

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ухтинский государственный технический университет»
(УГТУ)

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Методические указания
для выполнения расчётно-графической работы
студентов очной формы обучения
направления 20.03.01 Техносферная безопасность

Ухта
УГТУ
2022

УДК 614.8(075.8)

ББК 68.9 я7

П 50

Поликарпова, М. В.

П 50 Производственная безопасность : методические указания для выполнения расчётно-графической работы студентов очной формы обучения направления 20.03.01 Техносферная безопасность / М. В. Поликарпова. – Ухта : Изд-во УГТУ, 2022. – 26 с. – Текст : электронный.

Методические указания для выполнения расчётно-графической работы студентов очной формы обучения направления 20.03.01 Техносферная безопасность. Чётко поставлена цель и задачи выполнения, требования к содержанию и оформлению, список рекомендуемой литературы.

УДК 614.8(075.8)

ББК 68.9 я7

Методические указания рассмотрены и одобрены заседанием кафедры промышленной безопасности и охраны окружающей среды от 25.04.2022, протокол № 10.

Рецензент: Т. В. Грунковой, доцент кафедры ПБиООС Ухтинского государственного технического университета.

Редактор: К. С. Тихомирова, ассистент кафедры ПБиООС Ухтинского государственного технического университета.

Методические указания подготовлены в авторской редакции с минимальными правками.

План 2022 г. Позиция 117.

Компьютерный набор.

Объём 26 с. Заказ № 371.

© Ухтинский государственный технический университет, 2022
169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
2. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	5
3. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
4. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	9
5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ..	10
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	25

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель преподавания дисциплины – обеспечить будущих специалистов необходимыми теоретическими и практическими знаниями в области производственной безопасности.

Задачи изучения – приобретение студентами знаний, умений и навыков в области производственной безопасности, необходимых для профессиональной деятельности по данной специальности.

Дисциплина «Производственная безопасность» является одной из основных специальных дисциплин, обеспечивает формирование технического мировоззрения будущего специалиста, является базой при изучении дисциплин специализации, формирует у специалистов представления о неразрывном единстве эффективной профессиональной деятельности с требованиями к безопасности и защищённости человека. Реализация этих требований гарантирует сохранение работоспособности и здоровья человека, готовит его к действиям в экстремальных условиях.

При изучении дисциплины специалистам излагается представление:

- об основных научно-технических проблемах технологической безопасности производственных процессов и оборудования;
- об источниках опасных факторов современного производства и их интенсивности;
- о перспективных направлениях совершенствования и развития безопасных технологических процессов в свете научно-технического прогресса;
- о перспективах развития техники средств защиты, повышения безопасности с учётом мировых тенденций.

2. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения дисциплины «Производственная безопасность» специалист должен знать:

- принципы и методы обеспечения производственной безопасности;
- организационные и технические основы разработки мероприятий по снижению уровня опасных факторов на производстве;
- электробезопасность;
- безопасность сосудов, работающих под давлением, компрессорных установок, паровых и водогрейных котлов;
- безопасность подъёмных и транспортных машин;
- пожарную и взрывобезопасность;
- современные компьютерные технологии и системы в области технологической безопасности.

Специалист должен уметь:

- анализировать и оценивать опасные факторы производственного процесса и оборудования;
- пользоваться законодательными и иными нормативными правовыми актами по вопросам безопасности труда;
- разрабатывать методы и средства по снижению опасности технологических процессов и оборудования.

3. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Перечень разделов, усвоение которых студентами необходимо для изучения данной дисциплины

Введение

Основные понятия, термины и определения в области производственной безопасности. Принципы, методы и средства обеспечения производственной безопасности.

Раздел 1. Основы производственной безопасности

Производственный травматизм и аварийность. Безопасность производственного оборудования. Безопасность производственных процессов

Основные понятия, показатели, методы анализа и прогнозирования производственного травматизма. Порядок расследования и учёта несчастных случаев на производстве. Причины и профилактика производственного травматизма. Страхование от несчастных случаев. Техническое расследование и учёт аварий, не повлёкших за собой несчастных случаев.

Раздел 2. Производственная безопасность – составная часть системной безопасности

Идентификация опасностей. Опасные производственные объекты. Экспертиза и декларация промышленной безопасности. Методы анализа опасностей на опасных производственных объектах.

Раздел 3. Защита от механических опасностей

Источники, требования к средствам защиты от механических опасностей.

Классификация средств индивидуальной и коллективной защиты. Средства защиты производственного оборудования: защитные ограждения; блокировка; ограничители перемещения движущихся элементов оборудования; предохранительные устройства от механических перегрузок; средства экстренного торможения и аварийного останова оборудования; приборы контроля и сигнализации; устройства дистанционного управления.

Раздел 4. Основы электробезопасности

Действие электрического тока на организм человека. Первая помощь пострадавшим от электрического тока.

Факторы, влияющие на исход поражения человека электрическим током. Влияние окружающей среды на опасность поражения током. Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях.

Основные требования к устройству электроустановок согласно Правил устройства электроустановок. Меры защиты от поражения электрическим

током. Требования к персоналу, обслуживающему электроустановки. Организация безопасной эксплуатации электроустановок. Безопасность при ремонте воздушных линий электропередачи. Защита от статического электричества. Средства и способы молниезащиты.

Раздел 5. Безопасность эксплуатации сосудов, работающих под давлением

Конструкция сосудов и общие принципы обеспечения их безопасной эксплуатации. Требования безопасности к элементам систем повышенного давления.

Условия безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, и баллонов, предназначенных для транспортировки и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов. Контрольно-измерительные приборы и предохранительные устройства. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

Раздел 6. Безопасность эксплуатации компрессорных установок

Принципы устройства и основные характеристики компрессорных установок, общие требования к их размещению.

Условия безаварийной работы воздушных компрессорных установок, арматура, контрольно-измерительные приборы и регулирующая аппаратура, эксплуатация и ремонт.

Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов.

Раздел 7. Безопасность эксплуатации паровых и водогрейных котлов

Устройство и характеристики котельных установок. Организация безопасной эксплуатации котельных установок.

Технология производства тепловой энергии в отопительных и производственных котельных.

Причины аварий и несчастных случаев. Контрольно-измерительные приборы, автоматические защиты, обеспечивающие безопасную эксплуатацию котельных установок.

Организация безопасной эксплуатации котельных установок, их регистрация и техническое освидетельствование. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов.

Раздел 8. Безопасность эксплуатации подъемно-транспортных машин

Безопасность складских, погрузочных и разгрузочных работ. Типовые конструкции грузоподъемных машин: кранов, подъемником, лифтов.

Причины аварий и травматизма при эксплуатации грузоподъемных машин, требования к устройству и безопасной эксплуатации основных деталей и узлов

механизмов грузоподъёмных машин. Требования к кабинам управления, электрооборудованию, предохранительным и блокировочным устройствам, к вспомогательным грузозахватным приспособлениям и к таре. Техническое освидетельствование грузоподъёмных машин, организация эксплуатации и надзора. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных кранов.

Организация складов и проведения на предприятиях складских операций, отвечающих требованиям безопасности труда. Механизация и автоматизация транспортных и складских работ. Условия безопасности при погрузочно-разгрузочных работах с навалочными (сыпучими, кусковыми) материалами, металлом, поковками, литьём и металлической стружкой, тарными и тяжеловесными грузами, кислотами, ядовитыми и едкими химическими веществами, и огнеопасными жидкостями.

Раздел 9. Безопасность эксплуатации газового хозяйства организаций

Принципиальная схема газового хозяйства предприятия. Газорегуляторные пункты и установки. Внутрицеховое газовое хозяйство.

Защитные, сигнализирующие и автоматические устройства, приборы, применяемые на газопроводах и газовых установках, их устройство и эксплуатация. Предохранительные клапаны, предохранительные запорные клапаны, клапаны (автоматы) блокировки газа и воздуха, сигнализаторы падения давления.

Условия безопасного пуска газа на предприятие и эксплуатации промышленных печей. Испытание и техническая приёмка газового хозяйства предприятия. Обслуживающий персонал и его обязанности, эксплуатационные правила по зажиганию газовых горелок.

Предупреждение, локализация и ликвидация аварий в газовом хозяйстве предприятий, отыскание мест утечки газа на газопроводах и газовых аппаратах и отключение аварийных участков газовой сети. Планы ликвидаций аварий на предприятиях, организация газоопасных и ремонтных работ на газопроводах и агрегатах, использующих газ. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации газового хозяйства организаций.

Заключение

Основные направления развития техники, технологий и систем управления производственной безопасностью с целью снижения индивидуального и техногенного риска.

4. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Расчётно-графическая работа состоит из решения четырёх практических заданий.

Работу выполняют чётко и разборчиво. На каждой пронумерованной странице оставляют поля для замечаний преподавателя. Ответы на вопросы в решении задач сопровождают эскизами, схемами или графиками. В конце расчётно-графической работы необходимо привести библиографический список.

Номер варианта выбирают согласно таблице 1.

Таблица 1 – Варианты контрольных вопросов и задач

Предпоследняя цифра зачётной книжки	Последняя цифра зачётной книжки	№ варианта	№№ задач
1	Чётная	1	1, 4, 7, 9
2		2	2, 5, 8, 10
3		3	3, 6, 7, 9
4		4	1, 4, 8, 10
5		5	2, 5, 7, 9
6		6	3, 6, 8, 10
7		7	1, 4, 7, 9
8		8	2, 5, 8, 10
9		9	3, 6, 7, 9
0		10	1, 4, 8, 10
1	Нечётная	11	2, 5, 7, 9
2		12	3, 6, 8, 10
3		13	1, 4, 7, 9
4		14	2, 5, 8, 10
5		15	3, 6, 7, 9
6		16	1, 4, 8, 10
7		17	2, 5, 7, 9
8		18	3, 6, 8, 10
9		19	1, 4, 7, 9
0		20	2, 5, 8, 10

5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

ЗАДАЧА 1

В таблице приведены статистические данные за 2016–2020 гг. Провести анализ травматизма статистическим методом. Построить графики зависимости показателей травматизма по годам.

Таблица 2 – Исходные данные

Показатель	2016 г	2017 г	2018 г	2019 г	2020 г
N_p , чел.	1410	1393	1403	1405	1399
D_m , дней	438	295	150	302	368
N_m , ед.	128	93	40	105	112

Указания к решению задачи

Статистический метод анализа травматизма основывается на статистических материалах, собранных за продолжительное время. Рассчитываются следующие показатели травматизма:

Показатель частоты – число несчастных случаев, приходящихся на каждые 1 000 человек, работающих на предприятии.

$$P_q = N_m / N_p \cdot 1000, \quad (1)$$

где N_m – число несчастных случаев за отчётный период;

N_p – среднесписочное число работающих на данном предприятии за отчётный период.

Показатель тяжести травматизма – среднее число рабочих дней нетрудоспособности, приходящееся на 1 несчастный случай за отчётный период.

$$P_T = D_m / N_m, \quad (2)$$

где D_m – потеряно всеми травмированными рабочими днями за отчётный период.

Показатель нетрудоспособности – среднее число рабочих дней нетрудоспособности на 1000 человек, работающих на предприятии за отчётный период.

$$P_n = D_m / N_p \cdot 1000. \quad (3)$$

ЗАДАЧА 2

Определить границу отлёта панели при обрыве двух строп с одной стороны, а также радиус опасной зоны работы самоходного крана КС-5363 относительно оси вращения его платформы, обеспечивающего подъем железобетонных панелей перекрытия размерами в плане $a \cdot b$ на высоту h_r . Длина строп l_c . Технические характеристики крана КС-5363 в соответствии со справочной литературой:

- расстояние от оси вращения платформы крана до оси вращения стрелы $l_0 = 1,18$ м;
- вылет стрелы крана $l_k = 15$ м.

Таблица 3 – Исходные данные для задачи

Номер варианта	$a \cdot b$, м	h_{Γ} , м	l_c , м
1	1,2·6,0	10	4,3
2	1,5·6,2	8	4,5
3	1,2·6,8	12	4,9
4	1,4·6,4	11	4,8
5	1,3·6,6	9	5,4
6	1,1·7,0	13	5,2
7	1,2·6,0	12	4,8
8	1,5·6,2	14	4,9
9	1,2·6,8	11	4,5
10	1,4·6,4	8	4,3

Указания к решению задачи:

Использовать формулы 4, 5 и рисунок 1.

1. Границу опасной зоны определяем по формуле, м:

$$L_{оп.г.} = \sqrt{h_{\Gamma} [l_c (1 - \cos \alpha) + S]}, \quad (4)$$

где h_{Γ} – высота подъёма груза, м;

l_c – длина ветви стропа, м;

α – угол между стропами и вертикалью, град;

S – расстояние (максимальное) от центра тяжести груза до его края, м.

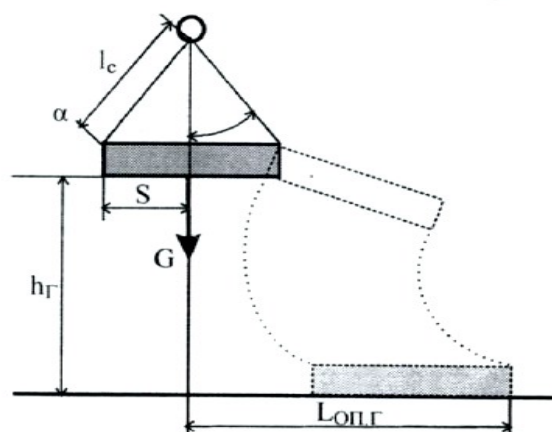


Рисунок 1 – Схема определения границ опасной зоны при обрыве стропа грузоподъёмной машины

2. При работе крана должна быть учтена длина вылета стрелы l_k :

$$L_{оп.к.} = L_{оп.г.} + l_k. \quad (5)$$

С учётом последнего границу опасной зоны около крана с учётом обрыва стропа и отлёта груза можно рассчитать по формуле 5, м.

ЗАДАЧА 3

На токарном станке обрабатывается чугунный вал, наружным диаметром $2 \cdot R_0$, мм. Скорость вращения вала составляет $n_{об}$, мин⁻¹. При обработке от вала отлетают кусочки массой m_k , г. Определить толщину стенки ограждения из листовой стали, предполагая, что вал разрушиться не может.

Таблица 4 – Исходные данные для задачи

Номер варианта	$2 \cdot R_0$, мм	$n_{об}$, мин ⁻¹	m_k , г
1	400	3 000	10
2	420	2 410	12
3	412	3 325	18
4	410	3 388	21
5	608	4 366	19
6	630	4 350	25
7	622	3 342	23
8	628	3 375	14
9	650	3 390	16
10	626	2 372	17

Указания к решению задачи:

1. Скорость движения V_K отлетающих частиц стружки определить по соотношению, м/с:

$$V_K = w_k \cdot R_0 = \frac{\pi \cdot n_{об}}{30} \cdot R_0, \quad (6)$$

где w_k – угловая скорость обрабатываемого вала, рад/с.

2. При отрыве от вращающейся детали более мелкой части ударная (центробежная) сила $P_{отл}$ отлетающей части составит, кН:

$$P_{отл} = m_k \cdot \frac{V_K^2}{R_0}, \quad (7)$$

где V_K – линейная скорость движения отлетающей части или детали, м/с;

R_0 – радиус кривизны траектории отрыва части детали, м.

1. По найденному значению $P_{отл}$ по таблице можно ориентировочно определить толщину стенки ограждения из листовой стали.

Если необходимо, использовать метод интерполяции.

Таблица 5 – Зависимость толщины стенки ограждения из листовой стали от ударной нагрузки

Ударная нагрузка, кН	Толщина стенки ограждения, мм	Ударная нагрузка, кН	Толщина стенки ограждения, мм
4,91	1	73,5	10
8,33	2	80,36	11
14,6	3	96,04	12
17,15	4	102,9	13
25,67	5	115,64	14
31,16	6	139,16	15
39,69	7	159,74	16
47,04	8	188,16	17
61,74	9	205,8	18

ЗАДАЧА 4

Определить напряжение шага, под которым окажется человек, если длина шага $a = 1$ м., сопротивление тела человека $R_h = 0,85$ кОм. Сделать вывод о воздействии напряжения и начертить схему.

Таблица 6 – Исходные данные для задачи

Исходные данные	Варианты							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ток замыкания на землю, А	108	100	110	95	90	120	105	115
Вид грунта	Глина	Суглинок	Супесь	Глина	Глина	Глина	Супесь	Суглинок
Удельное сопротивление грунта, Ом·м	8...70	40...150	≥ 150	8...70	8...70	8...70	≥ 150	40...150
Расстояние от центра заземлителя, м	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5

Указания к решению задачи

1) шаговое напряжение определяется по следующей формуле:

$$U_{ш} = \frac{I_z \cdot \rho \cdot a}{2\pi \cdot x(x+a)} \quad (8)$$

2) начертить схему.

ЗАДАЧА 5

Определить ток, проходящий через человека в случае, когда он, стоя босиком на сухом деревянном полу сопротивлением 10^5 Ом, прикоснулся к фазному проводу трёхфазной трёхпроводной сети с изолированной нейтралью с линейным напряжением 380 В. Сопротивления изоляции фазных проводов относительно земли $r_1 = r_2 = r_3 = 0,5$ МОм. Сопротивление тела человека взять согласно ПУЭ. Сделать вывод и начертить схему.

Указания к решению задачи

1. Ток, проходящий через тело человека определяем по формуле 9:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{н}} + r/3} \quad (9)$$

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

2. Фазное напряжение можем вывести через линейное напряжение по формуле 10.

ЗАДАЧА 6

Определить силу тока, проходящего через человека, при неблагоприятной и благоприятной ситуациях в случаях однофазного включения в трёхпроводную трёхфазную сеть напряжением $U_{\text{л}} = 380$ В с изолированной нейтралью (рис. 2).

а. Неблагоприятные условия: человек прикоснулся к одной фазе, стоит на токопроводящем железобетонном полу, обувь сырая. Сопротивления: тела человека $r_{\text{м.ч}} = 1\,000$ Ом, обуви $r_{\text{об}} = 0$ Ом, опорной поверхности ног (сопротивление пола) $r_{\text{н}} = 0$ Ом, изоляции $r_{\text{из}} = 70\,000$ Ом.

б. Благоприятные условия: человек стоит на нетокопроводящем полу, покрытом линолеумом ($r_{\text{н}} = 1\,500\,000$ Ом).

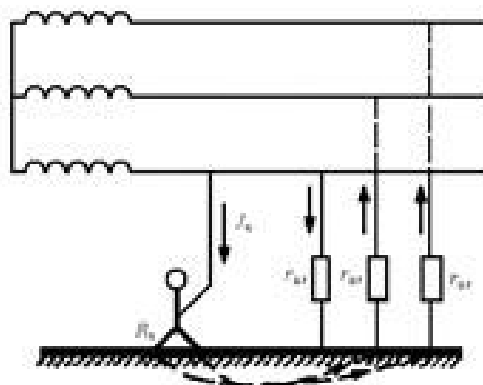


Рисунок 2 – Однофазное включение в трёхпроводную трёхфазную сеть

Указания к решению задачи

1) определить ток через человека (мА) по формуле (11) для неблагоприятных условий:

$$I_{\text{чет}} = \frac{U_{\phi}}{R_0 + r_{\text{из}} / 3} \quad (11)$$

2) определить ток через человека (мА) для благоприятных условий;

3) сравнить полученные значения тока через тело человека с пороговыми значениями тока.

ЗАДАЧА 7

Рассчитать защитное заземление для электроустановки мощностью трансформатора более 100 Кв*А, режим нейтрали-изолированная, отношение a/l=3. Начертить схему защитного заземления.

Таблица 7 – Исходные данные для задачи

Цифра зачётной книжки		Грунт	Площадь, ограниченная периметром здания, S, м ²	Поправочный коэффициент К	Заземлитель				Ширина горизонт. электрода, b ₂ , мм
Последняя	Предпослед.				Материал	Длина, l, м	Диаметр d или толщина полки b ₁ , мм	Глубина заложения в землю верхней части t, м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	чёт. нечёт	каменный уголь известняк пористый	100 200	K ₁ K ₂	стальной стержень	5 6	16 10	0,7 0,8	20 30
1	чёт. нечёт	алевриты глины полутвёрдые	80 15	K ₃ K ₄	стальной стержень	7 8	16 10	0,7 0,8	40 20
2	чёт. нечёт	суглинок полутвёрдый супесь влажная	20 80	K ₂ K ₃	угловая сталь	9 10	63 40	0,7 0,8	30 40
3	чёт. нечёт	мергели супесь слабовлажная	80 300	K ₁ K ₂	угловая сталь	5 6	63 40	0,7 0,8	20 30
4	чёт. нечёт	лесс мергели	350 400	K ₃ K ₁	угловая сталь	7 8	63 40	0,7 0,8	40 20
5	чёт. нечёт	лесс мергели	100 200	K ₃ K ₂	угловая сталь	9 10	63 40	0,7 0,8	30 40
6	чёт. нечёт	мергели супесь слабовлажная	60 15	K ₁ K ₂	угловая сталь	6 5	40 63	0,8 0,7	30 20
7	чёт. нечёт	супесь влажная суглинок полутвёрдый	80 20	K ₂ K ₁	стальной стержень	5 6	16 10	0,7 0,8	20 30
8	чёт. нечёт	алевриты суглинок полутвёрдые	80 30	K ₃ K ₂	стальной стержень	7 8	10 16	0,8 0,7	20 40
9	чёт. нечёт	известняк пористый камен. уголь	300 100	K ₁ K ₃	стальной стержень	9 10	16 10	0,7 0,8	30 40

Указания к решению задачи

1. Сопротивление одиночного вертикального электрода:

$$R_s = \frac{\rho \cdot K}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_0 + l}{4t_0 - l} \right), \text{ Ом}, \quad (12)$$

где K – поправочный коэффициент;

l – длина заземлителя, м;

d – диаметр заземлителя, м;

t_0 – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя

$$t_0 = t + \frac{l}{2}, \text{ м}, \quad (13)$$

где t – глубина заложения в землю верхней части вертикального заземлителя, м.

Таблица 8 – Поправочные коэффициенты, учитывающие конфигурацию устройства, климатического условия и состояние почвы приведены в таблице

Заземлитель		К		
Тип	Размеры	К ₁	К ₂	К ₃
Одиночный вертикальный заземлитель	l=5 м	1,3	1,23	1,15

Таблица 9 – Ориентировочные значения удельных электрических сопротивлений некоторых видов земель

Вид земли	с, Ом·м
Каменный уголь	100-150
Известняк пористый	150-200
Глины полутвёрдые	40-80
Алевриты	100-300
Суглинок полутвёрдый	50-150
Супесь влажная	100-200
Супесь слабовлажная	200-400
Мергели	100-250
Мергели известковые	250-400
Лесс	200-300

2. Предварительно вычисляется произведение:

$$\eta_s n = \frac{R_B}{R_{доп}}, \quad (14)$$

где η_s – коэффициент использования вертикальных электродов;

n – количество вертикальных электродов.

$R_{доп}$ – наибольшее допустимое сопротивление заземляющего устройства (для электроустановок мощностью более 100 кВ принимается равным 4 Ом).

Затем определяем количество вертикальных электродов по таблице методом интерполяции. Полученные значения округляют в меньшую сторону до целых чисел.

Таблица 10 – Определение количества вертикальных электродов

При размещении в ряд				При размещении по контуру			
$\eta_g n$	n	η_B	η_Γ	$\eta_g n$	n	η_B	η_Γ
1,88	2	0,94	0,96	3,4	4	0,85	0,7
2,73	3	0,91	0,94	4,8	6	0,80	0,64
3,56	4	0,89	0,92	7,6	10	0,76	0,56
4,35	5	0,87	0,90	14,2	20	0,71	0,45
5,10	6	0,85	0,88	26,4	40	0,66	0,39
8,10	10	0,81	0,82	38,4	60	0,64	0,36
11,70	15	0,78	0,75	62.	100	0,62	0,33
15,20	20	0,76	0,68	-	-	-	-

С учётом схемы размещения заземлителя в грунте находится длина горизонтального проводника связи:

– при расположении электродов в ряд

$$L = 1,05(n - 1)a, \text{ м}, \quad (15)$$

где a – расстояние между электродами, м.

3. Сопротивление горизонтального проводника связи в виде стальной полосы, соединяющей верхние концы вертикальных электродов:

$$R_\Gamma = \frac{\rho K}{2\pi L} \cdot \ln \frac{2L^2}{b_2 t_0}, \text{ Ом}, \quad (16)$$

где K – поправочный коэффициент для горизонтальных электродов;

b_2 – ширина стальных полос, м.

4. Результирующее сопротивление искусственного группового заземлителя:

$$R_{\text{расч.}} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B \eta_\Gamma + R_\Gamma \eta_B n}, \text{ Ом}, \quad (17)$$

где η_Γ – коэффициент использования горизонтального полосового электрода.

Полученное значение сопротивления $R_{\text{расч.}}$ не должно превышать значение $R_{\text{доп.}}$

Начертить схему защитного заземления.

ЗАДАЧА 8

Рассчитать защитное зануление для электроустановки с фазным напряжением $U_\phi = 220$ В. Начертить схему защитного зануления для электроустановки. Исходные данные для задачи представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Исходные данные для задачи

Цифра зачётной книжки		Аппарат защиты		Мощность трансформатора, кВт*А	Проводники				Тип проводки
Посл.	Пред посл.	тип	Номинальный ток, А		Материал	Длина, l _п , м	Площадь сечения, мм ²		
							фазного S _ф	Нулевого защитного S _{нз}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	чёт нечёт	Автоматический выключатель, имеющий обратно зависимую от тока характеристику	800	160	алюминий	5	16	10	Внутренняя ВЛ
			400	180			10	25	
1	чёт нечёт		алюминий	800	250	25	35	25	Внутренняя ВЛ
				500	320	30	50	35	
2	чёт нечёт		алюминий	1000	400	45	70	50	Внутренняя ВЛ
				800	560	30	95	50	
3	чёт нечёт	алюминий	1000	630	25	120	70	Внутренняя ВЛ	
			1000	750	10	150	95		
4	чёт нечёт	предохранитель	1000	1000	алюминий	5	185	95	Внутренняя ВЛ
			1000	750			10	240	
5	чёт нечёт		медь	1000	630	25	300	150	Внутренняя ВЛ
				500	560	30	16	10	
6	чёт нечёт		медь	400	400	45	25	16	Внутренняя ВЛ
				500	320	30	35	25	
7	чёт нечёт	медь	1000	250	25	50	25	Внутренняя ВЛ	
			800	180	10	70	35		
8	чёт нечёт	Автоматический выключатель, имеющий отсечку	1000	160	медь	5	95	50	Внутренняя ВЛ
			1000	180		10	120	70	
9	чёт нечёт	медь	1000	250	25	150	95	Внутренняя ВЛ	
			1000	320	30	185	95		

Указания к решению задачи

1. При замыкании фазы на зануленный корпус электроустановка автоматически отключается, если значение тока короткого замыкания удовлетворяет условию:

$$I_{\kappa} \geq k \cdot I_{\text{ном}}, \text{ А} \quad (18)$$

где k – коэффициент кратности номинального тока $I_{\text{ном}}$ аппарата защиты.

2. При расчёте зануления допустимо применять приближённую формулу для вычисления действительного значения тока короткого замыкания, в которой модули сопротивлений трансформатора и цепи фаза-ноль складываются арифметически.

$$I_{\kappa} = \frac{U_{\phi}}{z_{\text{T}}/3 + z_{\text{n}}}, \text{ А} \quad (19)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение сети, В;

z_{T} – полное сопротивление трансформатора, Ом;

z_{II} – полное сопротивление цепи фаза-ноль, Ом.

Значение z_{T} зависит от мощности трансформатора, напряжения и схемы соединения его обмоток, а также от конструктивного исполнения трансформатора.

Таблица 12 – Приближённые значения полных сопротивлений z_{T} обмоток сухих трансформаторов при $U_{\phi} = 220 \text{ В}$

Мощность трансформатора, кВ	Z_{T} , Ом	Мощность трансформатора, кВ	Z_{T} , Ом
160	0,165	560	0,13
180	0,453	630	0,042
250	0,106	750	0,109
320	0,254	1000	0,027
400	0,066		

3. Полное сопротивление цепи фаза-ноль:

$$z_{\text{II}} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{\text{н.з.}})^2 + X_{\text{II}}^2}, \text{ Ом} \quad (20)$$

где R_{ϕ} – активное сопротивление фазного проводника, Ом;

$R_{\text{н.з.}}$ – активное сопротивление нулевого защитного проводника, Ом;

X_{II} – внешнее индуктивное сопротивление цепи фаза-ноль, Ом.

4. Для проводников из цветных металлов активное сопротивление фазного проводника:

$$R_{\phi} = \frac{\rho_{\text{II}} \cdot l_{\text{II}}}{S_{\phi}}, \text{ Ом} \quad (21)$$

где ρ_{Π} – удельное сопротивление проводника, Ом*мм²/м (для меди $\rho_{\Pi} = 0,0175$ Ом*мм²/м; для алюминия $\rho_{\Pi} = 0,028$ Ом*мм²/м);

l_{Π} – длина проводника, м;

S_{Φ} – площадь сечения фазного проводника, мм².

5. Для проводников из цветных металлов активное сопротивление нулевого защитного проводника:

$$R_{н.з.} = \frac{\rho_{\Pi} \cdot l_{\Pi}}{S_{н.з.}}, \text{ Ом} \quad (22)$$

где $S_{н.з.}$ – площадь сечения нулевого защитного проводника, мм².

6. Внешнее индуктивное сопротивление цепи фаза-ноль можно определить по погонному сопротивлению:

$$X_{\Pi} = 10^{-3} \cdot X_{\Pi}^l \cdot l_{\Pi}, \text{ Ом} \quad (23)$$

где X_{Π}^l – внешнее индуктивное погонное сопротивление цепи фаза-ноль, Ом (в приближенных расчётах принимают для внутренней проводки $X_{\Pi}^l = 0,3$ Ом/км, для воздушной линии (ВЛ) электропередачи $X_{\Pi}^l = 0,6$ Ом/км).

ЗАДАЧА 9

Рассчитать необходимую высоту h одиночного стержневого молниеотвода для защиты насосной станции сырой нефти. Здание станции прямоугольной формы, имеет следующие размеры: L – длина, м; S – ширина, м; h_x – высота, м. Станция расположена в местности с удельной плотностью ударов молнии в землю n 1/(км²•год). Привести рисунок полученной зоны защиты.

Таблица 13 – Варианты к решению задачи

Исходные данные	Вариант						
	1	2	3	4	5	6	7
L , м	10	12	16	14	9	11	13
S , м	8	9	10	8	6	7	9
h_x , м	3.0	4.0	4.5	4.0	3.0	4.0	5.0
n 1/(км ² •год)	2	4	5.5	7	8.5	4	1

Указания к решению задачи

1. Определяем категорию молниезащиты здания насосной станции. Так как класс зоны по [10] В-1а, то категория молниезащиты здания II (табл. 14).

I и II категории молниезащиты – здания и сооружения защищаются от прямых ударов молний, электростатической и электромагнитной индукции и заноса высоких потенциалов. Наружные установки, отнесённые по устройству

молниезащиты ко II категории, защищаются от прямых ударов молний и электростатической индукции.

III категория – здания и сооружения защищаются от прямых ударов молний и заноса высоких потенциалов через наземные металлические коммуникации. Наружные установки, отнесённые к III категории, защищаются от прямых ударов молний.

Таблица 14 – Категории молниезащиты

Здания, сооружения и наружные установки	Среднегодовая грозовая деятельность	Ожидаемое количество поражений в год, N	Категория устройства молниезащиты	Тип зоны защиты
Здания и сооружения с зонами классов: В-I и В- II То же, В-Iа, В-Iб, В-IIа	≥10	не ограничивается N≤1	I	А
			II	Б
Наружные технологические установки, открытые склады с зонами классов В-Iг	-	N> 1 не ограничивается	II	А Б
Здания и сооружения I и II степени огнестойкости с зонами классов П-I П-II и П-IIа	≥20	0.1-2 N>2	III	Б
			III	А
То же III, IV и V степени огнестойкости	≥20	N>1	III	А
Наружные технологические установки и открытые склады горючих жидкостей с зонами класса П-III	≥20	0,1<N<2 N>2	III	Б
			III	А
Дымовые трубы, водонапорные башни, вышки различного назначения высотой 15 и более метров	≥10	не ограничивается	III	Б

2. Определяем ожидаемое количество поражений молнией в год:

$$N = ((S + 6h_x) \cdot (L + 6h_x) - 7,7h_x^2) \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (24)$$

где n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км² земной поверхности (удельная плотность ударов молнии в землю) в месте нахождения здания.

3. Определяем тип зоны защиты по табл. 14

4. Рассчитываем радиус зоны защиты, м:

$$r_x = 0.5 + \sqrt{(S + 1)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} \quad (25)$$

5. Определяем необходимую высоту молниеотвода, м

$$h = \frac{r_x + 1.63h_x}{1.5} \quad (26)$$

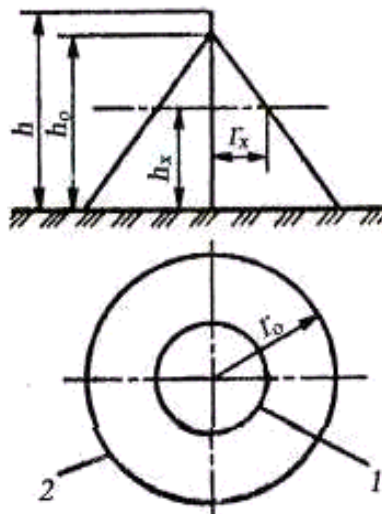


Рисунок 3 – Схема одиночного стержневого молниеотвода

6. Начертить схему одиночного стержневого молниеотвода.

ЗАДАЧА 10

Рассчитать необходимую высоту h двойного стержневого молниеотвода для защиты здания ГРС. Промышленное здание прямоугольной формы, имеет следующие размеры: L – длина, м; S – ширина, м; h_x – высота, м. Привести рисунок полученной зоны защиты.

Таблица 15 – Варианты к решению задачи

Исходные данные	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
L , м	12	10	14	13	12	14
S , м	5	5	6	8	4	6
h_x , м	2.5	2.0	3.0	3.5	4.0	3.0
Город расположения ГРС	Ярославль	Ухта	Мурманск	Баку	Кишинёв	Архангельск

Указания к решению задачи

1. Определяем ожидаемое количество поражений молнией в год:

$$N = ((S + 6h_x) \cdot (L + 6h_x) - 7,7h_x^2) \cdot n \cdot 10^{-6} \quad (27)$$

где n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности (удельная плотность ударов молнии в землю) в месте нахождения здания. Для произвольного пункта на территории СНГ удельная плотность ударов молнии в

землю определяется исходя из среднегодовой продолжительности гроз в соответствии с таблицами 16, 17.

Таблица 16 – Среднегодовая интенсивность грозовой деятельности для некоторых районов СНГ

Наименование городов, районов	Среднегодовая продолжительность гроз, ч
Мурманск, Хатанга, п/о Чукотский, п/о Камчатка, о. Сахалин, Магадан, п/о Мангышлак. Красноводск	до 10
Архангельск, Надым, Новый Уренгой, Владивосток, Ашхабад, Самарканд, Ташкент, Кызыл-Орда, Баку	от 10 до 20
Рига, Петрозаводск, Москва, Ярославль, Ухта, Сургут	от 20 до 40
Гродно, Новгород, Калинин, Тула, Рязань, Кострома, Пенза, Волгоград, Ростов-на-Дону, Тюмень	от 40 до 60
Львов, Минск, Киев, Кишинев, Полтава, Брянск, Орел, Смоленск, Воронеж, Краснодар, Тбилиси	от 60 до 100
Ужгород, Дрогобыч, Запорожье, Харьков, Ворошиловград, Сухуми	от 80 до 100
Майкоп, Ереван	более 100

Таблица 17 – Определение удельной плотности ударов молнии в год

Среднегодовая продолжительность гроз, ч	Удельная плотность ударов молнии в n в год на 1 км^2
10–20	1
20–40	2
40–60	4
60–80	5.5
80–100	7
> 100	8.5

2. Определяем тип зоны защиты по таблице 14.

3. Двойными считаются молниеотводы, находящиеся на расстоянии $L \leq 5h$, между ними образуется общая зона защиты. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода одинаковой высоты показана на рисунке 4. Торцевые области зоны защиты определяются как зоны одиночных стержневых молниеотводов, габаритные размеры которых h_0, r_0 . Внутренние области зон защиты двойного стержневого молниеотвода имеют габаритные размеры h_c, r_{cx} . Необходимая высота молниеотвода определяется подбором при условии что $S/2 \leq r_{cx}$. Задаёмся высотой h .

Габариты зоны защиты типа Б:

$$h_0 = 0,92 \cdot h, \text{ м} \quad (28)$$

$$h_c = h_0 - 0,14 \cdot (L - 1,5h), \text{ м} \quad (29)$$

$$r_0 = 1,5 \cdot h, \text{ м} \quad (30)$$

$$r_{cx} = r_0 \cdot ((h_c - h_x) / h_c), \text{ м} \quad (31)$$

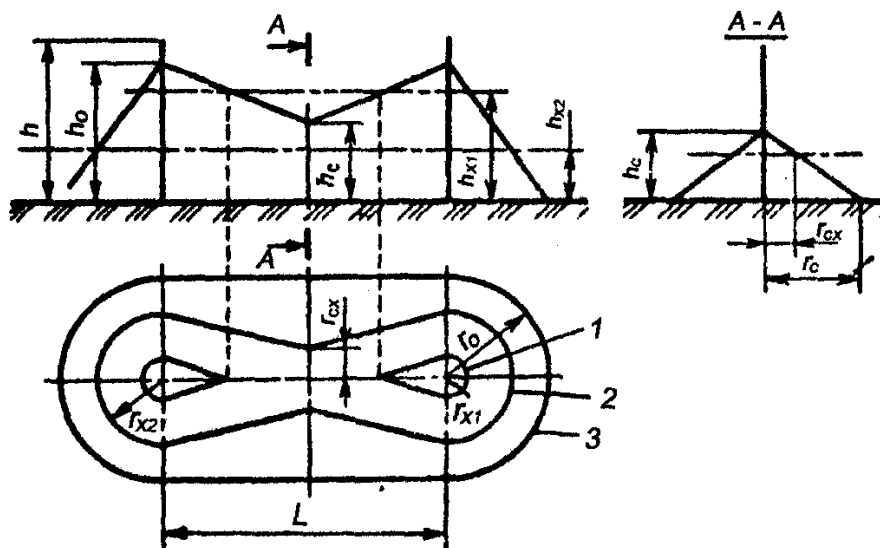


Рисунок 4 – Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

4. Проверяем условие $S/2 \leq r_{cx}$. Если условие выполняется, то высота молниеотвода на защищаемом уровне h_x подобрана правильно.

5. Начертить схему двойного стержневого молниеотвода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фомочкин, А. В. Производственная безопасность. – Москва : Нефть и газ, 2004. – 448 с.
2. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда) : учебное пособие для вузов / П. П. Кукин, [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Высшая школа, 2002. – 319 с.
3. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022). Принят Государственной Думой 21.12.2001 г., одобрен Советом Федерации 26.12.2001 г.
4. ГОСТ 12.0.003–2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. (ред. от 01.06.2021). Утв. и введён в действие Постановлением Госстандарта СССР от 18 ноября 1974 г. № 2551.
5. ГОСТ 12.2.003–91. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. Утв. Постановлением Госстандарта СССР от 06.06.1991 № 807.
6. ГОСТ 12.3.002–2014. Процессы производственные. Общие требования безопасности. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 30.09.2014 г. № 70-П.
7. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116–ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (ред. от 01.07.2021).
8. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и риска аварий на опасных производственных объектах». Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.04.2016 № 144.
9. ГОСТ 12.4.125–83. Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация. Утв. и введён в действие Постановлением Госстандарта СССР от 18.02.1983 № 852.
10. ПУЭ. Раздел 1. Общие правила. Главы 1.1, 1.2, 1.7, 1.9. Раздел 7. Электрооборудование специальных установок. Главы 7.5, 7.6, 7.10. – 7-е изд. – Москва : Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 176 с.
11. СО 153–34.21.122–2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций: Утв. Приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 280. – Москва : Изд-во МЭИ, 2004.
12. Долин, П. А. Основы техники безопасности в электроустановках: учебное пособие для вузов / П. А. Долин. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
13. ГОСТ 12.1.038–82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. С изменением № 1 (ИУ 1–4–88).

14. Соходон, Г. В. Исследование напряжения шага и эффективности защитных мер при его воздействии: метод. указания / Г. В. Соходон. – Ухта: УГТУ, 2015. – 16 с.

15. Бердник, А. Г. Исследование защитного заземления электроустановок: метод. указания / А. Г. Бердник, М.В. Каплина – Ухта: УГТУ, 2015. – 14 с.

16. Бердник, А. Г. Исследование эффективности зануления и защитного отключения: метод. указания / А. Г. Бердник. – Ухта: УГТУ, 2015. – 14 с.