольких МВт – асинхронные или синхронные.
- **Частотные преобразователи** для плавного пуска и регулирования скорости (особенно для конвейеров).
- **Комплектные распределительные устройства (КРУ)** с вакуумными выключателями, защитами, измерительными приборами.
- **Устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ)** – для повышения коэффициента мощности.
- **Системы автоматизации** – контроллеры, датчики скорости, натяжения, положения, защиты от завалов.
- **Тормозные системы** – электромагнитные, гидравлические, с питанием от независимых источников.

5. Электрические подстанции открытых горных работ.

- **Главные понизительные подстанции (ГПП)** – получают питание 35–220 кВ от энергосистемы, распределяют на 6–10 кВ по карьеру. Выполняются с открытыми (ОРУ) или закрытыми (ЗРУ) распределительными устройствами, часто с двумя трансформаторами.
- **Передвижные подстанции (ППС)** – понижают 6–35 кВ до 0,4–6 кВ, перемещаются вслед за фронтом работ. Монтируются на лыжах, колёсных тележках.
- **Приключательные пункты (ПП)** – без трансформации, служат для подключения передвижных потребителей, содержат коммутационные аппараты и защиты.
- **Комплектные трансформаторные подстанции (КТП)** – для питания стационарных и полустационарных потребителей (освещение, насосы, ремонтные мастерские).

6. Силовые трансформаторы.

На горных предприятиях применяются масляные и сухие трансформаторы.

Основные типы:

- **С естественным масляным охлаждением (М)** – для ГПП, ППС.
- **С принудительной циркуляцией воздуха и масла (ДЦ)** – для мощных трансформаторов.
- **Сухие (с литой изоляцией)** – для взрывоопасных зон, передвижных подстанций (безопасны, пожаробезопасны).

Особенности:

- На ГПП карьеров часто применяют трансформаторы с **расщеплёнными обмотками НН** – для ограничения токов КЗ и снижения взаимовлияния секций.
- Трансформаторы передвижных подстанций выполняются с повышенной механической прочностью, часто с устройствами для переключения без возбуждения (ПБВ) в широком диапазоне.

7. Выключатели напряжением выше 1 кВ.
- **Масляные** – устаревают, но встречаются в старых ГПП.
- **Вакуумные** – наиболее распространены в карьерных КРУ и ППС (взрывобезопасны, высокий ресурс, малые габариты).
- **Элегазовые (SF_6)** – используются в КРУЭ и на подстанциях высокого напряжения (35–220 кВ) благодаря компактности и надёжности.
- **Нагрузки (ВН)** – часто применяются в приключательных пунктах для управления и защиты в комплексе с предохранителями.

8. Разъединители, отделители, короткозамыкатели.
- **Разъединители** – создают видимый разрыв цепи, не предназначены для отключения токов нагрузки (кроме разъединителей с дугогасительными камерами). В карьерных КРУ используются внутренней и наружной установки.
- **Отделители** – автоматические разъединители, отключаются при срабатывании защиты совместно с короткозамыкателем.
- **Короткозамыкатели** – искусственно создают КЗ для ускорения срабатывания защиты на питающей подстанции. Применяются на тупиковых линиях, например, на воздушных линиях 35–110 кВ

9. Изоляторы и шины.
- **Изоляторы** – опорные, проходные, штыревые. Для наружной установки (ОРУ) – фарфоровые или полимерные, стойкие к загрязнению, пыли и осадкам. Для внутренней – фарфоровые или эпоксидные.
- **Шины** – медные или алюминиевые. На ГПП и КРУ – прямоугольные или коробчатого сечения (для больших токов). На карьерных подстанциях часто применяются гибкие шины (провода АС, АСКС) для соединения трансформаторов с ОРУ.
- Особое внимание уделяется защите от пыли, влаги и механических повреждений (антикоррозийные покрытия, закрытые шинопроводы).

10. Как определить мощность трансформатора?

Мощность трансформатора выбирается исходя из расчётной нагрузки и условий резервирования:

1. **Расчётная полная мощность** $S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2}$, где $P_{\text{р}}$ – расчётная активная нагрузка (с учётом коэффициента спроса, разновременности), $Q_{\text{р}}$ – реактивная (с учётом компенсации).
2. Для двухтрансформаторной ГПП: $S_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{р}}}{2 \cdot \beta_{\text{н}}}$, где $\beta_{\text{н}}$ – коэффициент загрузки в нормальном режиме (0,65–0,7).
3. Проверка в аварийном режиме: $S_{\text{р,ав}} \le K_{\text{пер}} \cdot S_{\text{тр}}$ ($K_{\text{пер}} \approx$ 1,4 для масляных трансформаторов).
4. Учитывается перспектива развития горных работ (10–20% запаса).

Для одиночного мощного потребителя (экскаватор, дробилка) мощность трансформатора принимается равной номинальной мощности потребителя с учётом пусковых режимов.

11. Аппаратура управления и защиты напряжением до 1 кВ.

- **Автоматические выключатели** – для защиты от КЗ и перегрузок. Используются модульные (до 125 А) и универсальные (до 6300 А) с полупроводниковыми расцепителями.
- **Предохранители** – плавкие (НПН, ПН-2, ППН) для защиты цепей.
- **Магнитные пускатели** – для дистанционного пуска и остановки асинхронных двигателей, с тепловыми реле.
- **Контакторы** – для коммутации силовых цепей (постоянного и переменного тока).
- **Реле** – промежуточные, времени, тепловые, контроля фаз, напряжения.
- **Устройства плавного пуска (УПП)** – для ограничения пусковых токов.

12. Аппаратура ручного управления.

- **Кнопочные посты** – «Пуск», «Стоп», «Аварийный стоп» (с грибовидной кнопкой).
- **Командоконтроллеры** – для управления электроприводами (например, подъёмом экскаватора).
- **Пакетные выключатели, переключатели** – для выбора режимов, ручного включения/отключения.
- **Рубильники** – для создания видимого разрыва (с дугогасительными камерами или без).
- В горной промышленности аппаратура ручного управления выполняется в пыле- и влагозащищённом исполнении (IP54, IP65), часто с блокировками от случайного включения.

13. Аппаратура дистанционного и автоматического управления.

- **Промышленные контроллеры (ПЛК)** – центральное звено автоматизации.
- **Датчики** – положения (концевые выключатели, бесконтактные датчики), давления, температуры, уровня, тока, скорости.
- **Частотные преобразователи** – управление скоростью двигателей с обратной связью.
- **Программно-логические реле** – для несложных алгоритмов.
- **Системы телемеханики** – для диспетчеризации и управления удалёнными объектами (насосные станции, конвейеры).
- Все устройства объединяются в сети (RS-485, Profibus, Ethernet) с выводом на АРМ оператора.

14. Выбор аппаратуры напряжением до 1 кВ.

Выполняется по следующим условиям:

1. **По номинальному напряжению:** $U_{\text{ном.ап}} \geq U_{\text{сети}}$.
2. **По номинальному току:** $I_{\text{ном.ап}} \geq I_{\text{р}}$ (с учётом поправочных коэффициентов на температуру, режим работы).
3. **По отключающей способности:** предельный коммутируемый ток аппарата должен быть не менее расчётного тока КЗ в месте установки.
4. **По электродинамической и термической стойкости** (для автоматов, предохранителей) – проверяется по паспортным данным.
5. **По условиям окружающей среды:** степень защиты IP, климатическое исполнение (У, ХЛ, Т), взрывозащита (при необходимости).
6. **По надёжности и селективности:** согласование времятоковых характеристик с вышестоящей защитой.

15. Электрические источники света.

- **Лампы накаливания** – ограниченно применяются (освещение местного, дежурное) из-за низкой эффективности.
- **Галогенные лампы** – улучшенные лампы накаливания.
- **Люминесцентные лампы** – для закрытых помещений, административных зданий.
- **Дуговые ртутные лампы высокого давления (ДРЛ)** – ранее широко использовались для наружного освещения карьеров, сейчас вытесняются.
- **Металлогалогенные (ДРИ)** – высокое качество цветопередачи, применяются на промышленных площадках.
- **Натриевые лампы высокого давления (ДНаТ)** – наиболее эффективны для наружного освещения (золотисто-жёлтый свет).
- **Светодиодные (LED) светильники** – современный стандарт: высокая энергоэффективность, долговечность, вибростойкость, управляемый спектр.

16. Осветительные приборы карьеров.

Для освещения карьеров используются:

- **Прожекторы** – с лампами ДНаТ, ДРИ или LED. Устанавливаются на мачтах, эстакадах, навесах экскаваторов, буровых станков. Обеспечивают дальний свет (до 100–200 м).
- **Светильники общего освещения** – на подстанциях, в мастерских, на складах.
- **Переносные светильники** – напряжением 12–36 В для ремонтных работ.
- **Осветительные установки на передвижных опорах** – для освещения текущих участков горных работ.
- **Системы автоматического управления освещением** – по графику, от датчиков освещённости, с телемеханическим управлением.

17. Методы расчета электрического освещения.

Основные методы:

- **Метод коэффициента использования светового потока** – для расчёта равномерного общего освещения. Определяется требуемый световой поток одной лампы:

$$\Phi_{л} = \frac{E_{н} \cdot S \cdot k_{з} \cdot z}{N \cdot \eta}$$

где $E_{н}$ – нормированная освещённость, S – площадь, $k_{з}$ – коэффициент запаса, z – коэффициент неравномерности, N – число ламп, η – коэффициент использования.

- **Точечный метод** – для локализованного освещения и проверки освещённости в контрольных точках. Используется для прожекторного освещения карьеров.
- **Метод удельной мощности** – для приближённых расчётов.
- Для наружного освещения карьеров расчёт ведётся с учётом высоты установки прожекторов, угла наклона, светораспределения и требуемой освещённости горных выработок.

18. Меры защиты от поражения электрическим током.

Основные защитные меры по ПУЭ и ПТЭЭП:

- **Изоляция токоведущих частей** (рабочая, дополнительная, усиленная).
- **Защитное заземление** – для электроустановок с изолированной нейтралью.
- **Защитное зануление** – для сетей с глухозаземлённой нейтралью до 1 кВ.
- **Защитное отключение (УЗО)** – при появлении дифференциального тока утечки.
- **Применение сверхнизкого напряжения** (12, 36, 42 В) для переносного инструмента, местного освещения.
- **Двойная изоляция** электроинструмента.
- **Ограждение, блокировки, знаки безопасности**.

- **Организационные меры** (допуски, наряды-допуски, обучение, проверка знаний).

19. Контроль изоляции и защитное отключение.

Контроль изоляции:

- В сетях 6–10 кВ с изолированной нейтралью – **постоянный автоматический контроль** (УКИ), который измеряет сопротивление изоляции относительно земли и сигнализирует о снижении.
- В сетях до 1 кВ – периодическое измерение мегаомметром (1000 В) не реже 1 раза в год.
- Для передвижных машин – контроль целостности экранирующей оболочки кабеля и цепи заземления.

Защитное отключение (УЗО):

- Реагирует на дифференциальный ток (ток утечки). Расчёт: $I_{\Delta n} \le \frac{U_{\text{пр,доп}}}{R_{\text{з}}}$, где $U_{\text{пр,доп}}$ – допустимое напряжение прикосновения (обычно 12–50 В), $R_{\text{з}}$ – сопротивление заземления.
- В карьерных условиях УЗО обязательно для сетей 380/220 В, питающих передвижные и переносные токоприёмники.

20. Заземление и заземляющие устройства.

Заземление – преднамеренное электрическое соединение частей электроустановки с заземляющим устройством.

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Типы заземления:

- **Рабочее** – для работы нейтрали трансформатора.
- **Защитное** – для безопасности.

Особенности карьерных заземлений:

- Общая сеть заземления объединяет все подстанции, передвижные объекты и стационарное оборудование.
- Используются **стальные полосы**, **грозотросы** ВЛ, **естественные заземлители** (металлоконструкции, обсадные трубы).
- Для передвижных машин – гибкий заземляющий проводник в составе кабеля, контроль его целостности.
- Сопротивление заземляющего устройства для установок выше 1 кВ с изолированной нейтралью: $R \le \frac{250}{I_{\text{з}}}$, но не более 10 Ом.

21. Расчет заземляющего устройства.

Цель – обеспечить допустимое сопротивление заземлителя и безопасное напряжение прикосновения.

Порядок:

1. Определить требуемое сопротивление $R_{\text{з}}$ по нормам.
2. Выбрать тип заземлителя (вертикальные электроды из уголка/трубы, горизонтальные полосы).
3. Рассчитать сопротивление одиночного вертикального электрода с учётом удельного сопротивления грунта ρ и сезонного коэффициента ψ.
4. Определить необходимое количество вертикальных электродов с учётом коэффициента использования $\eta_{\text{в}}$.
5. Рассчитать сопротивление горизонтальной соединительной полосы и общее сопротивление сложного заземлителя.
6. При необходимости выполнить проверку по напряжению прикосновения (для подстанций) или принять меры по выравниванию потенциалов.

Для карьерных условий часто используют **контур заземления** (замкнутый) и дополнительное **выравнивание потенциалов** на передвижных объектах.

22. Электробезопасность в сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью

Параметр	Сеть с изолированной нейтралью (6–35 кВ)	Сеть с глухозаземлённой нейтралью (до 1 кВ)
Поведение при замыкании на землю	Ток замыкания мал (ёмкостный), дуга может быть неустойчивой. Напряжение неповреждённых фаз относительно земли возрастает до линейного.	Однофазное КЗ → большой ток, автоматическое отключение.
Защита	Защита от замыканий на землю (ЗЗЗ) – действует на сигнал или отключение при устойчивом замыкании. Контроль изоляции.	Защита автоматическими выключателями, УЗО.
Условия безопасности	Прикосновение к одной фазе менее опасно, т.к. ток через человека ограничен сопротивлением изоляции сети.	Прикосновение к фазе опасно, но повреждённое оборудование быстро отключается за счёт максимальной токовой защиты.
Применение в карьерах	Сети 6–10 кВ для питания экскаваторов, буровых, передвижных подстанций.	Сети 0,4 кВ для освещения, вспомогательных механизмов, бытовых нужд.

В карьерных условиях для высоковольтных сетей используется **изолированная нейтраль** с постоянным контролем изоляции, что позволяет продолжать работу при первом замыкании на землю (до устранения). Для сетей 0,4 кВ – глухозаземлённая нейтраль с обязательным применением УЗО и систем уравнивания потенциалов.

5.3 Ответы на вопросы (опрос):

1. Перечислите основное электрооборудование экскаваторов, буровых станков, транспорта;

Экскаваторы (шагающие, гидравлические, роторные):

Высоковольтное оборудование: ячейка ввода (с разъединителем, вакуумным выключателем), силовой трансформатор (собственных нужд), преобразовательный агрегат (для приводов постоянного тока или частотного регулирования), комплектное распределительное устройство (КРУ) 6(10) кВ.

Электродвигатели: главного привода (подъёма, напора, поворота), ходового механизма, вспомогательных механизмов (вентиляторы, насосы).

Аппаратура управления: контроллеры, контакторы, пускатели, устройства плавного пуска, системы автоматического управления (САУ).

Вспомогательное оборудование: кабельный барабан, токоприёмник, освещение, системы сигнализации и блокировки.

Буровые станки (шарошечные, пневмоударные):

Трансформатор собственных нужд, КРУ, пускорегулирующая аппаратура.

Электродвигатели вращателя, подъёмного механизма, компрессора, насосов, вентиляторов.

Системы автоматики, защиты от перегрузок, контроля изоляции.

Карьерный транспорт (электродумпкары, конвейеры, железнодорожный транспорт):

Для автосамосвалов (на дизель-электрическом ходу): тяговый генератор, тяговые двигатели, системы управления.

Для конвейеров: высоковольтные двигатели, станции управления с УКРМ (установки компенсации реактивной мощности), тормозные системы.

Для железнодорожного транспорта: тяговые подстанции, контактная сеть, электровозы с тяговыми двигателями, пускорегулирующая аппаратура.

2. Объясните конструктивные особенности токоприемных устройств у экскаваторов;

Токоприёмные устройства служат для передачи электроэнергии с передвижной кабельной линии на поворотную платформу экскаватора.

Основные конструктивные особенности:

Центральный токоприёмник (токосъёмник) размещается в центре поворотной платформы и обеспечивает непрерывную передачу питания от неподвижной рамы ходовой части к поворотной платформе.

Состоит из токопроводящих колец (шин) и щёткодержателей со щётками. Количество колец соответствует числу фаз и нулевой жилы (обычно 3–4 кольца для 6(10) кВ + контрольные цепи).

Кольца изготавливаются из меди или латуни, изолированы друг от друга и от корпуса.

Щётки – графитовые или медно-графитовые, прижаты пружинами для надёжного контакта.

Конструкция предусматривает пыле- и влагозащиту (корпус токоприёмника герметичен), так как работа идёт в условиях карьерной пыли, осадков, вибрации.

Для напряжения выше 1 кВ применяются токоприёмники с повышенным классом изоляции, часто с воздушным или масляным барьером между кольцами.

У современных экскаваторов (на 6–10 кВ) токоприёмник встраивается в модуль КРУ и оснащается блокировками (например, исключающими подъём токоприёмника при включённом разъединителе).

3. Назначение и схемы комплектных распределительных устройств экскаваторов;

Назначение КРУ экскаватора:

Приём и распределение электроэнергии 6(10) кВ.

Защита отходящих линий и электродвигателей от коротких замыканий и перегрузок.

Оперативное управление и автоматизация.

Обеспечение безопасного обслуживания (блокировки, заземление).

Типовые схемы КРУ:

Схема «ввод – секционирование – отходящие линии»: ячейка ввода (разъединитель, выключатель нагрузки или вакуумный выключатель), секционный разъединитель, ячейки на трансформаторы собственных нужд, двигатели (главных приводов, вспомогательных).

Для экскаваторов с двумя двигателями главного привода (например, подъёма и напора) часто применяется двухдвигательный электропривод с раздельными ячейками.

Используются блочные КРУ – все элементы (выключатели, разъединители, трансформаторы тока, защиты) смонтированы в металлическом шкафу.

В современных КРУ применяются вакуумные выключатели и микропроцессорные терминалы защиты (токовые, дифференциальные, защиты от замыканий на землю).

Обязательно наличие устройства для присоединения переносного заземления и блокировки от включения разъединителя при включённом выключателе.

4. Каково назначение трансформаторов собственных нужд на экскаваторе?

Трансформаторы собственных нужд (ТСН) предназначены для питания цепей управления, освещения, вентиляции, систем охлаждения, вспомогательных механизмов (маслостанции, насосы) и зарядных устройств напряжением до 1 кВ.

Особенности:

Устанавливаются после вводного КРУ (на стороне 6–10 кВ).

Чаще всего сухие (или с негорючим жидким диэлектриком) – безопасность при эксплуатации.

Мощность ТСН обычно составляет 20–160 кВА в зависимости от класса экскаватора.

Обеспечивают гальваническую развязку цепей управления от силовой сети.

Часто выполняются с двумя обмотками низшего напряжения (380/220 В) для раздельного питания силовых и осветительных/управляющих цепей.

В современных схемах ТСН может быть два (основной и резервный) с автоматическим вводом резерва (АВР).

5. Основные типы ГПП (ОРУ, ЗРУ);

Главная понизительная подстанция (ГПП) – центральный узел питания горного предприятия.

ОРУ (открытое распределительное устройство) – применяется при больших площадях, когда нет ограничений по атмосферным воздействиям, для напряжения 110–220 кВ и выше. Оборудование (разъединители, выключатели, трансформаторы тока и напряжения) монтируется на открытых площадках. Достоинства: наглядность, удобство расширения, меньшая стоимость строительства. Недостатки: зависимость от погоды, большая площадь.

ЗРУ (закрытое распределительное устройство) – размещается в здании или в модульных блоках. Применяется для напряжений 6–35 кВ, а также на высоких напряжениях в условиях стеснённой территории, сурового климата, повышенных требований к безопасности. Достоинства: защита от атмосферных воздействий, меньшие габариты (при использовании элегазовых или вакуумных КРУ). Недостатки: более высокая стоимость здания.

КРУЭ (комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией) – компактный, герметичный, требует минимального обслуживания, используется при ограниченной площади и для особо ответственных потребителей.

6. Особенности системы глубокого ввода, применяемого в условиях горных предприятий;

Система глубокого ввода – питание от энергосистемы напряжением 35–220 кВ непосредственно до ГПП карьера (без промежуточных трансформаций) с последующим распределением на напряжении 6–10 кВ по карьеру.

Особенности:

Сокращение числа ступеней трансформации (повышение надёжности и снижение потерь).

Применение воздушных линий (ВЛ) на металлических или железобетонных опорах, часто с использованием грозозащитных тросов из-за большой протяжённости и грозовой активности.

Для скальных грунтов – использование кабельных линий в траншеях с защитой от механических повреждений (бетонные плиты, трубы).

На карьерах с большой глубиной применяют глубокие вводы с гибкими кабельными линиями (например, кабели с броней и наружным шлангом), укладываемые по уступам с компенсацией температурных удлинений.

Обязательное секционирование (для локализации аварий) и устройство АВР на ГПП.

Система глубокого ввода часто совмещается с передвижными подстанциями для поэтапного развития горных работ.

7. С какой целью на ГПП карьеров применяют силовые трансформаторы с расщепленными обмотками

Расщепление обмоток низшего напряжения (НН) выполняется для:

Ограничения токов короткого замыкания (КЗ) на стороне 6–10 кВ. За счёт увеличения сопротивления трансформатора между расщеплёнными обмотками ток КЗ снижается, что позволяет использовать более дешёвое коммутационное оборудование с меньшей отключающей способностью.

Снижения взаимного влияния секций – при КЗ на одной секции провал напряжения на другой секции уменьшается, что повышает устойчивость работы соседних потребителей (особенно важно для экскаваторов и конвейеров).

Повышения надёжности – две независимые обмотки НН позволяют питать разные группы потребителей (например, отдельно восточный и западный борта карьера) с минимальным взаимовлиянием.

Упрощения схемы РУНН – отпадает необходимость в секционном реакторе.

Обычно применяются трансформаторы с расщеплением обмоток НН на две или три ветви (например, 2×6,3 МВА, 3×4 МВА).

8. Основное назначение и особенности передвижных подстанций и приключательных пунктов;

Передвижные подстанции (ППС):

Предназначены для понижения напряжения (6–35 кВ до 0,4–6 кВ) и питания потребителей непосредственно в зоне ведения горных работ.

Монтируются на лыжах, полозьях, колёсных или гусеничных платформах, позволяя перемещать их вслед за фронтом работ.

Особенности: повышенная механическая прочность, защита от пыли и влаги (IP54 и выше), наличие устройств для присоединения гибких кабелей, встроенная автоматика (АВР, защита), часто сухие трансформаторы или трансформаторы с негорючим диэлектриком.

Приключательные пункты (ПП):

Служат для присоединения передвижных потребителей (экскаваторов, буровых станков, дробилок) к распределительной сети 6–10 кВ, а также для защиты и управления.

Не содержат трансформатора, только коммутационные аппараты (разъединители, выключатели нагрузки, предохранители), устройства защиты и учёта.

Особенности: передвижное исполнение (на санях, раме), герметичное исполнение, наличие высоковольтных вводов и выводов для гибких кабелей, блокировки безопасности.

9. Устройство и отличительные особенности приключательных пунктов для экскаваторов, буровыхстанков и других потребителей.

Общее устройство:

Металлический шкаф (или несколько шкафов) на полозьях.

Вводной разъединитель с заземляющими ножами (обеспечивает видимый разрыв).

Выключатель нагрузки (или вакуумный выключатель) с предохранителями (или без) для защиты.

Трансформаторы тока, вольтметровый переключатель, счётчики.

Устройства релейной защиты (максимальная токовая, защита от замыканий на землю, блокировка при опрокидывании).

Клеммные коробки для подключения гибких кабелей.

Отличия для разных потребителей:

Для экскаваторов (мощные, часто с преобразовательными агрегатами): предусматривается более высокая отключающая способность, защита от перенапряжений, иногда дифференциальная защита кабельной линии. Конструкция рассчитана на частые перемещения (усиленные вводы для кабеля).

Для буровых станков (менее мощные): часто используются ПП с предохранителями и выключателем нагрузки, компактное исполнение, упрощённая защита.

Для конвейеров, насосных станций (стационарные потребители): ПП могут не иметь передвижного исполнения, но используются в блочном исполнении (БКТП – комплектная трансформаторная подстанция) с трансформатором.

Для передвижных дробильно-сортировочных установок: ПП оснащаются устройствами компенсации реактивной мощности, так как у дробилок высокие пусковые токи.

10. Определить расчетный ток нагрузки;

Расчётный ток нагрузки определяется для выбора сечения проводников, аппаратов защиты и оценки потерь.

Формулы:

- Для трёхфазной сети:

$$I_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi}$$

- Для однофазной сети:

$$I_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}}}{U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi}$$

Порядок:

1. Собрать расчётную активную мощность $P_{\text{р}}$ (с учётом коэффициентов использования, спроса, загрузки).
2. Принять номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$ и средний коэффициент мощности $\cos\varphi$ (для экскаваторов – 0,85–0,9; для буровых – 0,7–0,8; для конвейеров – 0,8–0,85).
3. Вычислить расчётный ток. Для группы потребителей – суммирование токов с учётом разновременности максимумов.

11. Определить условия и место прокладки кабеля;

Условия прокладки зависят от:

- Категории помещения (сухое, влажное, взрывоопасное, пожароопасное).
- Способа прокладки (в земле, в лотках, по эстакадам, по стенам, внутри оборудования).
- Наличия механических воздействий (вибрация, удары, растяжение – особенно для гибких кабелей экскаваторов).
- Климатических факторов (температура, влажность, УФ-излучение, агрессивные среды).

Место прокладки для карьерных сетей:

- **Кабели 6–10 кВ** – прокладываются в траншеях на глубине 0,7–1,2 м с подсыпкой песка, присыпкой кирпичом или бетонными плитами для защиты от механических повреждений; на поверхности (на уступах) – в лотках или на эстакадах.
- **Гибкие кабели экскаваторов, буровых** – на поверхности, с защитой от перегибов, натяжения и наезда техники (используются кабельные барабаны, роликовые опоры).
- **Внутри зданий** – в кабельных каналах, лотках, трубах, по стенам с креплением.

12. Определить сечения проводников по нагреву;

Выбор сечения по нагреву (длительно допустимому току) выполняется по условию:

$$I_{\text{р}} \leq I_{\text{доп}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \ldots$$

где:

- $I_{\text{доп}}$ – табличное значение длительно допустимого тока для данного сечения, материала жил, изоляции и способа прокладки (по ПУЭ, табл. 1.3.4–1.3.12).
- k_1 – поправочный коэффициент на температуру среды.
- k_2 – коэффициент на количество совместно проложенных кабелей (снижение токовой нагрузки при групповой прокладке).
- Дополнительные коэффициенты: на режим работы (повторно-кратковременный), на высоту над уровнем моря и т.д.

Сечение выбирается так, чтобы после применения всех поправочных коэффициентов допустимый ток был не менее расчётного.

13.Выбрать сечение кабеля по экономической плотности тока;

Экономически целесообразное сечение определяется по формуле:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{р}}}{j_{\text{эк}}}$$

где $j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока (А/мм²), выбирается по ПУЭ в зависимости от материала жилы, изоляции, числа часов использования максимума нагрузки $T_{\text{м}}$.

Примерные значения $j_{\text{эк}}$ (для кабелей с бумажной изоляцией и резиновой/пластмассовой):

- При $T_{\text{м}} \leq 3000$ ч – 2,5 А/мм² (медь), 1,8 А/мм² (алюминий).
- При $T_{\text{м}}$ от 3000 до 5000 ч – 2,1 и 1,5 соответственно.
- При $T_{\text{м}} > 5000$ ч – 1,8 и 1,3.

Выбранное сечение округляется до ближайшего стандартного и проверяется по нагреву и термической стойкости. Экономическая плотность тока применяется для кабелей, работающих более года, и для сетей напряжением до 35 кВ.

14. Выбрать марку кабеля.

Выбор марки зависит от условий прокладки и напряжения:

- **Для стационарной прокладки в земле, каналах, по стенам:**
  - **ВВГ, ВВГнг** – с медными жилами, изоляция из ПВХ, оболочка ПВХ, не распространяющий горение.
  - **АВВГ** – с алюминиевыми жилами.
  - **ААБл, АСБл** – с алюминиевыми жилами, бумажная изоляция, броня из стальных лент, подушка из битума (для прокладки в земле с повышенными требованиями).
- **Для гибких передвижных кабелей (экскаваторы, буровые):**
  - **КГЭ, КГШ, КГ-ХЛ** – медные жилы, резиновая изоляция, резиновая оболочка, гибкие, маслобензостойкие, с защитным шлангом.
  - **КГВВ** – с изоляцией из ПВХ, для менее жёстких условий.
- **Для высоковольтных передвижных (6–10 кВ):**
  - **КГЭ-ХЛ, КГШ** – с экранированием, для открытых горных работ.
- **Для особо тяжёлых условий (вибрация, натяжение):** кабели с усиленной броней и гибкой конструкцией (например, КГШЭ).

15. Расчет электрических нагрузок;

Цель – определение расчётной нагрузки для выбора трансформаторов, сечений линий, компенсирующих устройств.

Методы:

- **Метод коэффициента спроса** (для групп однотипных потребителей):

$$P_{\text{р}} = K_{\text{с}} \cdot \sum P_{\text{ном}}$$
$$Q_{\text{р}} = P_{\text{р}} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$
$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2}$$

- **Метод установленной мощности и коэффициента использования** – более точный, используется для ответственных узлов.
- **Для одиночных мощных потребителей** (экскаватор, дробилка) – нагрузка принимается равной номинальной с учётом пусковых токов и режима работы (ПВ – продолжительность включения).
- **Для карьерных сетей** учитываются:
  - Разновременность максимумов нагрузок отдельных участков.
  - Коэффициенты участия в максимуме (для передвижных подстанций).
  - Осветительная нагрузка (обычно 0,5–1% от силовой).

16. Выбор мощности трансформатора на ГПП.

Выбор трансформаторов ГПП производится по расчётной нагрузке с учётом:

- Категории надёжности электроснабжения (обычно для карьеров – первая и вторая категории, требуется двухтрансформаторная ГПП с АВР).
- Допустимой перегрузки в аварийном режиме (до 40% на время максимума, но не более 6 ч в сутки).
- Коэффициента загрузки в нормальном режиме: для двухтрансформаторной подстанции $\beta \approx 0{,}65–0{,}7$, чтобы обеспечить резервирование.

Формула:

$$S_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{р}}}{n \cdot \beta_{\text{н}}}$$

где n – количество трансформаторов (2), $\beta_{\text{н}}$ – коэффициент загрузки в нормальном режиме (0,7).

Проверка:

- В аварийном режиме (отключение одного трансформатора) оставшийся должен выдержать нагрузку с учётом допустимой перегрузки:

$$S_{\text{р,ав}} \le K_{\text{пер}} \cdot S_{\text{тр}}$$

$K_{\text{пер}}$ – коэффициент допустимой аварийной перегрузки (обычно 1,4).

- Также учитывается перспектива развития горных работ (запас 10–20%).

17. Контроль изоляции;

Контроль изоляции в карьерных сетях 6–10 кВ выполняется для предотвращения замыканий на землю и обеспечения безопасности.

Методы:

- **Периодические испытания повышенным напряжением:** мегаомметром (2500 В или 5000 В) измеряют сопротивление изоляции (норма – не менее 10–50 МОм в зависимости от типа оборудования).
- **Оперативный контроль:**
  - Устройства постоянного контроля изоляции (УКИ) – работают на принципе наложения постоянного тока, измеряют сопротивление изоляции сети относительно земли.
  - Вольтметровый контроль (три вольтметра с переключением) – по симметрии фазных напряжений определяют наличие замыкания.
- **Для гибких кабелей** – контроль целостности экрана (для экранированных кабелей) и контроль симметрии токов утечки.
- **Для электроустановок до 1000 В** – применяются устройства защитного отключения (УЗО) и периодическое измерение сопротивления изоляции мегаомметром на 1000 В.

18. Расчет защитного заземления;

Цель – обеспечение допустимого напряжения прикосновения и шага, а также отвод тока замыкания на землю.

Порядок расчёта (для карьерного оборудования и подстанций):

1. Определить допустимое сопротивление заземляющего устройства $R_з$:
   - Для установок выше 1 кВ с изолированной нейтралью: $R_з \le \frac{250}{I_з}$ (но не более 10 Ом). При $I_з$ (ток замыкания на землю) обычно до 20–50 А, получаем $R_з \le$ 5–10 Ом.
   - Для установок до 1 кВ с глухозаземлённой нейтралью: $R_з \le 4$ Ом (при мощности трансформатора >100 кВА).
2. Рассчитать сопротивление одиночного заземлителя (вертикального электрода) по формуле для многослойного грунта (с учётом сезонного коэффициента ψ).
3. Определить необходимое количество вертикальных электродов с учётом коэффициента использования η (для горизонтальных соединительных полос).
4. Выполнить проверку по допустимому напряжению прикосновения (для сложных заземлителей) – для карьерных сетей обычно строят выносные заземляющие контуры.

Особенности карьеров:

- Объединение заземляющих устройств всех подстанций и передвижных объектов в общую сеть с помощью **заземляющих магистралей** (стальные полосы, тросы).
- Использование естественных заземлителей (металлические конструкции, обсадные трубы скважин).

19. Расчет защитного зануления и отключения.

Защитное зануление применяется в сетях до 1000 В с глухозаземлённой нейтралью. Цель – обеспечить автоматическое отключение повреждённого участка при замыкании на корпус путём превращения замыкания в однофазное короткое замыкание.

Расчёт:

- Обеспечить ток однофазного КЗ $I_к^{(1)}$ не менее трёхкратного номинального тока плавкой вставки предохранителя или не менее 1,25–1,4 кратного тока срабатывания автоматического выключателя (в зависимости от характеристики).
- Сопротивление петли «фаза – нуль» $Z_п$ определяется как:

$$Z_{\text{п}} = \sqrt{\left(R_{\text{ф}} + R_{\text{н}}\right)^2 + \left(X_{\text{ф}} + X_{\text{н}}\right)^2}$$

где $R_{\text{ф}}$,$R_{\text{н}}$ – активные сопротивления фазного и нулевого защитного проводников; $X_{\text{ф}}$,$X_{\text{н}}$ – их индуктивные сопротивления.

- Ток однофазного КЗ:

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ф}}}{Z_{\text{тр}} + Z_{\text{п}}}$$

где $Z_{\text{тр}}$ – полное сопротивление трансформатора току однофазного КЗ (берётся из справочных данных).

- Проверяется кратность тока:

$$I_{\text{к}}^{(1)} \geq k \cdot I_{\text{н,ап}}$$

k – коэффициент (для предохранителей – 3; для автоматов с тепловым расцепителем – 3; с электромагнитным – 1,25–1,4).

Защитное отключение – дополнение к занулению, применяется когда не удаётся обеспечить требуемые кратности тока КЗ или для повышения безопасности. Расчёт сводится к выбору УЗО по дифференциальному току срабатывания:

$$I_{\Delta n} \leq \frac{U_{\text{пр,доп}}}{R_{\text{з}}}$$

где $U_{\text{пр,доп}}$ – допустимое напряжение прикосновения (обычно 12–50 В), $R_{\text{з}}$ – сопротивление заземления корпуса.

В карьерных условиях часто используются комбинированные системы: зануление на ГПП и УЗО на передвижных объектах.