

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

СБОРНИК ЗАДАЧ

*Рекомендовано Ученым советом
Нижегородского государственного технического университета
им. Р.Е. Алексева в качестве учебного пособия по выполнению
контрольных работ для студентов всех направлений
и специальностей заочной формы обучения*

Нижегород 2023

УДК 65.9.(2)248
ББК 68.9
Б 40

Авторы:

**А.Б. Елькин, И.В. Гейко, Н.С. Конюхова, Т.И. Курагина,
О.В. Маслеева, Г.В. Пачурин, И.Г. Трунова**

Рецензент

заместитель генерального директора по науке –
главный конструктор ОАО «Нормаль»,
кандидат технических наук *В.А. Братухин*

Б 40 **Безопасность жизнедеятельности. Сборник задач:** учеб.
пособие / А.Б. Елькин, И.В. Гейко, Н.С. Конюхова [и др.];
Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород,
2023. – 114 с.

ISBN 978-5-502-01673-5

Представлены задания для выполнения контрольных работ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности».

Рассмотрены общие сведения по теории вопросов, методика решения задач в сфере безопасности жизнедеятельности, даны примеры и пояснения для выполнения контрольной работы. Приведен список учебно-методической литературы.

Предназначается для студентов всех направлений и специальностей заочной формы обучения

Рис. 20. Табл. 90. Библиогр.: 21 назв.

УДК 65.9.(2)248
ББК 68.9

ISBN 978-5-502-01673-5

© **Нижегородский государственный
технический университет
им. Р.Е. Алексеева, 2023**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ...	6
1. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА. ЗАДАЧА 1	11
1.1. Общие сведения о производственном травматизме	11
1.2. Оценка производственного травматизма статистическим методом	14
1.3. Задание и порядок решения задачи	15
2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ. ЗАДАЧА 2	17
2.1. Классификация вредных веществ в воздухе рабочей зоны	17
2.2. Задание и порядок решения задачи	20
3. НОРМИРОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА. ЗАДАЧА 3	22
3.1. Характеристика микроклимата в помещениях	22
3.2. Задание и порядок решения задачи	24
4. РАСЧЕТ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ. ЗАДАЧА 4	26
4.1. Краткие сведения из теории	26
4.2. Задание к работе и порядок расчета	28
5. РАСЧЕТ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ ВЛАГОВЫДЕЛЕНИЙ. ЗАДАЧА 5	30
5.1. Расчет воздухообмена при наличии влаговывделений	30
5.2. Задание к работе и порядок расчета	32
6. РАСЧЕТ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ ИЗБЫТКОВ ЯВНОГО ТЕПЛА. ЗАДАЧА 6	33
6.1. Расчет воздухообмена при наличии избытков явного тепла	33
6.2. Задание к работе и порядок расчета	35
7. РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ. ЗАДАЧА 7	36
7.1. Методика расчета общего искусственного освещения	36
7.2. Задание к работе и порядок расчета	38

8. РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ. ЗАДАЧА 8	48
8.1. Методика расчета естественного освещения	48
8.2. Задание к работе и порядок расчета	49
9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО УРОВНЯ ЗВУКА. ЗАДАЧА 9	57
9.1. Краткие сведения из теории	57
9.2. Задание и порядок решения задачи	58
10. АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ. ЗАДАЧА 10	59
10.1. Порядок акустического расчета	59
10.2. Задание к работе и порядок расчета	60
11. РАСЧЕТ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ. ЗАДАЧА 11	63
11.1. Краткие сведения из теории	63
11.2. Порядок расчета виброизоляции (пружинные амортизаторы)...	65
11.3. Задание к работе и порядок расчета	65
12. ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ. ЗАДАЧА 12	67
12.1. Краткие сведения из теории	67
12.2. Задание и порядок решения задачи	68
13. ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ. ЗАДАЧА 13	70
13.1. Краткие сведения из теории	70
13.2. Задание и порядок решения задачи	74
14. ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ЧЕЛОВЕКА. ЗАДАЧА 14	75
14.1. Краткие сведения из теории	75
14.2. Задание и порядок решения задачи	78
15. ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПРИ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ. ЗАДАЧА 15	80
15.1. Краткие сведения из теории	80
15.2. Формулы для расчета сопротивления растеканию тока от одиночных заземлителей	81
15.3. Задание и порядок решения задачи	82

16. РАСЧЕТ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ.	
ЗАДАЧА 16	85
16.1. Краткие сведения из теории	85
16.2. Задание к работе и порядок расчета	89
17. РАСЧЕТ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ЗАНУЛЕНИЯ.	
ЗАДАЧА 17	91
17.1. Краткие сведения из теории	91
17.2. Задание к работе и порядок расчета	95
18. РАСЧЕТ УСТРОЙСТВА МОЛНИЕЗАЩИТЫ. ЗАДАЧА 18	96
18.1. Общие сведения о молниезащите	96
18.2. Методика расчета зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода	97
18.3. Задание к работе и порядок расчета	98
19. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. ЗАДАЧА 19	100
19.1. Методика расчета категорий помещений по пожарной опасности	100
19.2. Задание и порядок решения задачи	103
20. ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА РАБОТНИКОВ.	
ЗАДАЧА 20	107
20.1. Пояснения к решению задачи	107
20.2. Задание и порядок решения задачи	109
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	111
ПРИЛОЖЕНИЕ	113

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

В процессе изучения дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» студенты выполняют контрольную работу, которая включает теоретические вопросы и решение задач.

Вариант контрольной работы выбирается по таблице в соответствии с последней цифрой номера зачетной книжки. Вариант исходных данных при решении задач принимается по предпоследней цифре номера зачетной книжки.

Контрольная работа оформляется в формате Word, шрифт – Times New Roman, размер шрифта – 14, межстрочный интервал – одинарный, все поля – 2 см, отступ – 1 см, выравнивание – по ширине, таблицы и схемы располагаются по тексту и нумеруются. В конце контрольной работы необходимо приводить выводы (заключение) по работе и перечень использованной литературы.

Форма титульного листа для контрольной работы приведена в приложении.

В случае дистанционного обучения контрольная работа высылается по электронной почте на адрес: rbc@nntu.ru с указанием ФИО студента, группы и фамилии преподавателя кафедры ПБЭиХ, который ведет занятия по дисциплине БЖД.

Отчеты по выполнению контрольных работ предъявляются преподавателю при сдаче экзамена (зачета).

Варианты заданий для контрольной работы

Направления подготовки	Вариант	Номера теоретических вопросов	Номера задач
09.03.01 Информатика и вычислительная техника 09.03.02 Информационные системы и технологии 11.03.01 Радиотехника 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи	1	2, 22, 33	2, 16
11.03.03 Конструирование и технология электронных средств 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника	2	5, 23, 43	4, 15
12.03.04 Биотехнические системы и технологии 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника 13.03.03 Энергетическое машиностроение	3	7, 25, 50	7, 17
15.03.01 Машиностроение 15.03.02 Технологические машины и оборудование 15.03.03 Прикладная механика 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств	4	10, 12, 26	14, 20
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств 15.03.06 Мехатроника и робототехника	5	1, 15, 31	12, 19
18.03.01 Химическая технология 19.03.01 Биотехнология 20.03.01 Техносферная безопасность 21.03.01 Нефтегазовое дело 22.03.01 Материаловедение и технология материалов	6	4, 42, 52	3, 11
22.03.02 Металлургия 23.03.01 Технология транспортных процессов 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы	7	8, 40, 57	6, 13
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов 26.03.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры	8	3, 24, 36	1, 8
27.03.02 Управление качеством 27.03.03 Системный анализ и управление 27.03.05 Инноватика	9	9, 44, 51	5, 10
38.03.02 Менеджмент 42.03.01 Реклама и связи с общественностью 46.03.02 Документоведение и архивоведение	10	6, 32, 41	9, 18

Контрольные вопросы

1. Классификация опасностей в техносфере. Аксиомы безопасности жизнедеятельности.
2. Понятие и источники индивидуального риска. Допустимый риск, методы оценки риска.
3. Естественные системы человека для защиты от вредных факторов. Характеристика анализаторов.
4. Рациональная организация рабочего места с учетом эргономических требований.
5. Психофизиологические качества человека, влияющие на безопасность
6. Причины возникновения несчастных случаев на производстве, их классификация.
7. Методы анализа производственного травматизма.
8. Опасные и вредные производственные факторы.
9. Порядок расследования несчастных случаев на производстве; регистрация и учет несчастных случаев.
10. Виды ответственности за нарушение законодательства о труде, норм и правил по охране труда
11. Нормирование содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
12. Нормирование параметров микроклимата в производственных помещениях.
13. Влияние параметров микроклимата на терморегуляцию организма человека.
14. Естественная вентиляция. Устройство и принцип действия. Преимущества и недостатки.
15. Виды и системы механической вентиляции. Устройство и принцип действия. Преимущества и недостатки.
16. Кондиционирование воздуха.
17. Виды местной вентиляции. Устройство и принцип действия.
18. Методы расчета воздухообмена для общеобменной вентиляции.
19. Методика расчета объема воздуха, удаляемого местными отсосами.
20. Средства индивидуальной защиты органов дыхания.

21. Основные светотехнические величины. Источники света, их достоинства и недостатки.
22. Виды и системы производственного освещения. Требования к освещению.
23. Гигиеническое нормирование освещенности для производственных помещений.
24. Физические характеристики шума. Действие шума на организм человека.
25. Классификация и нормирование шума.
26. Способы защиты от шума.
27. Ультразвук, его действие на человека, нормирование и защита от ультразвука.
28. Инфразвук, его действие на человека, нормирование и защита от инфразвука.
29. Причины возникновения вибрации на производстве.
30. Действие вибрации на организм человека.
31. Классификация вибрации, нормирование вибрации.
32. Методы по снижению вибрации в источнике и на пути распространения.
33. Источники и виды электромагнитных излучений радиочастот. Действие на организм человека и способы защиты.
34. Нормирование электромагнитных полей радиочастот.
35. Источники и виды электромагнитных излучений оптического диапазона, способы защиты.
36. Источники и виды ионизирующих излучений. Действие радиации на организм человека. Предельно допустимые дозы.
37. Методы по защите от ионизирующих излучений.
38. Лазерное излучение и воздействие его на организм человека. Нормирование лазерного излучения.
39. Способы и средства защиты от лазерного излучения.
40. Действие электрического тока на организм человека. Виды электротравм.
41. Анализ опасности замыкания фазы на землю. Напряжение шага и напряжение прикосновения.

42. Анализ опасности прикосновения человека к токоведущим частям в трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью при нормальном и аварийном режимах работы.
43. Факторы, влияющие на опасность поражения электрическим током.
44. Защитное заземление. Принцип действия. Область применения.
45. Зануление. Принцип действия. Область применения.
46. Защитное отключение. Устройство и принцип действия.
47. Анализ опасности прикосновения человека к токоведущим частям в трехфазной сети с изолированной нейтралью при нормальном и аварийном режимах работы.
48. Методы контроля сопротивления изоляции.
49. Классификация помещений по опасности поражения электрическим током.
50. Общие сведения о горении. Показатели пожароопасности горючих веществ.
51. Классификация помещений по взрывопожарной опасности согласно СП 12.13130.2009.
52. Меры пожарной профилактики.
53. Способы тушения горения. Виды огнегасящих веществ.
54. Противопожарные преграды, конструкции, пределы огнестойкости.
55. Устройство и требования к молниезащите.
56. Назначение, устройство и принцип действия ручных огнетушителей.
57. Принцип действия стационарных автоматических установок пожаротушения.
58. Виды и системы пожарной сигнализации.
59. Общие принципы обеспечения безопасности труда.
60. Мероприятия по обеспечению безопасности во взрывоопасных помещениях.

1. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА

ЗАДАЧА 1

1.1. Общие сведения о производственном травматизме

Производственный травматизм – совокупность травм, полученных при несчастных случаях на производстве.

К основным видам происшествий, приведших к несчастному случаю на производстве, следует относить дорожно-транспортное происшествие; падение с высоты; падение предметов, материалов; воздействие движущихся и вращающихся предметов и деталей; поражение электрическим током; воздействие экстремальных температур; воздействие вредных веществ и т.д.

В настоящий период в условиях стихийного перехода к рыночным отношениям нарушена единая техническая политика охраны труда, что привело к росту травматизма на производстве. По данным Минздрава и Минтруда в России на предприятиях ежегодно погибают от несчастных случаев от 6 до 8 тыс. чел. Из них около 70% погибают от действия электрического тока. Травмируются на производстве около 400 тыс. чел. ежегодно, из них около 20 тыс. становятся инвалидами. Следует отметить, что 60% всех несчастных случаев приходится на предприятия с частной формой собственности. Высокий производственный травматизм наблюдается в строительной отрасли, нефтехимических предприятиях и в сырьедобывающей промышленности.

Основные причины несчастных случаев на производстве в современных рыночных условиях

Технические причины:

- несовершенство конструкции с точки зрения безопасности ведения работ (отсутствие защитных кожухов, заземляющих устройств, рым-болтов для транспортировки и др.);
- отсутствие или неработоспособность технических средств защиты и контрольно-измерительных приборов, регистрирующих загазованность, уровень излучений, вибрации и шума, температуру и давление в рабочих зонах производства;
- отсутствие грузоподъемных механизмов и средств автоматизации;
- эксплуатация неисправных машин и оборудования;
- физический износ оборудования;
- нарушение технологического процесса.

Организационные причины:

- низкий уровень обучения;
- допуск к работе необученных людей;
- использование персонала для работы не по специальности;
- низкая производственная и трудовая дисциплина;
- неправильная организация работ, отсутствие контроля за работой;
- недостатки расследования несчастных случаев и аварий на предприятиях.

Санитарно-гигиенические причины:

- высокий уровень загазованности воздуха в производственных помещениях и пространствах;
- высокий уровень вибрации и шума;
- недостаточная освещенность рабочих мест или её отсутствие.

Психофизиологические причины:

- особое психическое состояние работника в результате заболевания, алкогольного или наркотического воздействия;
- несоответствие выполняемой работе по психофизиологическим показателями;
- состояние стресса или аффекта.

В выводах государственной инспекции по охране труда особо подчеркивается, что неудовлетворительное состояние безопасности труда, высокий уровень травматизма в значительной мере объясняются необразованностью, некомпетентностью, отсутствием фундаментальных знаний по охране труда у руководителей, специалистов предприятий, окончивших учебные заведения высшего и профессионального образования в последние годы.

На рис. 1.1 показаны основные причины травматизма на производстве. Некоторые статистические данные о состоянии травматизма в РФ приведены в табл. 1.1.

Показатель общего травматизма в России – $K_{\text{общ}} \approx 6$. Потери рабочего времени от несчастных случаев на производстве составляют 2,2 млн человеко-дней.

По данным Международного бюро труда, показатель частоты для случаев со смертельным исходом в разных странах неодинаков. Например, в ФРГ – 0,042, в США – 0,048, в Японии – 0,049, в России – 0,143, в Бразилии – 0,228.



Рис. 1.1. Основные причины травматизма

Таблица 1.1

Статистика производственного травматизма в РФ

Год	Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве, тыс. чел.	Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве со смертельным исходом, тыс. чел.	$K_{\text{ч}}$	$K_{\text{т}}$
1	2	3	4	5
2000	151,8	4,4	5,1	28,3
2001	144,7	4,37	5	28,4
2002	127,7	3,92	4,5	28,8
2003	106,7	3,54	3,9	30,5
2004	87,8	3,29	3,4	31,4
2005	77,7	3,09	3,1	32,2
2006	70,7	2,9	2,9	32,9
2007	66,1	2,99	2,7	41,2
2008	58,3	2,55	2,5	46,7
2009	46,1	1,97	2,1	47,3
2010	47,7	2	2,2	45,9
2011	43,6	1,82	2,1	48,4
2012	40,4	1,82	1,9	45,6
2013	35,6	1,7	1,7	47,4

1	2	3	4	5
2014	31,3	1,46	1,4	48,7
2015	28,2	1,29	1,3	48,6
2016	26,7	1,29	1,3	49
2017	25,4	1,14	1,3	48,7
2018	23,6	1,07	1,2	49,3
2019	23,3	1,06	1,2	50,6
2020	20,7	0,91	1	49,4

1.2. Оценка производственного травматизма статистическим методом

При оценке уровня производственного травматизма статистическим методом используются относительные показатели – коэффициент частоты травматизма, коэффициент тяжести травматизма и коэффициент общего травматизма на предприятии.

Коэффициент частоты травматизма $K_{\text{ч}}$ определяется количеством несчастных случаев, приходящихся на 1000 работающих за определенный календарный период (год, квартал):

$$K_{\text{ч}} = \frac{T}{P} \cdot 1000, \quad (1.1)$$

где T – количество несчастных случаев за конкретный период (общих, тяжелых, смертельных); P – среднесписочное число работающих в организации.

Коэффициент тяжести травматизма $K_{\text{т}}$ характеризует среднюю длительность нетрудоспособности, приходящуюся на один несчастный случай:

$$K_{\text{т}} = \frac{Д}{T}, \quad (1.2)$$

где $Д$ – суммарное число дней нетрудоспособности по всем несчастным случаям.

Коэффициент общего травматизма на предприятии $K_{\text{общ}}$, характеризующий количество дней нетрудоспособности, которые теряют каждые 1000 работников за отчетный период, рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{ч}} K_{\text{т}} \quad (1.3)$$

1.3. Задание и порядок решения задачи

Определить коэффициенты частоты и тяжести травматизма на предприятии по полугодиям и за год.

Исходные данные для расчета:

- среднесписочная численность работающих, тыс.чел.;
- количество несчастных случаев с потерей трудоспособности;
- количество дней нетрудоспособности в 1-м и во 2-м полугодиях в результате несчастных случаев.

Варианты исходных данных для решения задачи приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Варианты исходных данных

Вариант задания	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Среднесписочная численность работающих, тыс.чел	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Количество несчастных случаев с потерей трудоспособности в 1-м полугодии, ед.	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6
Количество дней нетрудоспособности в 1-м полугодии по причине травматизма, дней	55	65	55	65	70	75	70	75	80	85
Количество несчастных случаев с потерей трудоспособности во 2-м полугодии, ед.	3	4	1	3	4	5	2	6	5	4
Количество дней нетрудоспособности во 2-м полугодии по причине травматизма, дней	40	45	45	55	55	45	25	35	55	55

Определить коэффициенты частоты и тяжести травматизма. Результаты расчета оформить в виде табл. 1.3.

Сделать заключение по изменению травматизма на предприятии.

Таблица 1.3

Результаты расчета показателей травматизма

Параметр	1-е полугодие	2-е полугодие	Всего за год
Среднесписочная численность работающих, тыс.чел.			
Количество несчастных случаев с потерей трудоспособности в, ед.			
Количество дней нетрудоспособности по причине травматизма, дней			
Коэффициент частоты травматизма $K_{\text{ч}}$			
Коэффициент тяжести травматизма $K_{\text{т}}$			
Коэффициент общего травматизма $K_{\text{общ}}$			

2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

ЗАДАЧА 2

2.1. Классификация вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Рабочая зона – это пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на котором находятся места постоянного или временного (непостоянного) пребывания работников. На постоянном рабочем месте работник находится большую часть своего рабочего времени (более 50% или более 2 ч непрерывно).

Загрязнение воздуха рабочей зоны химическими веществами является одним из ведущих факторов риска для здоровья людей.

На рис. 2.1 показано рабочее место сварщика, с высоким уровнем загазованности.



Рис. 2.1. Рабочее место сварщика

По характеру воздействия на человека вредные вещества подразделяются:

- на общетоксические – вызывающие расстройства нервной системы, мышечные судороги, нарушают структуру ферментов, влияют на кроветворные органы, взаимодействуют с гемоглобином (углеводороды, спирты, анилин, сероводород, синильная кислота и ее соли, соли ртути, хлорированные углеводороды, оксид углерода);

- раздражающие – вызывающие раздражение слизистых оболочек, дыхательных путей, глаз (аммиак, оксиды азота, оксид серы и др.);
- сенсibiliрующие – действующие как аллергены (формальдегид, аэрозоли масел и др.);
- мутагенные – вызывающие возникновение врожденных пороков, отклонений от нормального развития детей (аэрозоли марганца, ядохимикаты и др.);
- канцерогенные – вызывающие злокачественные опухоли (хром, никель, асбест, бензапирен и др.);
- депрессивно-наркотические – действующие на нервную систему (углеводороды, растворители и т.п.);
- влияющие на репродуктивную функцию, (ртуть, свинец и др.).

Токсичность вредных веществ определяется прежде всего их концентрацией в воздухе рабочей зоны. Поэтому для контроля за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны, устанавливаются допустимые нормы – предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ.

ПДК – это максимальная концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны, которая при ежедневной работе в течение 8 ч и не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должна вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, как самого работника, так и его потомков, измеряемая в мг/м³.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны приведены в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

В гигиенических нормативах установлены следующие виды ПДК:

- среднесменная предельно допустимая концентрация ПДК_{с.с.} – это предельно допустимая концентрация, усредненная за 8-часовую рабочую смену (значение указано в знаменателе под чертой);
- максимально-разовая предельно допустимая концентрация ПДК_{м.р.}, возникающая при ведении технологического процесса, усредненная при отборе проб за промежутки времени, равный 15 мин (ее величина указана в числителе, одно значение в таблице означает величину ПДК_{м.р.}).

Вредные вещества в зависимости от величины ПДК_{м.р.} подразделяются на четыре класса опасности. Класс опасности вредных веществ устанавливается в зависимости от норм и показателей. ПДК некоторых вредных веществ в воздухе рабочей зоны приведены в табл. 2.1. Классы опасности вредных веществ приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.1

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Действие	Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Действие
Азота оксиды	5/0,1	3	О	Мышьяк	0,04/001	1	К
Азотная кислота ⁺	2	3	-	Никель (оксиды, сульфиды)	0,05	1	К, А
Аммиак	20	4	-	Олово фторид	1/02	-	-
Антибиотики	0,3	2	А	Пыль растительного и животного происхождения	-/4	3	А, Ф
Аскорбиновая кислота	2	3	-	Свинец	-/0,05	1	-
Ацетон	200	4	-	Стекла пыль	6/2	-	Ф
Вольфрам	-/6	3	-	Целлюлоза	10	-	-
Глюкоза	10	4	-	Углерод (графит)	10	3	Ф
Железо	-/10	4	-	Углерода оксид	20	4	О
Кремний диоксид	3/1	3	Ф	Ртуть	0,01/0,005	1	-
Марганец в сварочных аэрозолях	0,3/0,1	2	-	Свинцово-оловянные припой	0,05	1	-
Масла минеральные нефтяные +	5	3	-	Сера диоксид	10	3	-
Метилбензол (толуол)	150/50	3	-	Фенолформальдегидные смолы (по фенолу)	0,1	2	-
Медь	1/0,5	2	-	Хлор ⁺	1	2	-

"О" – вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе; "А" – вещества, способные вызывать аллергические заболевания в производственных условиях; "К" – промышленные канцерогены; "Ф" – аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

«+» – специальная защита кожи и глаз.

Таблица 2.2

Классификация вредных веществ по опасности воздействия на человека

Класс опасности	Название	Величина ПДК _{м.р.}
1	Чрезвычайно опасные	ПДК _{м.р.} < 0,1 мг/м ³
2	Высокоопасные	0,1 ≤ ПДК _{м.р.} ≤ 1 мг/м ³
3	Опасные	1 < ПДК _{м.р.} ≤ 10 мг/м ³
4	Умеренно опасные	ПДК _{м.р.} > 10 мг/м ³

2.2. Задание и порядок решения задачи

Определить ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны на рабочем месте работника (оператора), указать класс опасности вредных веществ и действие на организм человека.

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Варианты заданий по оценке качества воздуха рабочей зоны

№ п/п	Производственное помещение	Вид работы	Вредные вещества
1	Механический цех	Обработка металлов на станках (станочник)	Пары масла, аэрозоли железа, аэрозоли смазочных жидкостей
2	Стеклодувная мастерская	Изготовление изделий из стекла (стеклодув)	Пыль, кремний диоксид
3	Медницкий участок	Омеднение деталей (медник)	Свинец, медь, олово фторид
4	Производство аммиака	Оператор аммиачной установки	Азотная кислота, оксиды азота, аммиак
5	Фармацевтическое производство	Изготовление и расфасовка препаратов (фасовщик)	Антибиотики, аскорбиновая кислота, глюкоза
6	Цех окраски изделий	Окраска оборудования и машин (маляр)	Ацетон, толуол, уайт-спирит
7	Гальванический участок	Нанесение покрытий (гальваник)	Едкие щелочи, пары кислот
8	Литейный цех	Плавка металлов (плавильщик)	Оксид углерода, оксид кремния (пыль), оксиды азота
9	Участок сборки микросхем	Пайка микросхем	Пары свинца, олова
10	Мебельный цех	Обработка ДСП (столяр)	Фенолформальдегидная смола

Определить ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны согласно СанПиНу 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспе-

чению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» или по табл. 2.1. Результаты оформить в виде табл. 2.4.

Указать классы опасности вредных веществ и их воздействие на организм человека.

Таблица 2.4

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	ПДК _{м.р.} , мг/м ³	ПДК _{с.с.} , мг/м ³

3. НОРМИРОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА

ЗАДАЧА 3

3.1. Характеристика микроклимата в помещениях

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха рабочей зоны, °С;
- температура поверхностей, °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- скорость движения воздуха, м/с;
- интенсивность теплового облучения, Вт/м².

Требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений установлены в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» с учетом:

- общих энергозатрат работающих;
- периода года.

В зависимости от общих энергозатрат организма (Вт) осуществляется классификация работ по категориям тяжести работы. Характеристика категорий тяжести работ представлена в табл. 3.1.

При нормировании микроклимата нормы устанавливаются с учетом периода года: теплый и холодный.

Холодный период года – характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха равной +10 °С и ниже.

Теплый период года – характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха выше +10 °С.

Таблица 3.1

Категории тяжести работ на основе общих энергозатрат организма

Категории работ	Энергозатраты, Вт	Характер работ, примеры видов работ и профессий
1	2	3
I а (легкая)	до 139	Работы, производимые сидя. Ряд профессий на предприятиях точного приборостроения, в сфере управления и т.п.
I б (легкая)	140 - 174	Работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (контролеры, мастера и пр.)

1	2	3
II а (средней тяжести)	175 - 232	Работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий и требующие определенного физического напряжения (механосборочные цеха и т.п.)
II б (средней тяжести)	233 - 290	Работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (литейные, прокатные, кузнечные, термические, сварочные цеха и т.п.)
III (тяжелая)	более 290	Работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий (ручная ковка, ручная набивка и заливка опок)

Различают оптимальные и допустимые микроклиматические условия.

Оптимальные микроклиматические условия не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный	Iа	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
	Iб	21 - 23	20 - 24	60 - 40	0,1
	IIа	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	IIб	17 - 19	16 - 20	60 - 40	0,2
	III	16 - 18	15 - 19	60 - 40	0,3
Теплый	Iа	23 - 25	22 - 26	60 - 40	0,1
	Iб	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
	IIа	20 - 22	19 - 23	60 - 40	0,2
	IIб	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	III	18 - 20	17 - 21	60 - 40	0,3

Допустимые микроклиматические условия не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и (или) локальных ощущений теплового дискомфорта,

напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности (табл.3.3).

Таблица 3.3

Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ по уровню энерготрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для температур воздуха ниже оптимальных, не более	Для температур воздуха выше оптимальных, не более
Холодный	Ia	20 - 21,9	24,1 - 25	19 - 26	15 - 75	0,1	0,1
	Iб	19 - 20,9	23,1 - 24	18 - 25	15 - 75	0,1	0,2
	IIa	17 - 18,9	21,1 - 23	16 - 24	15 - 75	0,1	0,3
	IIб	15 - 16,9	19,1 - 22	14 - 23	15 - 75	0,2	0,4
	III	13 - 15,9	18,1 - 21	12 - 22	15 - 75	0,2	0,4
Теплый	Ia	21 - 22,9	25,1 - 28	20 - 29	15 - 75	0,1	0,2
	Iб	20 - 21,9	24,1 - 28	19 - 29	15 - 75	0,1	0,3
	IIa	18 - 19,9	22,1 - 27	17 - 28	15 - 75	0,1	0,4
	IIб	16 - 18,9	21,1 - 27	15 - 28	15 - 75	0,2	0,5
	III	15 - 17,9	20,1 - 26	14 - 27	15 - 75	0,2	0,5

3.2. Задание и порядок решения задачи

Определить допустимые нормы микроклимата для производственного помещения согласно вариантам, приведенным в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Производственное помещение, выполняемая работа

№	Рабочее помещение	Выполняемые работы
1	Механический цех	Обработка заготовок на металлорежущих станках
2	Стеклодувная мастерская	Изготовление изделий из стекла
3	Медницкий участок	Омеднение деталей
4	Производство аммиака	Оператор аммиачной установки
5	Фармацевтическое производство	Фасовщик
6	Литейный цех	Плавка и разливка металлов
7	Гальванический участок	Нанесение покрытий
8	Формовочный участок	Изготовление форм и стержней
9	Участок сборки микросхем	Пайка печатных плат
10	Сварочный участок	Электрогазосварка, резка деталей

Определить нормы микроклимата в производственном помещении для холодного и теплого периодов года с учетом категории тяжести работы. Результаты оформить в виде табл. 3.5.

Таблица 3.5

Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Холодный	Теплый
Категория работ		
Температура воздуха, °С		
диапазон ниже оптимальных величин		
диапазон выше оптимальных величин		
Температура поверхностей, °С		
Относительная влажность воздуха, %		
Скорость движения воздуха, м/с, не более		

4. РАСЧЕТ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

ЗАДАЧА 4

4.1. Краткие сведения из теории

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), используемых при проектировании производственных зданий, техпроцессов, оборудования, вентиляции, для контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих.

ПДК – это концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Контроль содержания вредных веществ проводится для сравнения измеренных концентраций с их предельно допустимыми значениями.

Законодательством установлены следующие виды ПДК:

- среднесменная предельно допустимая концентрация – ПДК_{с.с.} – предельная концентрация, усредненная за восьмичасовую рабочую смену;
- максимальная предельно допустимая концентрация – ПДК_{м.р.} – максимальная концентрация, возникающая при ведении технологического процесса, усредненная при отборе проб за промежутки времени, равный 15 мин.

Среднесменные концентрации необходимы для расчета индивидуальной экспозиции, выявления связи изменений состояния здоровья работающих с их профессиональной деятельностью. При этом учитывается верхний предел колебаний концентраций (максимальные концентрации).

Вещества, имеющие два норматива – ПДК_{с.с.} и ПДК_{м.р.}, контролируются по обоим параметрам, и не допускают их превышения

Для веществ, на которые не установлены ПДК, действуют ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) – уровни воздействия загрязняющих веществ в природных средах (воздух, вода, почва), условно безопасные для человека. ОБУВ определяются расчетным методом для целей проектирования и действуют определенный срок, после чего пересматриваются или заменяются на ПДК в свете токсикологической и гигиенической информации.

ПДК вредных веществ определяется по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (табл. 4.1).

Для нормализации параметров микроклимата и удаления вредных веществ в производственных помещениях применяется приточная и вытяжная вентиляция.

При выделении вредных веществ в воздух рабочей зоны необходимо уменьшить концентрацию вредных веществ в воздухе рабочей зоны до допустимой величины (ПДК).

Таблица 4.1

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	ПДК _{м.р.} , мг/м ³	ПДК _{с.с.} , мг/м ³
Водород фтористый	0,5	-
Железо	-	10
Кадмий	0,05	0,01
Кремний диоксид при содержании в пыли более 70%	3	1
Кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли 10 - 70%	6	2
Масла минеральные нефтяные	5	-
Никель, никель оксиды	0,05	-
Свинец	-	0,05
Углерод (графит)	4	-
Углерод оксид	20	-

Формовочный участок (литейное производство) характеризуется высокой запыленностью воздуха рабочей зоны (рис.4.1)



Рис. 4.1. Формовочный участок

При выделении вредных веществ (например, пыли) в помещении необходимое количество удаляемого воздуха рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{G}{C_1 - C_2}, \quad (4.1)$$

где L – количество воздуха, удаляемого из помещения, м³/ч; G – масса вредных выделений, поступающих в помещение, мг/ч; C_1 – концентрация вредного вещества в удаляемом воздухе ($C_1 = \text{ПДК}_{\text{с.с.}}$), мг/м³ (табл. 4.1). При ее отсутствии принимается $\text{ПДК}_{\text{с.с.}} = 0,2 \text{ ПДК}_{\text{м.р.}}$; C_2 – концентрация вредного вещества в приточном воздухе ($C_2 \leq 0,3 \text{ ПДК}_{\text{с.с.}}$), мг/м³.

Кратность воздухообмена K показывает, сколько раз в течение часа сменится воздух в помещении, и рассчитывается по формуле:

$$K = L/V, \quad (4.2)$$

где V – объем помещения, м³.

Если величина K получается больше 10, то в помещении вместе с общеобменной вентиляцией рекомендуется применить местную вытяжную вентиляцию у источников выделения вредных веществ.

4.2. Задание к работе и порядок расчета

Выполнить расчет общеобменной вентиляции для производственного участка и рассчитать кратность воздухообмена.

Исходные данные для расчета и варианты заданий приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Варианты заданий

Вариант	Участок	Размеры помещения (длина, ширина, высота), м
1	2	3
1	На участке находятся 4 ванны никелирования, из каждой выделяется 0,3 г/ч никеля	24×12×8
2	На формовочном участке выделяется 15 г/ч пыли, содержащей 50% оксида кремния	24×12×10
3	На сварочном участке выделяется 0,1 г/ч аэрозоли марганца	12×18×10
4	На плавильном участке выделяется 20г/ч пыли, содержащей 75% оксида кремния	24×24×12
5	На шлифовальном участке выделяется 30г/ч пыли, содержащей 90% железа	8×6×6

1	2	3
6	На участке находятся 2 установки кадмиевого покрытия, из каждой выделяется 0,3 г/ч кадмия	24×8×8
7	На участке при пайке выделяется 0,02 г/ч свинца	12×6×6
8	На гальваническом участке находятся 2 ванны травления, из каждой выделяется 1 г/ч фтористого водорода	12×12×7
9	На участке штамповки находятся 6 штампов, из каждого выделяется 10 г/ч аэрозолей масла	24×12×8
0	На кузнечном участке выделяется 12 г/ч смазки (графит)	10×8×6

Порядок расчета

В зависимости от производственного участка и вредных веществ, присутствующих на нем, необходимо:

- определить ПДК вредного вещества;
- определить количество вредных веществ (G , мг/ч), поступающих в помещение,;
- рассчитать объем воздуха, удаляемого из помещения;
- рассчитать кратность воздухообмена.

Сделать заключение по расчету.

5. РАСЧЕТ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ ВЛАГОВЫДЕЛЕНИЙ

ЗАДАЧА 5

5.1. Расчет воздухообмена при наличии влаговыделений

При наличии влаговыделений в воздухе рабочей зоны необходимо уменьшить величину относительной влажности воздуха до допустимой величины.

Например, участок мойки отливок характеризуется высокой влажностью воздуха рабочей зоны (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Участок мойки отливок

Количество воздуха, необходимое для удаления избытков влаги, вычисляется по формуле:

$$L = \frac{G}{\rho_{уд} \cdot \left(\frac{\varphi_{уд}}{100} \cdot d_{уд} - \frac{\varphi_{пр}}{100} \cdot d_{пр} \right)}, \quad (5.1)$$

где L – объем воздуха, удаляемого из помещения, м³/ч; G – масса влаги, выделяемая источниками, г/ч; $\rho_{уд}$ – плотность удаляемого воздуха (при температуре воздуха в помещении), кг/м³ (табл. 5.1); $\varphi_{уд}$ – относительная влажность удаляемого воздуха (внутри помещения на рабочем месте), %; $d_{уд}$ – содержание влаги в воздухе помещения, г/кг (формула (5.2)); $\varphi_{пр}$ – относительная влажность приточного (наружного) воздуха, % (табл. 5.3); $d_{пр}$ – содержание влаги в приточном воздухе, г/кг (формула (5.3)):

$$d_{уд} = A_{уд} / \rho_{уд}, \text{ г/кг}; \quad (5.2)$$

$$d_{\text{пр}} = A_{\text{пр}} / \rho_{\text{пр}}, \text{ г/кг}, \quad (5.3)$$

где $A_{\text{уд}}$ – абсолютная влажность удаляемого воздуха, г/м³ (табл.5.2);
 $A_{\text{пр}}$ – абсолютная влажность приточного воздуха, г/м³ (табл. 5.2);
 $\rho_{\text{пр}}$ – плотность приточного (наружного) воздуха, кг /м³ (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Плотность воздуха при разной температуре

Температура, t , °C	Плотность воздуха, ρ , кг/м ³
-20	1,395
-15	1,369
-10	1,342
-5	1,318
0	1,293
10	1,247
15	1,226
20	1,205
25	1,186

Таблица 5.2

Перевод относительной влажности в абсолютную в зависимости от температуры воздуха при атмосферном давлении

Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %										
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
	Абсолютная влажность, г/м ³										
30	9,1	10,5	12,1	13,5	15,2	16,5	18,2	19,7	21,3	22,6	24,3
27	7,7	9,1	10,3	11,6	12,8	14,2	15,4	16,8	17,9	19,4	20,5
25	6,9	8,0	9,2	10,3	11,5	12,6	13,8	15	16,1	17,1	18,4
22	5,8	6,8	7,4	8,8	9,7	10,7	11,6	12,7	13,5	14,6	15,5
20	5,2	6,0	6,9	7,7	8,7	9,4	10,4	11,3	12,1	12,9	13,8
15	3,9	4,5	5,1	5,7	6,4	7,0	7,7	8,4	9	9,6	10,3
13	3,4	4,0	4,5	5,1	5,7	6,3	6,8	7,4	7,9	8,5	9,0
10	2,8	3,3	3,8	4,2	4,7	5,1	5,6	6,1	6,6	7,2	7,5
5	2	2,4	2,7	3,1	3,4	3,7	4,1	4,4	4,8	5,5	5,4
0	1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	4,1	3,9
-5	1,1	1,3	1,5	1,6	1,8	2	2,1	2,3	2,5	2,5	2,6
-7	1	1,13	1,4	1,5	1,7	1,8	2,1	2,2	2,4	2,4	2,7
-10	0,7	0,75	0,9	0,97	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,9
-12	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
-15	0,5	0,48	0,6	0,62	0,8	0,76	1	1	1,1	1,0	1,3
-17	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1	1	1,1
-20	0,3	0,31	0,35	0,4	0,44	0,45	0,53	0,57	0,62	0,66	0,7

5.2. Задание к работе и порядок расчета

Выполнить расчет воздухообмена для общеобменной вентиляции согласно исходным данным, приведенным в табл. 5.3. Температуру удаляемого воздуха принять равной +22 °С.

Порядок расчета

В зависимости от параметров приточного воздуха необходимо:

- определить количество влаги, поступающей в помещение;
- рассчитать объем воздуха, подаваемого в помещение;
- рассчитать кратность воздухообмена.

Сделать заключение по расчету.

Таблица 5.3

Исходные данные и варианты заданий

№	Выделяется влаги G , г/ч	Температура приточного воздуха, °С	Относительная влажность приточного воздуха, %
1	3500	12	60
2	2900	-15	55
3	2000	13	50
4	1800	-14	45
5	1200	13	40
6	350	-16	35
7	1500	12	30
8	550	-13	35
9	4500	14	40
0	1650	-12	45

6. РАСЧЕТ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ ИЗБЫТКОВ ЯВНОГО ТЕПЛА

ЗАДАЧА 6

6.1. Расчет воздухообмена при наличии избытков явного тепла

При наличии избытков явного тепла в рабочей зоне необходимо уменьшить температуру воздуха рабочей зоны до допустимой величины.

Заливочный участок (литейное производство) характеризуется высокой интенсивностью теплового излучения и повышенной температурой воздуха (рис. 6.1)



Рис. 6.1. Заливочный участок

При выделении избытков тепла в помещении необходимый воздухообмен L , ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяется из выражения:

$$L = \frac{Q_{\text{изб}}}{C_v \cdot \rho_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{уд}} - t_{\text{пр}})}, \quad (6.1)$$

где $Q_{\text{изб}}$ – избыточная теплота, $\text{кДж}/\text{ч}$; C_v – удельная теплоемкость приточного воздуха, $\text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{К}$ (табл. 6.1); $\rho_{\text{пр}}$ – плотность приточного (наружного) воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$ (табл. 6.1); $t_{\text{уд}}$ – температура удаляемого воздуха, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{пр}}$ – температура приточного (наружного) воздуха, $^{\circ}\text{C}$ (табл. 6.3).

Исходными данными для расчета производительности вентиляционной установки служит объем воздуха, удаляемого из помещения.

Производительность радиального вентилятора (L_B) определяется по выражению:

$$L_B = 1,1 \cdot L, \quad (6.2)$$

где L – необходимый воздухообмен, рассчитанный при наличии избытков явного тепла, м³/ч.

Вентилятор выбирается по табл. 6.2 в зависимости от необходимого воздухообмена.

Таблица 6.1

Плотность и теплоемкость воздуха

$t, ^\circ C$	Плотность воздуха, ρ , кг/м ³	Теплоемкость C_B , кДж/кг·К,
-20	1,395	1009
-15	1,369	1009
-10	1,342	1009
-5	1,318	1007
0	1,293	1005
10	1,247	1005
15	1,226	1005
20	1,205	1005
25	1,186	1005
30	1,165	1005

Таблица 6.2

Радиальные вентиляторы

Обозначение вентилятора	Электродвигатель		Производительность, м ³ /ч
	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	
Вентилятор ВР 80-75 № 2,5	0,25	1500	400 - 900
Вентилятор ВЦП 7-40-2,5	2,2	3000	730-1500
Вентилятор ВЦП 7-40-3,15	3,0	3000	1530-3300
Вентилятор ВЦП 7-40-4	4,0	3000	2500-4900
Вентилятор ВЦП 7-40-5	5,5	1500	2200-5000
Вентилятор ВЦП 7-40-6,3	7,5	1500	5700-9400
Вентилятор ВЦП 7-40-8	18,5	1500	8000-16000
Вентилятор ВЦП 7-40-10	22	1000	12240-32400
Вентилятор ВЦП 7-40-12,5	30	750	19000-48600
Вентилятор ВЦП 7-40-60	75	1500	24400÷66250

6.2. Задание к работе и порядок расчета

Выполнить расчет воздухообмена и выбрать радиальный вентилятор для общеобменной вентиляции.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Исходные данные и варианты заданий

№	Избыточная теплота $Q_{\text{изб}}$, ГДж/ч	Температура приточного воздуха, °С
1	550	12
2	200	-15
3	250	13
4	240	-14
5	300	13
6	350	-16
7	400	12
8	450	-13
9	500	14
0	370	-12

Принять температуру удаляемого воздуха (на рабочем месте) равной +22°С.

Сделать заключение по работе.

7. РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

ЗАДАЧА 7

7.1. Методика расчета общего искусственного освещения

Основной задачей расчета освещения является определение количества светильников для системы общего освещения.

Расчет освещения начинается с выбора светильника в зависимости:

- от типа применяемого источника света (ртутные лампы (ДРЛ), люминесцентные лампы (ЛЛ), светодиодные лампы (СДЛ), лампы накаливания (ЛН) и др.);
- способа установки (подвесной, потолочный, настенный и т.д.);
- основного назначения (для промышленных и производственных зданий, для общественных зданий, наружного освещения и др.);
- климатического исполнения (для районов с умеренным климатом, холодным климатом, сухим и влажным);
- категории размещения (для эксплуатации в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями, в помещениях с повышенной влажностью, для эксплуатации на открытом воздухе).

В табл. 7.5, 7.6, 7.7 представлены светильники для общего освещения производственных помещений с ртутными, люминесцентными и светодиодными лампами соответственно.

По табл. 7.5, 7.6, 7.7 для выбранного светильника уточняется число ламп в нем и их мощность. В табл. 7.8 и 7.9 даны технические характеристики дуговых и люминесцентных ламп соответственно.

Определение необходимого количества светильников (N) производится по формуле:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot K_3}{n \cdot F_{\text{л}} \cdot \eta}, \quad (7.1)$$

где E – нормируемая освещенность, лк.

Величина необходимой нормируемой освещенности на рабочих местах производственных помещений определяется по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» в зависимости от характеристики зрительной работы (зависит от наименьшего размера объекта различения), фона, контраста объекта различения с фоном по табл. 7.4.

По наименьшему размеру объекта различения определяется точность выполняемой работы (разряды от I по VIII).

Фон – это поверхность, на которой рассматривается объект различения. Фон зависит от коэффициента отражения поверхности. Фон может быть светлым $\rho > 0,4$ (белая бумага), средним $\rho = 0,2 - 0,4$ (металлическая поверхность), темным $\rho < 0,2$ (темная поверхность).

Контраст (K) объекта различения с фоном определяется отношением абсолютной величины разности между яркостью объекта и фона к яркости фона.

Контраст объекта различения с фоном считается:

- большим – при K более 0,5 (объект и фон резко отличаются по яркости – черный и белый цвет);
- средним – при K от 0,2 до 0,5 (объект и фон заметно отличаются по яркости – белый и серый цвет);
- малым – при K менее 0,2 (объект и фон мало отличаются по яркости – белый и желтый цвет).

Подразряд зрительной работы (а, б, в, г) определяется сочетанием фона и контраста объекта различения с фоном (табл. 7.4).

S – освещаемая площадь, m^2 , z – коэффициент минимальной освещенности (принимается $z = 1,15$ для ламп ДРЛ, $z = 1,10$ для ЛЛ и СДЛ); K_3 – коэффициент запаса, учитывает, снижение освещенности в процессе эксплуатации (табл. 7.11); n – число ламп в светильнике; $F_{л}$ – световой поток лампы в светильнике (табл. 7.7 – для СДЛ, табл. 7.8 – для ДРЛ и табл. 7.9 – для ЛЛ); η – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока η определяется по табл. 7.12 (для светильников с лампами ДРЛ), табл. 7.13а и 7.13б (для светильников с ЛЛ и СДЛ соответственно) в зависимости от показателя «группа светильника» (для ЛЛ – табл. 7.6), а для ДРЛ – от «типа светильника» (табл. 7.12), с учетом коэффициентов отражения потолка стен и пола $\rho_{пот}$, $\rho_{стен}$, $\rho_{пола}$ (табл. 7.10) и индекса помещения i .

Индекс помещения рассчитывается по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (7.2)$$

где A , B – длина и ширина помещения, м; H_p – высота подвеса светильников (расстояние от рабочей поверхности до светильника):

$$H_p = H - h_p - h_c, \quad (7.3)$$

где H – высота помещения; h_p – высота рабочего места (принять 0,8 м при работе сидя, 1,0 м при работе стоя); h_c – высота свеса (расстояние от потолка до светильника, рис. 7.1).

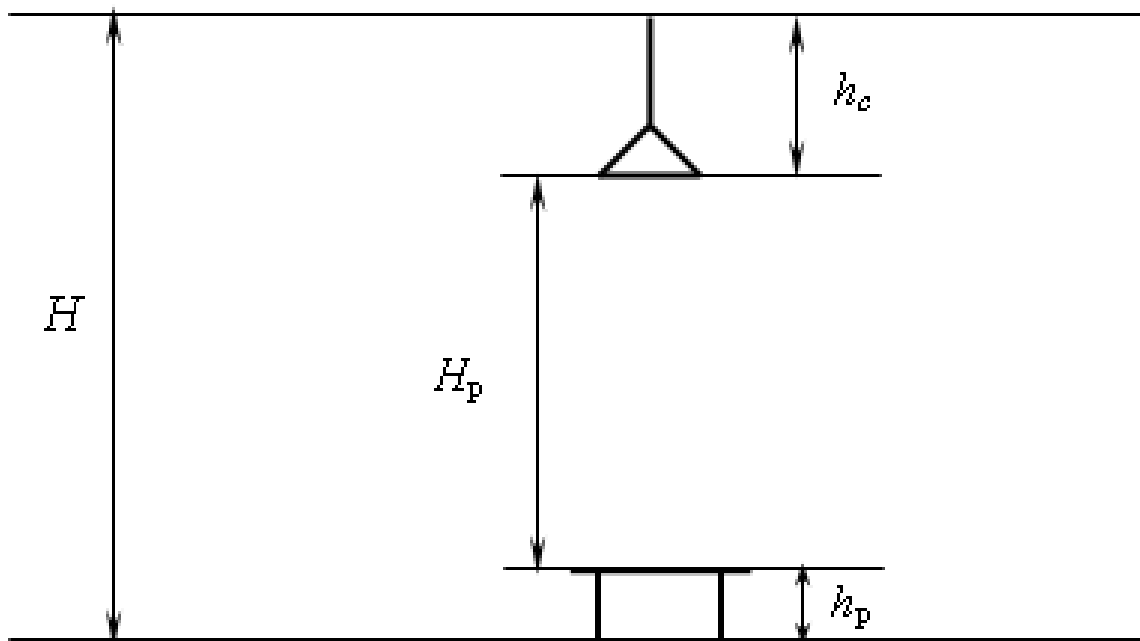


Рис. 7.1. Высота подвеса светильника

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены принимаем равным $0,5 H_p$.

Количество рядов светильников:

$$n = \frac{B - 0,5H_p}{H_p} + 1. \quad (7.4)$$

7.2. Задание к работе и порядок расчета

Рассчитать количество светильников для производственного помещения, в котором применяется система общего равномерного освещения.

Расчет выполняется по методу коэффициента использования светового потока.

Исходные данные для расчета:

- назначение производственного участка;
- размеры помещения, м;
- цвет потолка, стен, пола;
- тип лампы для системы освещения (ЛЛ – люминесцентная, СДЛ – светодиодная, ДРЛ – дуговая ртутная).

Варианты заданий приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Исходные данные и варианты заданий

№	Наименование производственного участка, цеха	Размеры помещения, м:			Тип лампы
		длина	ширина	высота	
0	Механосборочный цех	24	12	8	ЛЛ
1	Участок токарных станков	36	12	6	ЛЛ
2	Вычислительный центр	12	12	4	СДЛ
3	Кузнечный участок	15	10	8	ДРЛ
4	Бухгалтерия	12	6	4	СДЛ
5	Участок ручной электродуговой сварки	18	9	6	ЛЛ
6	Цех сборки автомобилей	48	24	8	ДРЛ
7	Плавильный участок	24	24	15	ДРЛ
8	Гальванический участок	12	10	6	ЛЛ
9	Термическое отделение	24	18	9	ДРЛ

Порядок расчета

В зависимости от заданного рабочего места (табл. 7.1) определить:

- 1) объект различения при выполнении зрительной работы и его наименьший размер, который необходимо различать в процессе работы;
- 2) контраст объекта различения с фоном и характеристику фона;
- 3) характеристику зрительной работы (по табл. 7.4 с учетом пунктов 1 и 2);
- 4) разряд и подразряд зрительной работы (по табл. 7.4 с учетом пунктов 1, 2, 3);
- 5) сравнить полученные по пункту 4 разряд и подразряд с рекомендуемыми (табл. 7.14) и обосновать расхождения.

По СанПиН 1.2.3685-21 установить нормированную освещенность (E_n) по табл. 7.4 для системы общего искусственного освещения и заполнить табл. 7.2.

Таблица 7.2

Характеристики зрительной работы и нормы освещенности

Параметр	Наименование
Рабочее место	
Объект различения	
Характеристика зрительной работы	
Наименьший размер объекта различения, мм	
Разряд зрительной работы	
Подразряд зрительной работы	
Контраст объекта различения с фоном	
Характеристика фона	
Искусственное общее освещение, освещенность, лк	

Выбрать тип светильника (табл. 7.5, 7.6, 7.7), тип лампы и ее световой поток (табл. 7.8, 7.9, 7.7).

Рассчитать количество светильников по формуле (7.1), заполнить табл. 7.3.

Привести эскиз помещения, как показано на рис. 7.2, с предлагаемой схемой расположения светильников (размеры светильников принимать по табл. 7.5, 7.6, 7.7).

Сделать вывод по расчету.

Таблица 7.3

Результаты расчета системы общего искусственного освещения

Параметр	Величина параметра
Производственное помещение	
Норма освещенности, лк	
Тип светильника	
Тип лампы	
Световой поток лампы, лм	
Коэффициенты отражения: (по табл. 7.11) - потолка $\rho_{\text{пот}}$ - стен $\rho_{\text{стен}}$ - пола $\rho_{\text{пола}}$	
Коэффициент использования светового потока, % (по табл. 7.12, 7.13)	
Количество светильников	

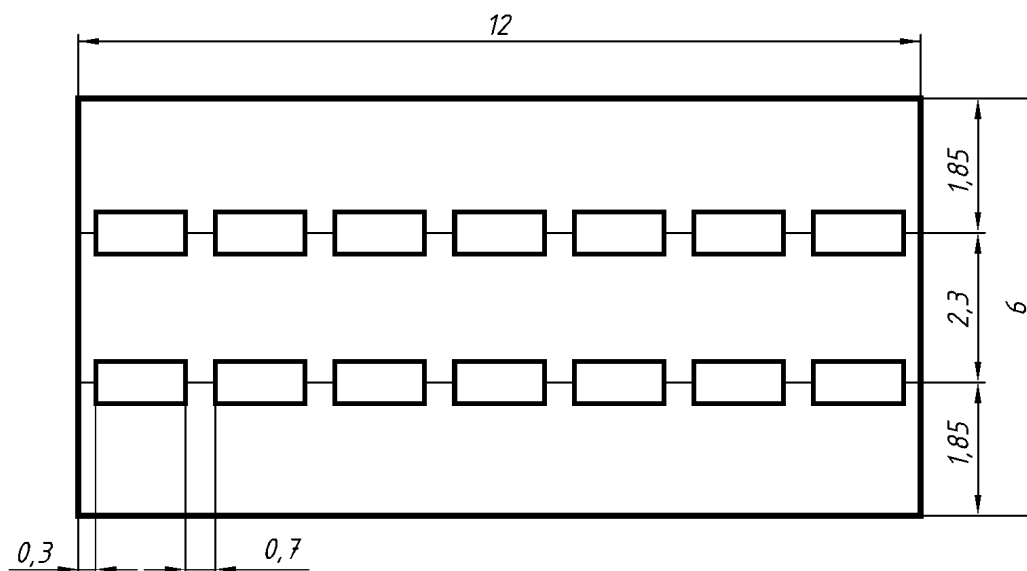


Рис.7.2. План помещения с размещением светильников

Таблица 7.4

Нормирование освещения рабочих мест на промышленных предприятиях

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение. Освещенность, лк		
						при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения
						всего	в том числе общее	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	Малый	Темный	5000	500	–
			б	Малый	Средний	4000	400	1250
				Средний	Темный	3500	400	1000
			в	Малый	Светлый	2500	300	750
				Средний	Средний	2500	300	750
				Большой	Темный	2000	200	600
			г	Средний	Светлый	1500	200	400
Большой	Светлый	1500		200	400			
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	а	Малый	Темный	4000	400	–
			б	Малый	Средний	3000	300	750
				Средний	Темный	2500	300	600
			в	Малый	Светлый	2000	200	500
				Средний	Средний	2000	200	500
				Большой	Темный	1500	200	400
			г	Средний	Светлый	1000	200	300
				Большой	Светлый	1000	200	300
Большой	Средний	750		200	200			
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	а	Малый	Темный	2000	200	500
			б	Малый	Средний	1000	200	300
				Средний	Темный	750	200	200

Окончание табл. 7.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750 750 600	200 200 200	300 300 200
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	400	200	200
Средней точности	Св. 0,5 до 1,0	IV	а	Малый	Темный	750	200	300
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200	200
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	–	–	200
Малой точности	Св. 1 до 5	V	а	Малый	Темный	400	200	300
			б	Малый Средний	Средний Темный	–	–	200
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	–	–	200
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	–	–	200
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI	–	Независимо от ха- рактеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	200

Таблица 7.5

Светильники с лампами ДРЛ для производственных помещений

Обозначение светильника	Мощность лампы, Вт	Габариты (D×H), мм	Исполнение по пылезащите
РСП 05-125	125	336 × 390	Незащищенное
РСП 05-250	250	395 × 552	
РСП 05-400	400	490 × 607	
РСП 05-700	700	537 × 635	
РСП 05-1000	1000	610 × 677	
РСП 08-80	80	340 × 460	
РСП 08-125	125	340 × 460	
РСП 08-250	250	398 × 525	
РСП 07-125	125	298 × 470	Частично пылезащищенное
РСП 07-250	250	348 × 545	
РСП 07-400	400	435 × 630	
РСП 51-125	125	300 × 540	Полностью пыленепроницаемое
РСП 51-250	250	400 × 575	
РСП 51-400	400	470 × 625	
РСП-400	400	448 × 647	Повышенной надежности против взрыва

Таблица 7.6

Светильники с люминесцентными лампами

Тип светильника	Количество ламп	Мощность лампы, Вт	Габаритные размеры, мм			Группа
			длина	ширина	высота	
ЛВО 4×18	4	18	595	595	110	12
ЛПО 01-2×40	2	40	1313	255	118	8
ЛПО 01-2×65	2	65	1613	255	118	
ЛПО 01-4×40	4	40	1313	530	127	
ЛПО 01-4×65	4	65	1613	530	127	
ЛСП 02-2×40	2	40	1234	276	156	1
ЛСП 02-2×65	2	65	1534	276	168	
ЛСП 02-2×80	2	80	1539	276	176	
ПВЛМ-1×40	1	40	1325	90	160	-
ПВЛМ-1×80	1	80	1625	148	160	
ПВЛМ-2-40	2	40	1325	90	160	
ПВЛМ-2×80	2	80	1625	148	160	
НОГЛ-1×40	1	40	1350	130	180	-
НОГЛ-2×40	2	40	1675	280	180	
НОГЛ-1×80	1	80	1350	130	180	
НОГЛ-2×80	2	80	1675	280	180	

Таблица 7.7

Светодиодные светильники

Тип светильника	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Размеры, мм
ULT-Q215	36	2700	1255 × 75 × 30
SLPL-02 51/5600	51	5600	1300 × 80 × 35
AL-PL 01 GR 50	50	5600	588 × 588 × 40
Вартон	36	3800	595 × 595 × 50

Таблица 7.8

Технические характеристики ламп ДРЛ

Параметр	Тип лампы				
	ДРЛ-80	ДРЛ-125	ДРЛ-250	ДРЛ-400	ДРЛ-700
Мощность, Вт	80	125	250	400	700
Световой поток, лм	3200	5600	11 000	19 000	35 000
Световая отдача, лм/Вт	35	38,5	40	45	47
Срок службы, ч	7500	7500	7500	7500	7500

Таблица 7.9

Технические характеристики люминесцентных ламп

Параметр	Тип лампы					
	ЛБ - 18	ЛБ-20	ЛБ-40	ЛБ-65	ЛБ-80	ЛБ-125
Мощность, Вт	18	20	40	65	80	125
Световой поток, лм	1060	1180	3000	4650	4500	6500
Световая отдача, лм/Вт	59	49	62	72	54	52
Срок службы, ч	12000	10000	10000	10000	10000	10000

Таблица 7.10

Значения коэффициентов отражения ρ

Характер отражающей поверхности	Коэффициент отражения, %
Белый	70
Кремовый	60
Светло - желтый	60
Светло - бежевый	60
Желтый	50
Светло - серый	50
Серый	40
Зеленый	40
Светло - голубой	40
Бежевый	30
Коричневый	20
Темно - серый	20
Черный	10

Таблица 7.11

Коэффициенты запаса K_z

Помещения	Примеры помещений	Коэффициенты запаса, K_z
1. Производственные помещения, содержащие в воздушной среде рабочей зоны:		
а) св. 5 мг/м ³ пыли	Формовочные отделения	2
б) от 1 до 5 мг/м ³ пыли	Цехи кузнечные, литейные	1,8
в) менее 1 мг/м ³ пыли	Цехи механосборочные	1,5
г) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, обладающих большой корродирующей способностью	Цехи химических заводов, цехи гальванических покрытий	1,8
2. Производственные помещения с особым режимом по чистоте воздуха	Сборка печатных плат	1,4
3. Помещения общественных зданий с нормальными условиями среды	Кабинеты, учебные помещения	1,4

Таблица 7.12

Коэффициенты использования светового потока η светильников с лампами ДРЛ

Коэффициент отражения	Тип светильника														
	РСП05, РСП08					РСП07, РСП 51					РСП				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$\rho_{\text{пот}}, \%$	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{стен}}, \%$	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{пола}}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициенты использования, $\eta, \%$														
0,5	51	49	45	42	41	23	22	18	12	12	33	29	27	22	20
0,6	56	54	49	46	45	30	30	22	18	16	38	37	31	27	26
0,7	60	57	53	50	50	35	32	27	21	20	43	41	35	32	31
0,8	63	60	56	53	53	40	38	30	25	23	46	44	38	35	34
0,9	66	63	58	56	55	43	39	33	29	26	49	47	41	38	37
1,0	68	65	61	59	57	47	40	37	31	29	52	49	44	40	39
1,1	70	67	62	60	59	50	44	40	33	31	54	51	46	43	41
1,25	73	68	64	62	61	53	50	42	37	34	57	54	48	45	44
1,5	78	71	68	63	64	58	54	46	41	38	62	57	53	49	48
1,75	81	73	70	68	66	62	57	50	44	41	66	60	56	52	51

Окончание табл. 7.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2,0	82	74	72	69	67	66	60	54	48	44	68	62	58	54	53
2,25	84	75	72	70	68	68	62	56	50	45	70	63	59	53	55
2,25	84	75	72	70	68	68	62	56	50	45	70	63	59	53	55
2,5	85	76	73	71	69	70	64	58	52	47	72	65	61	58	56
3,0	86	78	74	73	70	74	67	60	56	50	74	67	62	60	58
3,5	87	78	75	74	71	77	70	62	58	52	76	68	64	62	59
4,0	89	79	76	74	72	79	77	63	59	53	77	69	65	63	60

Таблица 7.13а

**Коэффициенты использования светового потока светильников
с люминесцентными и светодиодными лампами**

Коэффициент отражения	Тип светильника														
	Группа 1					Группа 8					Группа 12 и СДЛ				
$\rho_{\text{пот}}, \%$	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{стен}}, \%$	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{пола}}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициенты использования, %														
0,5	28	27	21	18	16	23	20	20	17	10	21	19	19	16	11
0,6	33	32	25	22	20	28	26	24	20	14	24	23	22	18	14
0,7	38	36	30	26	24	32	30	28	24	17	28	26	25	21	18
0,8	42	39	33	29	28	35	33	30	26	19	30	28	27	24	20
0,9	46	42	37	32	31	38	35	33	29	21	33	30	30	26	22
1,0	49	45	40	35	34	41	38	35	31	23	35	32	32	28	24
1,1	52	48	42	38	36	43	40	37	33	25	37	34	33	30	26
1,25	55	50	45	40	42	45	41	38	35	27	39	36	35	32	28
1,5	60	54	49	45	44	49	45	42	38	30	42	38	38	35	31
1,75	63	57	52	48	47	52	47	44	41	32	45	41	40	37	33
2,0	65	59	55	51	49	54	49	45	42	33	46	42	41	39	35
2,25	66	62	57	53	52	56	51	47	44	35	48	44	42	40	36
2,5	70	63	58	55	54	60	54	50	48	38	52	46	45	43	40
3,0	73	65	61	58	56	62	55	51	49	39	53	47	46	44	41
3,5	75	67	62	60	58	64	56	52	50	40	54	48	47	45	42
4,0	77	58	64	61	59	67	59	54	53	43	57	50	49	47	44

Таблица 7.13б

**Коэффициенты использования светового потока светильников
с люминесцентными лампами**

Коэффициент отражения	Тип светильника														
	Группа 15					ПВЛМ					НОГЛ				
$\rho_{\text{пот}}, \%$	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{стен}}, \%$	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{пола}}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициенты использования, %														
0,5	21	20	19	15	12	28	27	20	13	11	27	26	17	12	11
0,6	25	24	23	19	15	33	32	22	17	14	31	30	21	16	14
0,7	29	27	26	22	19	38	36	27	20	17	36	34	25	20	17
0,8	31	29	28	25	21	42	40	30	23	20	39	37	28	22	20
0,9	34	32	31	27	23	47	44	34	26	22	43	40	35	25	22
1,0	37	34	33	30	25	51	47	37	29	25	47	43	34	28	25
1,1	39	35	35	31	27	54	50	39	31	27	50	46	37	30	27
1,25	41	27	36	33	29	57	53	42	34	29	52	48	39	32	29
1,5	44	40	39	36	32	63	57	47	38	33	58	52	44	36	33
1,75	46	42	41	39	35	67	61	50	42	36	61	56	47	40	36
2,0	48	44	42	40	36	70	63	53	44	38	64	58	49	42	38
2,25	50	45	44	42	38	73	66	55	47	40	67	60	51	44	40
2,5	54	48	47	45	41	76	68	57	49	42	69	63	53	47	41
3,0	55	49	48	46	42	80	71	60	52	44	73	65	56	50	44
3,5	56	50	49	47	43	82	73	62	54	46	75	67	58	52	46
4,0	59	52	50	49	46	85	75	64	56	48	78	69	60	54	47

Таблица 7.14

Разряд зрительной работы

№	Цех, участок	Разряд зрительной работы	Условия среды в помещении
0	Механосборочный цех	2 в	Нормальные
1	Участок токарных станков	2 в	Нормальные
2	Вычислительный центр	3в	Чистое
3	Кузнечный участок	4 в	Пыльное
4	Бухгалтерия	3 г	Чистое
5	Участок ручной электродуговой сварки	7	Пыльное, жаркое
6	Цех сборки автомобилей	3 б	Пыльное
7	Плавильный участок	7	Пыльное, жаркое
8	Гальванический участок	3в	Влажное, агрессивная среда
9	Участок термической обработки	4в	Пыльное, жаркое

8. РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

ЗАДАЧА 8

8.1. Методика расчета естественного освещения

При проектировании естественного освещения помещений необходимо обеспечить нормированное значение коэффициента естественного освещения (КЕО) в соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Нормативные величины КЕО для естественного освещения в зависимости от различного назначения помещений приведены в табл. 8.2.

Нормируемые значения КЕО (e_n) для зданий, располагаемых в различных районах, следует определять по формуле:

$$e_n = e_n \cdot m, \quad (8.1)$$

где n – номер группы обеспеченности естественным светом по табл. 8.3; e_n – значение КЕО по табл. 8.2; m – коэффициент светового климата (табл. 8.4).

Основной задачей расчета естественного освещения является выбор типа, определение расположения и суммарной площади световых проемов, при которых в помещении обеспечивается удовлетворительный световой режим и микроклимат.

В начале расчета определяется общая требуемая площадь световых проемов. Затем для бокового освещения подбирается площадь окна, исходя из архитектурно-художественного решения фасада, и рассчитывается количество окон. Стандартные размеры окон приведены в табл. 8.5.

Расчет площади световых проемов при боковом освещении определяется по следующей формуле:

$$100 \cdot \frac{S_o}{S_n} = \frac{e_n \cdot K_3 \cdot \eta_o}{\tau_o \cdot r_1} \cdot K_{зд}, \quad (8.2)$$

где S_o – площадь световых проемов при боковом освещении, m^2 ; S_n – площадь пола помещения, m^2 ; e_n – нормируемое значение КЕО, %; K_3 – коэффициент запаса, принимают по табл. 8.6; η_o – световая характеристика окон, принимают по табл. 8.7. Уровень рабочей поверхности при работе сидя принимаем 0,8 м, при работе стоя – 1 м; τ_o – общий коэффициент светопропускания, определяют по формуле 8.3; r_1 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отражен-

ному от поверхности помещения и подстилающего слоя, примыкающего к зданию, принимают по табл. 8.8.

Расчетное значение средневзвешенного коэффициента отражения внутренних поверхностей помещения следует принимать равным 0,50 в жилых и общественных помещениях и 0,40 в производственных помещениях; $K_{зд}$ – коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями, принимают по табл. 8.9.

Общий коэффициент светопропускания определяют по формуле:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4, \quad (8.3)$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала принимают по табл. 8.10; τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светового проема, принимают по табл. 8.11; τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях, при боковом освещении $\tau_3 = 1$; τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, принимают по табл. 8.12.

8.2. Задание к работе и порядок расчета

Расчитать площадь окон для производственного помещения, в котором предусмотрено естественное освещение.

Исходные данные для расчета и варианты заданий приведены в табл. 8.1а, 8.1б, 8.1в.

Таблица 8.1а

Исходные данные и варианты заданий

Параметр	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
1	2	3	4	5
Рабочее помещение	Читальный зал	Проектный зал	Конструкторское бюро	Офис
Размеры помещения, м				
Длина, L	21	16	18	20
Ширина, B	8	9	12	12
Высота, H	4	4	4	4
Город	Москва	Орел	Челябинск	Пермь
Вид светопропускающего материала	Стеклопакеты	Стекло витринное толщиной 6 мм	Стекло оконное листовое двойное	Стеклопакеты
Солнцезащитные устройства	Регулируемые жалюзи	Стационарные жалюзи	Регулируемые жалюзи	Регулируемые жалюзи

Окончание табл. 8.1.а

1	2	3	4	5
Ориентация световых проемов	ЮЗ	Ю	С	В
Расстояние до противостоящего здания, P , м	30	100	90	110
Высота карниза противостоящего здания, $H_{зд}$, м	18	16	15	40

Таблица 8.1б

Исходные данные и варианты заданий

Параметр	Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7
Рабочее помещение	Кабинет	Учебная аудитория	Зал ЭВМ
Размеры помещения, м			
Длина, L	16	18	18
Ширина, B	12	10	12
Высота, H	4	4	4
Город	Псков	Липецк	Белгород
Вид светопропускающего материала	Стекло листовое солнцезащитное	Стеклопакеты	Стекло листовое солнцезащитное
Солнцезащитные устройства	Регулируемые жалюзи	Регулируемые жалюзи	Стационарные жалюзи
Ориентация световых проемов	СЗ	СВ	В
Расстояние до противостоящего здания, P , м	90	80	100
Высота карниза противостоящего здания, $H_{зд}$, м	20	16	14

Таблица 8.1в

Исходные данные и варианты заданий

Параметр	Вариант 8	Вариант 9	Вариант 0
1	2	3	4
Рабочее помещение	Чертежное бюро	Бухгалтерия	Офис
Размеры помещения, м			
Длина, L	20	16	24
Ширина, B	12	6	8
Высота, H	5	4	5

1	2	3	4
Город	Саратов	Краснодар	Самара
Вид светопропускающего материала	Стекло листовое двойное	Стекло листовое солнцезащитное	Стекло листовое армированное
Солнцезащитные устройства	Регулируемые жалюзи	Регулируемые жалюзи	Горизонтальные козырьки
Ориентация световых проемов	В	С	З
Расстояние до противостоящего здания, P , м	60	40	250
Высота карниза противостоящего здания, $H_{зд}$, м	15	25	16

Порядок расчета

В зависимости от назначения рабочего помещения необходимо:

- установить КЕО по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (табл. 8.2);
- определить нормированное значение КЕО при боковом освещении, учитывая группу административных районов (табл. 8.3) и коэффициент светового климата (табл. 8.4);
- рассчитать необходимую площадь оконных проемов по формуле (8.2);
- определить количество окон с учетом табл. 8.5.

Таблица 8.2

Нормирование естественного освещения в зависимости от назначения помещения

Помещения	Плоскость нормирования КЕО (Г–горизонтальная) и высота плоскости над полом, м	КЕО e_n , %	
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
1	2	3	4
Кабинеты, офисы	Г-0,8	3,0	1,0
Проектные залы, конструкторские, чертежные бюро	Г-0,8	4,0	1,5
Читальные залы	Г-0,8	3,5	1,2
Лаборатории	Г-0,8	3,5	1,2

Окончание табл. 8.2

1	2	3	4
Аналитические лаборатории	Г-0,8	4,0	1,5
Залы ЭВМ	Г-0,8	3,5	1,2
Рабочее место	Г-0,8	3,5	1,2

Таблица 8.3

Группы административных районов *n* по ресурсам светового климата

Номер группы, <i>n</i>	Административный район
1	Владимирская, Курганская, Московская, Нижегородская, Пермский край, Республика Татарстан, Тульская области, Челябинская области
2	Белгородская, Брянская, Курская, Липецкая, Магаданская, Орловская, Пензенская, Самарская, Саратовская, Сахалинская, Ульяновская области
3	Вологодская, Калининградская, Кировская, Костромская, Ленинградская, Новгородская, Псковская, Тверская, Ярославская области
4	Архангельская, Мурманская области
5	Астраханская, Амурская области, Краснодарский край, Приморский край, Ростовская область, Ставропольский край

Таблица 8.4

Коэффициенты светового климата *m* в зависимости от группы административного района и ориентации световых проемов по сторонам горизонта

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата <i>m</i>				
		Номер группы административных районов				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах зданий	С	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	СВ, СЗ	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	З, В	1	0,9	1,1	1,1	0,8
	ЮВ, ЮЗ	1	0,85	1	1,1	0,8
	Ю	1	0,85	1	1,1	0,75

Примечания: С – северное; СВ – северо-восточное; СЗ – северо-западное; В – восточное; З – западное; С-Ю – север-юг, В-З – восток-запад; Ю – южное; ЮВ – юго-восточное; ЮЗ – юго-западное.

Таблица 8.5

Стандартные размеры окон

Ширина, мм	570	720	870	1170	1320	1470	1770	2070	2370	2670
Высота, мм	580	860	1160	1320	1460	1760	2060	2175	2375	2755

Таблица 8.6

Коэффициент запаса K_3

Помещения	Примеры помещений	Коэффициенты запаса
1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне:		
а) св. 5 мг/м ³ пыли	Формовочные отделения	2
б) от 1 до 5 мг/м ³ пыли	Цехи кузнечные, литейные	1,8
в) менее 1 мг/м ³ пыли	Цехи механосборочные	1,5
г) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, обладающих большой корродирующей способностью	Цехи химических заводов, цехи гальванических покрытий	1,8
2. Производственные помещения с особым режимом по чистоте воздуха		1,4
3. Помещения общественных зданий с нормальными условиями среды	Кабинеты, учебные помещения	1,4

Таблица 8.7

Значения световой характеристики η_0 окон при боковом освещении

Отношение длины помещения к его глубине (L/B)	Значения световой характеристики η_0 при отношении глубины помещения к его высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна (B/H_T)							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
4 и более	6	7	7,5	8	9	10	11	12,5
3	7,5	8	8,5	9,6	10	11	12,5	14
2	8,5	9	9,5	10,5	11,5	13	15	17
1,5	9,5	10,5	13	15	17	19	21	23
1	11	15	16	18	21	23	26,5	29
0,5	18	23	31	37	45	54	66	-

Таблица 8.8

Значение коэффициента r_1

Отношение глубины помещения к высоте от уровня условной рабочей поверхности верха окна (B/H_T)	Отношение расстояния расчетной точки от наружной стены к глубине помещения (l/B)	Значения r_1 при боковом освещении								
		Средневзвешенный коэффициент отражения потолка, стен и пола								
		0,5			0,4			0,3		
		Отношение длины помещения к его глубине (L/B)								
		0,5	1	2 и более	0,5	1	2 и более	0,5	1	2 и более
От 1 до 1,5	0,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1,05	1	1
	0,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,2	1,1	1,1
	1	2,1	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3	1,4	1,3	1,2
Свыше 1,5 до 2,5	0	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1
	0,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05
	0,5	1,85	1,6	1,3	1,5	1,35	1,2	1,3	1,2	1,1
	0,7	2,25	2	1,7	1,7	1,6	1,3	1,55	1,35	1,2
	1	3,8	3,3	2,4	2,8	2,4	1,8	2	1,8	1,5
Свыше 2,5 до 3,5	0,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1	1	1	1
	0,2	1,15	1,1	1,05	1,1	1,1	1,05	1	1,05	1,05
	0,3	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,05	1,1	1,05
	0,4	1,35	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1	1	1	1,1
	0,5	1,6	1,45	1,3	1,35	1,25	1,2	1,25	1,15	1,1
	0,6	2	1,75	1,45	1,6	1,45	1,3	1,6	1,8	1,6
	0,7	2,6	2,2	1,7	1,4	1,7	1,4	1,6	1,5	1,3
	0,8	3,6	3,1	2,1	2,4	2,2	1,55	1,9	1,7	1,4
	0,9	5,3	4,2	3	2,9	2,45	1,9	2,2	1,85	1,5
	1	7,2	5,4	4,3	3,6	3,1	2,4	2,6	2,2	1,7
Свыше 3,5	0,1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1
	0,2	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,05	1,05
	0,3	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,25	1,2	1,1
	0,4	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,4	1,3	1,2
	0,5	3,4	2,9	2,5	2	1,8	1,5	1,7	1,5	1,3
	0,6	4,6	3,8	3,1	2,4	2,1	1,8	2	1,8	1,5
	0,7	6	4,7	3,7	2,9	2,6	2,1	2,3	2	1,7
	0,8	7,4	5,8	4,7	3,4	2,9	2,4	2,6	2,3	1,9
	0,9	9	7,1	5,6	4,3	3,6	3	3	2,6	2,1
	1	10	7,3	5,7	5	4,1	3,5	3,5	3	2,5

Таблица 8.9

Значения коэффициента $K_{зд}$, учитывающего затенение окон противостоящими зданиями в зависимости от отношения расстояния между рассматриваемым и противостоящим зданием P к высоте расположения карниза противостоящего здания над подоконником рассматриваемого окна, $H_{зд}$

$P / H_{зд}$	$K_{зд}$
0,5	1,7
1	1,4
1,5	1,2
2	1,1
3 и более	1

Таблица 8.10

Значения коэффициента τ_1

Вид светопропускающего материала		τ_1
1	Стекло оконное листовое:	
	а) одинарное	0,9
	б) двойное	0,8
	в) тройное	0,75
2	Стекло витринное толщиной 6-8 мм	0,8
3	Стекло листовое армированное	0,6
4	Стекло листовое узорчатое	0,65
5	Стекло листовое со специальными свойствами:	
	а) солнцезащитное	0,65
	б) контрастное	0,75
6	Пустотелые стеклянные блоки:	
	а) светорассеивающие	0,5
	б) светопрозрачные	0,55
7	Стеклопакеты	0,8

Таблица 8.11

Значения коэффициента τ_2

Вид переплета для окон промышленных зданий	τ_2
Переплеты деревянные одинарные	0,75
Переплеты деревянные спаренные	0,7
Переплеты деревянные двойные раздельные	0,6
Переплеты стальные одинарные открывающиеся	0,75
Переплеты стальные одинарные глухие	0,9
Переплеты стальные двойные открывающиеся	0,6
Переплеты стальные двойные глухие	0,8

Таблица 8.12

Значение коэффициента τ_4

Солнцезащитные устройства, изделия и материалы	τ_4
Убирающиеся регулируемые жалюзи и шторы (межстекольные внутренние, наружные)	1
Стационарные жалюзи и экраны с защитным углом не более 45° при расположении пластин жалюзи или экранов под углом 90° к плоскости окна:	
горизонтальные	0,65
вертикальные	0,75
Горизонтальные козырьки:	
с защитным углом не более 30°	0,8
с защитным углом от 15° до 45° (многоступенчатые)	0,9-0,6

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО УРОВНЯ ЗВУКА

ЗАДАЧА 9

9.1. Краткие сведения из теории

Шум – это совокупность звуков различной интенсивности и частоты, распространяющихся волнообразно в окружающей среде.

Характеристиками шума являются:

- частота звука, Гц. Диапазон слышимых частот составляет 20 - 20000 Гц;
- звуковое давление P , Па;
- уровень звукового давления L_p , дБ;

$$L_p = 20 \cdot \lg P / P_0, \quad (9.1)$$

где P – звуковое давление, Па; P_0 – пороговое звуковое давление на частоте 1000 Гц, $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па.

По источнику образования шумы классифицируются как механический, аэродинамический, гидродинамический и электромагнитный.

По характеру спектра звуковых колебаний шум подразделяется:

- на тональный (шум в пределах одной октавы);
- широкополосный (во всем спектре слышимых звуков).

Широкополосный шум измеряется уровнем звукового давления L_p в октавных полосах частот, для этого спектр шума делится на 9 октавных полос, у которых отношение верхней частоты к нижней частоте равно двум.

По временной характеристике различают:

- постоянный шум (за рабочий день меняется меньше, чем на 5 дБ);
- непостоянный шум (меняется во времени более чем на 5 дБ).

Характеристикой непостоянного шума является скорректированный по частоте эквивалентный уровень звука (L_A) в дБА, который измеряется на шкале A шумомера и имитирует восприятие шума ухом человека (хуже на низкой частоте и лучше на высоких частотах). Эквивалентный уровень звука применяется для ориентировочной оценки шума и при контроле непостоянного шума. Допустимый эквивалентный уровень звука равен 80 дБА

Эквивалентный уровень звука вычисляется по уровням звукового давления в октавных полосах частот в соответствии с формулой:

$$L_A = 10 \cdot \sum_{i=1}^n 10^{0.1 \cdot (L_i + \Delta K_i)}, \quad (9.2)$$

где L_i – уровень звукового давления в i -й полосе частот, дБ; ΔK_i – корректирующая поправка для среднегеометрических частот, дБ (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Корректирующие поправки для среднегеометрических частот, дБ

f	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔK_i	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1

9.2. Задание и порядок решения задачи

Рассчитать эквивалентный уровень звука источника шума в дБА, если известны уровни звукового давления в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами от 31,5 до 8000 Гц.

Сравнить полученный уровень с предельно допустимым значением и сделать вывод о необходимости применения средств защиты от шума.

Исходные данные для расчета, варианты заданий приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Исходные данные и варианты заданий

№	Источник шума	Уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Компрессорная установка	96	100	97	95	94	95	85	76	68
2	Компрессор	98	94	86	86	89	89	86	78	76
3	Двигатель	89	87	96	88	86	82	82	76	74
4	Турбина	88	84	80	83	86	82	81	76	74
5	Генератор паровой турбины	98	98	94	86	86	89	89	86	78
6	Сетевой насос	86	85	86	98	84	84	76	76	65
7	Насос	86	86	81	80	86	86	81	74	73
8	Конвейер	106	108	94	94	98	92	86	72	65
9	Вентилятор	106	107	92	93	96	92	85	71	62
0	Дробеструйная камера	104	106	94	93	97	90	86	72	63

Порядок расчета

- Определить эквивалентный уровень звука источника шума L_A .
- Сравнить полученное значение с допустимым уровнем звука.
Сделать вывод.

10. АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

ЗАДАЧА 10

10.1. Порядок акустического расчета

Целью акустического расчета является определение ожидаемых уровней звукового давления (L , дБ) в октавных полосах частот. Акустический расчет шума выполняют в соответствии с СП 51.13330.2011 «Защита от шума».

Акустический расчет производится для восьми октавных полос со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц.

Нормируемыми параметрами постоянного шума в расчетных точках являются уровни звукового давления L_p , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц.

Допустимые уровни звукового давления, дБ на рабочих местах в производственных зданиях следует принимать по табл. 10.1.

Таблица 10.1

Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах

Назначение помещений	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Помещения с постоянными рабочими местами производственных предприятий	95	87	82	78	75	73	71	69

Октавные уровни звукового давления L , дБ, в расчетной точке для одного источника шума следует определять по формуле:

$$L = L_w + 10 \cdot \lg \left(\frac{\chi \cdot \Phi}{\Omega \cdot r^2} + \frac{4}{k \cdot B} \right), \quad (10.1)$$

где L_w – октавный уровень звуковой мощности источника, дБ; χ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля. Определяется по табл. 10.2 в зависимости от соотношения r/l_{\max} (l_{\max} – длина оборудования); Φ – фактор направленности источника шума (для

источников с равномерным излучением $\Phi=1$); Ω – пространственный угол излучения источника, рад. (табл. 10.3); r – расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки, м; k – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении (табл. 10.4) в зависимости от коэффициента звукопоглощения α ; B – акустическая постоянная помещения, м², определяемая по формуле:

$$B = \frac{\alpha \cdot S_{\text{огр}}}{1 - \alpha}, \quad (10.2)$$

где α – коэффициент звукопоглощения; $S_{\text{огр}}$ – суммарная площадь ограждающих поверхностей помещения, м².

Таблица 10.2

Коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля

r/L_{max}	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2 и более
χ	3	2,5	2	1,6	1,25	1

Таблица 10.3

Пространственный угол излучения источника

Условия излучения	Ω , рад.
В полупространство – источник на полу	2π
Источник в двухгранном углу (на полу близко от одной стены)	π
Источник в трехгранном углу (на полу близко от двух стен)	$\pi/2$

Таблица 10.4

Коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении

$\alpha_{\text{ср}}$	0,2	0,4	0,5	0,6
k	1,25	1,6	2,0	2,5

10.2. Задание к работе и порядок расчета

Определить ожидаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот в расчетной точке.

Исходные данные и варианты заданий приведены в табл. 10.5 и 10.6. Принять коэффициент звукопоглощения поверхностей (потолка, стен, пола) в механических цехах $\alpha = 0,1$.

Таблица 10.5

Исходные данные и варианты заданий

№	Размеры помещения, м			Размеры оборудования, мм		Расстояние от источника до рабочего места r , м
	A	B	H	длина L	ширина B	
1	15	8	4	695	520	6
2	16	6	4,5	1210	725	6
3	18	6	5	1310	650	5
4	20	16	5	1382	686	7
5	15	6	4	1380	730	5
6	16	6	4,5	1310	690	6
7	20	10	5	1440	790	8
8	22	10	5	1805	935	10
9	24	12	5	810	1430	10
0	18	8	4,5	945	1520	7

Таблица 10.6

Уровни звуковой мощности источника шума

№	Уровни звуковой мощности источника шума L_w , дБ в октавных полосах частот, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	90	95	100	102	104	101	94	89
2	107	101	97	93	91	89	87	86
3	100	93	87	84	81	79	77	75
4	81	82	85	86	87	82	81	79
5	84	86	87	89	92	91	89	82
6	76	81	84	87	87	87	79	78
7	70	69	71	78	78	75	74	64
8	83	83	85	88	88	81	76	66
9	74	84	88	89	87	82	78	76
0	70	77	76	80	78	78	80	75

Порядок расчёта

- Рассчитать суммарную площадь ограждающих конструкций и эквивалентную площадь звукопоглощения.
- Определить акустическую постоянную помещения.
- Рассчитать уровни звукового давления в расчетной точке. Результаты оформить в виде табл. 10.7.

- Построить график зависимости уровней звукового давления в октавных полосах частот и график предельного спектра для производственных помещений, как показано на рис. 10.1.

Сделать вывод о соответствии рассчитанного уровня звукового давления допустимым значениям.

Таблица 10.7

Результаты расчета уровней звукового давления

Параметр	Октавные полосы частот, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_w , дБ								
L , дБ								
$L_{\text{доп}}$, дБ								
ΔL , дБ								

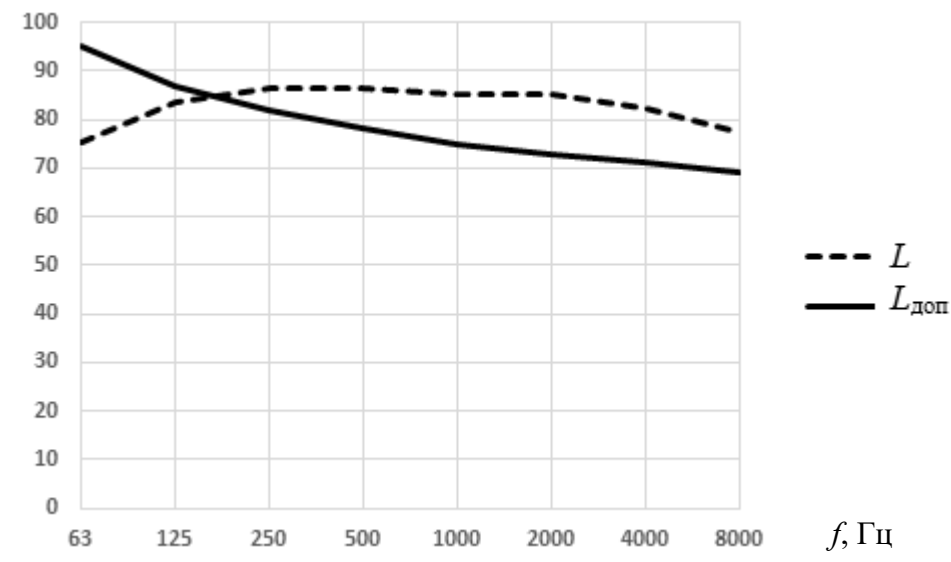


Рис. 10.1. Расчетные L и допустимые $L_{\text{доп}}$ значения уровней шума

11. РАСЧЕТ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

ЗАДАЧА 11

11.1. Краткие сведения из теории

Одним из вредных производственных факторов является вибрация.

По воздействию на организм человека различают:

- общую вибрацию, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека;
- локальную вибрацию, передающуюся через руки человека.

По источнику возникновения различают следующие категории общей вибрации:

- общую вибрацию категории 1 – транспортную вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств;
- общую вибрацию категории 2 – транспортно-технологическую вибрацию. К источникам относят: экскаваторы, краны, машины для загрузки печей бетоноукладчики, напольный производственный транспорт;
- общую вибрацию категории 3 – технологическую вибрацию.

Общую вибрацию категории 3 по месту действия подразделяют на следующие типы:

а) тип 3а – на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий. К источникам относят: станки, кузнечно-прессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, и др.;

б) тип 3б – на рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещениях, где нет машин, генерирующих вибрацию;

в) тип 3в – на рабочих местах в помещениях заводоуправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда;

г) общую вибрацию в жилых помещениях и общественных зданиях.

Допустимые нормы вибрации (табл. 11.1) установлены СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Для снижения вибрации применяют следующие способы: уменьшение вибрации в источнике, виброизоляция, виброгашение, вибродемфирование, применение средств индивидуальной защиты.

Предельно допустимые значения и уровни производственной вибрации

Вид вибрации	Категория вибрации	Направление действия по осям	Нормативные эквивалентные скорректированные значения и уровни виброускорения	
			м/с ²	дБ
Локальная		X_l, Y_l, Z_l	2,0	126
Общая	1	Z_o	0,56	115
		$X_o, Y_o,$	0,40	112
	2	Z_o	0,28	109
		$X_o, Y_o,$	0,20	106
	Тип 3а	Z_o	0,10	100
		$X_o, Y_o,$	0,071	97

Виброизоляция – это снижение передачи вибрации с помощью упругих элементов, которые устанавливаются между источниками вибрации и защищаемыми объектами. В качестве упругих элементов используют пружины, резиновые прокладки, рессоры, пневмосистемы.

Виброизоляция называется активной, если она применяется для уменьшения вибраций от источника возбуждения (машины) на поддерживающую конструкцию. Пассивная виброизоляция применяется, если требуется защитить виброизолируемый объект от колебаний поддерживающего основания.

Виброизоляция может быть двух вариантов: опорной и подвесной. При опорной виброизоляции виброизоляторы располагаются под корпусом изолируемой машины. При подвесной виброизоляции изолируемый объект подвешивается на виброизоляторах.

Эффективность виброизоляции оценивается коэффициентом передачи, который показывает, какая доля колебательной энергии передается от источника вибрации к основанию (на человека).

Коэффициент передачи может быть рассчитан по формуле:

$$K_{\text{п}} = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1}, \quad (11.1)$$

где f – частота возмущающей силы, Гц;

f_0 – частота собственных колебаний системы на виброизоляторах, Гц.

При расчете виброизоляции принимается оптимальное соотношение $f/f_0 = 3 - 4$.

11.2. Порядок расчета виброизоляции (пружинные амортизаторы)

Частота собственных колебаний системы определяется по формуле:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{S_{\text{ст}}}}, \quad (11.2)$$

где f_0 – частота собственных колебаний, Гц;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

$S_{\text{ст}}$ – статическая осадка, м.

Статическая осадка – величина, характеризующая изменение длины пружины под действием веса источника вибрации (машины).

Коэффициент передачи ($K_{\text{п}}$) определяется по формуле:

$$K_{\text{п}} = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1}, \quad (11.3)$$

где f – частота вибрации, создаваемая источником, Гц.

Эффективность виброизоляции (ΔL) показывает, на сколько уменьшится уровень вибрации при использовании виброизоляции.

Эффективность виброизоляции определяется по выражению:

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \frac{1}{K_{\text{п}}}. \quad (11.4)$$

Уровень вибрации после применения виброизоляторов ($L_{\text{ви}}$) определяется по выражению:

$$L_{\text{ви}} = L_a - \Delta L, \quad (11.5)$$

L_a – уровень вибрации, создаваемый источником, дБ

Виброизоляция эффективна, когда полученное значение не превышает допустимый уровень вибрации, указанный в табл. 11.1.

11.3. Задание к работе и порядок расчета

Рассчитать уровень вибрации на рабочем месте в соответствии с заданием и определить эффективность уменьшения передачи вибрации при использовании пружинных амортизаторов. В качестве виброизоляции (амортизаторов) применить стальные пружины. Рассчитанное значение уровня вибрации сравнить с допустимым значением.

Допустимые значения определяются по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (табл. 11.1).

Исходные данные для расчета и варианты заданий приведены в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Исходные данные и варианты заданий

Вариант	Категория вибрации, направление действия	Частота вибрации, Гц	Уровень виброускорения, создаваемый оборудованием, L_a , дБ	Статическая осадка пружин, $S_{ст}$, м	Рабочее место
1	Тип 3а, Z_o	50	105	0,010	Станочник
2	Локальная	10	130	0,011	Сборщик
3	Тип 3а, Z_o	20	120	0,012	Штамповщик
4	Локальная	40	130	0,013	Обрубщик
5	Тип 3а, Z_o	60	110	0,014	Термист
6	Тип 3а, X_o, Y_o	10	120	0,015	Кузнец
7	Тип 2, X_o, Y_o	8	104	0,016	Крановщик
8	Локальная	20	140	0,017	Формовщик
9	Тип 3а, Z_o	20	115	0,018	Сварщик
0	Тип 1, Z_o	30	120	0,019	Водитель

Порядок расчёта

- Рассчитать частоту собственных колебаний системы f_0 (формула (11.2)).
- Определить коэффициент передачи K_n (формула (11.3)).
- Рассчитать эффективность виброизоляции ΔL (формула (11.4)).
- Определить уровень вибрации после применения виброизоляции $L_{ви}$ (формула (11.5)).
- Сравнить рассчитанное значение с допустимым уровнем вибрации по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Сделать вывод об эффективности виброизоляции.

12. ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

ЗАДАЧА 12

12.1. Краткие сведения из теории

Воздействие электромагнитных полей (ЭМП) СВЧ диапазона оценивается величиной плотности потока энергии:

$$\text{ППЭ} = E \cdot H = \frac{P_{\text{ист}}}{4\pi r^2}, \quad (12.1)$$

где ППЭ – плотность потока энергии, Вт/м²; E – напряженность электрической составляющей ЭМП, В/м; H – напряженность магнитной составляющей ЭМП, А/м; $P_{\text{ист}}$ – мощность источника ЭМП, Вт; r – расстояние от источника до рабочего места, м.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», предельно допустимые уровни электромагнитных полей диапазона частот ≥ 30 кГц - 300 ГГц оцениваются и нормируются по величине энергетической экспозиции (ЭЭ_{ППЭ}).

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот ≥ 300 МГц - 300 ГГц рассчитывается по формуле:

$$\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}} = \text{ППЭ}_{\text{ПДУ}} \cdot T, \text{ (Вт/м}^2\text{)} \cdot \text{ч}, \quad (12.2)$$

где ППЭ_{ПДУ} – предельно допустимый уровень плотности потока энергии (Вт/м²); T – время воздействия за смену (ч).

ПДУ энергетических экспозиций (ЭЭ_{ПДУ}) на рабочих местах за 8-часовой рабочий день представлены в табл. 12.1.

Таблица 12.1

ПДУ энергетических экспозиций ЭМП диапазона частот 30 кГц - 300 ГГц

Параметр	ЭЭ _{ПДУ} в диапазонах частот (МГц)				
	0,03 - 3,0	3,0 - 30,0	30,0 - 50,0	50,0 - 300,0	300,0 - 300000,0
ЭЭ _е , (В/м) ² ·ч	20000	7000	800	800	-
ЭЭ _н , (А/м) ² ·ч	200	-	0,72	-	-
ЭЭ _{ППЭ} , (Вт/м ²)·ч	-	-	-	-	2

Одним из методов защиты от электромагнитного излучения является экранирование источника или рабочего места. Экраны могут быть выполнены из сплошных или сетчатых металлических материалов.

Требуемая эффективность экрана определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = \text{ППЭ} / \text{ППЭ}_{\text{пду}}, \quad (12.3)$$

где ППЭ – плотность потока энергии на рабочем месте без экрана; ППЭ_{пду} – допустимая величина ППЭ.

Эффективность металлического сплошного экрана рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{экр}} = 8,689 \sqrt{\frac{\pi f \mu}{\rho}} h + 20 \cdot \lg\left(\frac{377}{4\sqrt{2\pi f \mu \rho}}\right), \quad (12.4)$$

где $\mathcal{E}_{\text{экр}}$ – эффективность экранирования; f – частота, Гц; μ – относительная магнитная проницаемость материала экрана (табл. 12.2); ρ – удельное сопротивление материала экрана, Ом·м (табл. 12.2); h – толщина металлического листа экрана, м.

Таблица 12.2

Характеристики материалов экранов

Материал	Удельное сопротивление ρ , Ом·м	Относительная магнитная проницаемость μ
Алюминий	$0,28 \cdot 10^{-7}$	1
Медь	$0,17 \cdot 10^{-7}$	1
Сталь	$1,5 \cdot 10^{-7}$	150

Если $\mathcal{E}_{\text{экр}} > \mathcal{E}_{\text{тр}}$, то экран заданной толщины уменьшает величину ЭМП ниже допустимого значения.

12.2. Задание и порядок решения задачи

Выполнить расчет экрана для защиты от ЭМП радиочастот.

Исходные данные для расчета и варианты заданий приведены в табл. 12.3.

Порядок расчета

- Рассчитать плотность потока энергии на рабочем месте без применения экрана.
- Рассчитать предельно допустимое значение плотности потока энергии на рабочем месте при заданном времени работы оператора.

- Сравнить плотностью потока энергии на рабочем месте без применения способов защиты с ПДУ.
- Рассчитать требуемую эффективность экрана.
- Определить эффективность металлического сплошного экрана из заданного материала и его толщины.
Сделать вывод.

Таблица 12.3

Исходные данные и варианты заданий

Вариант	Мощность $P_{ист}$, кВт	Частота, ГГц	Расстояние до источника, м	Время работы t , ч	Толщина экрана, мм	Материал экрана
1	1,6	250	1,0	4	0,5	Сталь
2	1,0	150	1,5	5	0,6	Алюминий
3	0,8	30	2,0	6	0,7	Медь
4	0,4	3	2,2	7	0,8	Сталь
5	1,2	25	2,5	8	0,9	Алюминий
6	1,4	8	2,4	7	1,0	Медь
7	1,6	200	2,1	5	0,9	Сталь
8	1,8	15	1,7	4	0,8	Алюминий
9	2,0	1	1,4	3	0,7	Медь
0	2,2	0,4	1,3	2	0,6	Сталь

13. ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ЗАДАЧА 13

13.1. Краткие сведения из теории

Источниками ионизирующих излучений являются радиоактивный распад радиоактивных веществ (радионуклидов), ядерные устройства (ускорители, атомные реакторы), рентгеновские трубки.

К ионизирующим излучениям относятся:

- альфа-излучение – поток положительно заряженных частиц, образованных двумя протонами и двумя нейтронами;
- бета-излучение представляет собой поток электронов, образующихся при распаде ядер как естественных, так и искусственных радиоактивных элементов;
- гамма-излучение представляет собой электромагнитное излучение с частотой $> 3 \cdot 10^{18}$ Гц, образующиеся при распаде радиоактивных ядер, элементарных частиц;
- рентгеновское излучение – электромагнитное излучение с частотой $10^{17} - 3 \cdot 10^{18}$ Гц;
- нейтронное излучение представляет собой поток нейтронов (n), являющихся составной частью атомов.

Для оценки воздействия ионизирующих излучений на организм человека используются поглощенная, экспозиционная, эквивалентная и эффективная дозы.

Поглощенная доза (D) – это величина энергии ионизирующего излучения любого вида (α -, β -, γ -, n), поглощенного единицей массы вещества. В системе СИ за единицу измерения принят 1 Грей (Гр). $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$. На практике применяется внесистемная единица – Рад (*Rad* – по первым буквам английского словосочетания «*radiation absorbet dose*»). Доза в 1 Рад означает, что в каждом грамме вещества, подвергшегося облучению, поглощено 100 эрг энергии:

$$1 \text{ Рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Гр};$$

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ Рад} (1 \text{ эрг} = 10 \text{ Дж}).$$

Экспозиционной дозой (X) называется количественная характеристика излучений, основанная на их ионизирующем действии в сухом атмосферном воздухе и выраженная отношением суммарного электрического заряда ионов одного знака, образованных излучением, поглощенным в некоторой массе воздуха, к этой массе:

$$X = dQ/dm,$$

где dQ – количество зарядов, образованных гамма-излучением в воздухе массой dm .

За единицу экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений принят кулон на килограмм (Кл/кг). Внесистемная единица экспозиционной дозы – Рентген (Р). Рентген – экспозиционная доза фотонного излучения, при которой в 1 см^3 воздуха при нормальных условиях ($t = 0^\circ\text{C}$ и давление 101 кПа) образуется $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов, заряд которых каждого знака равен $3,34 \cdot 10^{-10}$ Кл. Поскольку масса 1 см^3 воздуха весит $1,293 \cdot 10^{-6}$ кг, то $1 \text{ Р} = 3,34 \cdot 10^{-10} / 1,293 \cdot 10^{-6} = 2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг; $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$.

Помимо рентгена используются производные от него единицы: миллирентген ($1 \text{ мР} = 10^{-3} \text{ Р}$) и микрорентген ($1 \text{ мкР} = 10^{-6} \text{ Р}$).

Между поглощенной и экспозиционной дозами существует линейная зависимость:

$$D = K \cdot X,$$

где K – коэффициент пропорциональности, равный $0,876$.

Приращение экспозиционной дозы в единицу времени называется мощностью экспозиционной дозы (P_x), измеряемой в мкР/ч (мкЗв/ч). Зная мощность экспозиционной дозы, можно определить величину экспозиционной и поглощенной дозы по выражению:

$$X = P_x / t,$$

где t – время облучения, ч.

Эквивалентная доза (H) учитывает эффект ионизации, возникающий от разных видов излучения.

При одинаковых поглощенных дозах различные виды излучений, действуя на живые организмы, вызывают различные биологические эффекты. Это учитывают с помощью взвешивающих коэффициентов (W_R) относительной биологической эффективности различных видов излучения. Поглощенная доза, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент действия радиации, называется эквивалентной дозой:

$$H = W_R \cdot D.$$

Значения взвешивающих коэффициентов W_R для различных видов излучений:

- $W_R = 20$ для альфа-излучения;
- $W_R = 3 - 10$ для нейтронного излучения;
- $W_R = 1$ для рентгеновское, бета- и гамма-излучения.

Единицей измерения эквивалентной дозы в системе СИ является 1 Зиверт ($1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}$), внесистемной единицей - 1 Бэр. $1 \text{ Бэр} = 100 \text{ эрг/г}$. Таким образом, $1 \text{ Зв} = 100 \text{ Бэр}$.

Эффективная доза (E) применяется для оценки облучения отдельных органов и тканей с учетом их радиочувствительности:

$$E = H \cdot W_k,$$

где W_k – взвешивающий коэффициент для данного органа или ткани: $W_k = 1$ – для организма в целом; $W_k = 0,2$ – гонады; $W_k = 0,12$ – костный мозг, легкие, желудок; $W_k = 0,05$ – печень, щитовидная железа, мочевого пузыря, кожа, кости.

Эффективная доза измеряется в Зивертах (Зв).

Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2020 применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения. Для категорий облучаемых лиц устанавливаются нормативы – основные пределы доз (ПД), приведенные в табл. 13.1.

Таблица 13.1

Основные пределы доз

Категория населения	Эффективная годовая доза, E , мЗв/год	Максимальная мощность дозы	
		эквивалентной, H , мкЗв/ч	экспозиционной, X , мкР/ч
Группа А	20 мЗв/год за любые последовательные 5 лет, но не более 50	6,0	600
Группа Б	1/4 значений группы А	1,4	140
Население	1 мЗв/год за любые последовательные 5 лет, но не более 5	0,6	60

Согласно рекомендациям Международной комиссии по радиационной защите и Всемирного общества здравоохранения (ВОЗ), радиационный уровень, соответствующий естественному фону 0,1 - 0,2 мкЗв/ч, принято считать нормальным. Допустимым считают уровень 0,2 - 0,6 мкЗв/ч, а выше 0,6 - 1,2 мкЗв/ч с учетом эффекта экранирования – повышенным. Коэффициент экранирования (ослабления энергии излучений) каменных зданий равен 10, деревянных – 2, подвалов жилых домов – 40, инженерных защитных сооружений в зависимости от их характеристик 100, 1000 и более.

В соответствии с НРБ-99 допустимая эффективная доза облучения при аварии составляет 0,3 Зв.

Для защиты от ионизирующего излучения применяются экраны из различных материалов. Толщина экрана зависит от характеристики излучения (вида и энергии излучения), свойств защитного материала

и необходимости кратности ослабления k , показывающей, во сколько раз следует уменьшить экспозиционную дозу облучения X до допустимого значения X_0 :

$$k = X / X_0 ,$$

где X – экспозиционная дозы облучения; X_0 – допустимое значение экспозиционной дозы облучения.

Расчет толщины защитных экранов от прямого пучка гамма-излучения выполняется с помощью универсальных таблиц. В табл. 13.2, 13.3, 13.4 приведены значения толщины экрана из различных материалов в зависимости от степени ослабления излучения k и энергии гамма-излучения.

Таблица 13.2

Толщина защитного экрана из бетона

Степень ослабления излучения, k	Толщина защитного экрана (см) при энергии гамма-излучения, МэВ									
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	3,0	6,0	8,0	10,0
Бетон ($\rho = 2,8 \text{ г/см}^3$)										
2	7,6	11,3	12,4	12,6	12,9	13,6	15,3	18,8	18,8	18,8
10	14,6	23,7	26,8	28,4	29,9	34,0	43,4	51,6	52,8	54,0
100	21,1	35,2	43,0	47,2	50,5	58,3	77,5	95,1	98,0	105,1

Таблица 13.3

Толщина защитного экрана из железа

Степень ослабления излучения, k	Толщина защитного экрана (см) при энергии гамма-излучения, МэВ									
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	3,0	6,0	8,0	10,0
Железо ($\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$)										
2	1,3	2,3	2,8	3,2	3,4	3,8	4,4	4,1	4,0	3,8
10	3,4	5,4	6,8	7,8	8,5	10,0	12,2	12,7	12,6	12,0
100	5,9	9,0	11,2	13,1	14,7	17,6	22,3	24,6	24,4	23,5

Таблица 13.4

Толщина защитного экрана из свинца

Степень ослабления излучения, k	Толщина защитного экрана (см) при энергии гамма-излучения, МэВ									
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	3,0	6,0	8,0	10,0
Свинец ($\rho = 11,3 \text{ г/см}^3$)										
2	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,1	1,6	1,5	1,35
10	0,55	1,3	2,1	3,05	3,8	5,1	6,5	5,5	4,9	4,2
100	10,	2,3	3,85	6,5	7,0	9,65	12,2	10,9	9,9	8,7

13.2. Задание и порядок решения задачи

Определить толщину экрана для защиты от ионизирующего излучения (гамма-излучения) из заданных материалов (бетон, железо, свинец).

Продолжительность облучения 300 дней в течение года, время работы персонала 8 ч в день. Облучению подвергается весь организм.

Исходные данные и варианты заданий приведены в табл. 13.5

Таблица 13.5

Исходные данные и варианты заданий

Вариант	Энергия гамма-излучения, МэВ	Мощность экспозиционной дозы, мЗв/ч	Материал экрана
1	0,2	0,1	Бетон
2	0,4	0,08	Свинец
3	0,6	0,2	Железо
4	0,8	1,0	Свинец
5	1,0	0,5	Бетон
6	6,0	0,09	Свинец
7	8,0	0,4	Железо
8	1,5	0,6	Бетон
9	3,0	0,2	Железо
0	3,0	1,0	Свинец

Порядок расчета

- Определить поглощенную дозу за год.
 - Определить эквивалентную дозу за год.
 - Определить эффективную дозу за год.
 - Определить допустимый предел эффективной дозы по табл. 13.1.
 - Рассчитать степень ослабления излучения экрана (k).
 - Для заданного материала экрана определить толщину экрана по табл. 13.2, 13.3, 13.4.
- Сделать заключение по работе.

14. ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ЧЕЛОВЕКА

ЗАДАЧА 14

14.1. Краткие сведения из теории

Опасность поражения человека определяется величиной тока, проходящего через тело человека. В зависимости от реакции организма на ток можно выделить следующие его значения при напряжении 220 В и частоте 50 Гц (табл. 14.1).

Таблица 14.1

Пороговые значения тока

Пороговый ток	Действие	Величина тока, мА
Ощутимый	Наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через организм ощутимые раздражения	1
Неотпускающий	Наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник. Человек не может самостоятельно освободиться от проводника	10
Фибрилляционный	Наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через органы человека фибрилляцию сердца. Кровообращение останавливается. Сердце человека самостоятельно выйти из этого состояния не может, через несколько минут наступает смерть	50
Смертельный		Свыше 100

Факторами, влияющими на опасность поражения электрическим током, являются сопротивление тела человека, напряжение в электрической сети, путь тока через тело человека, род и частота тока, время воздействия и параметры окружающей среды. Кроме того, на опасность поражения человека электрическим током влияет вид прикосновения и режим нейтрали электрической сети. Рассмотрим возможные случаи прикосновения человека к токоведущим частям электрической сети.

Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

На рис. 14.1 показано однофазное прикосновение к электрической сети в нормальном режиме.

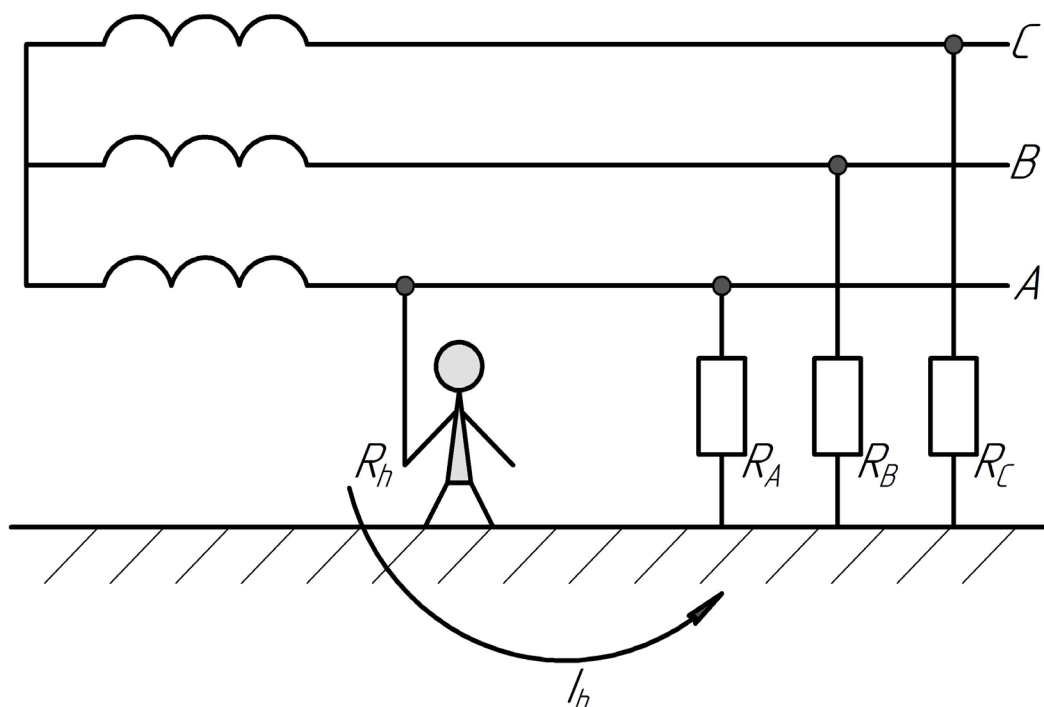


Рис. 14.1. Однофазное прикосновение в нормальном режиме

Для воздушных сетей малой протяженности емкость проводов относительно земли незначительна ($C \approx 0$), тогда сила тока, протекающего через человека, выразится зависимостью

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{из}/3}, \quad (14.1)$$

где I_h – ток через человека; U_ϕ – фазное напряжение; R_h – сопротивление человека ($R_h = 1000 \text{ Ом}$); $R_A = R_B = R_C = R_{из}$ – сопротивления изоляции фаз A, B, C .

В аварийном режиме, когда одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление $r_{зм}$ ($r_{зм} \rightarrow 0$), человек, прикасаясь к другой фазе, оказывается включенным между двух фаз (рис.14.2).

Величина тока, проходящего через человека, в аварийном режиме работы сети

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_{зм}}. \quad (14.2)$$

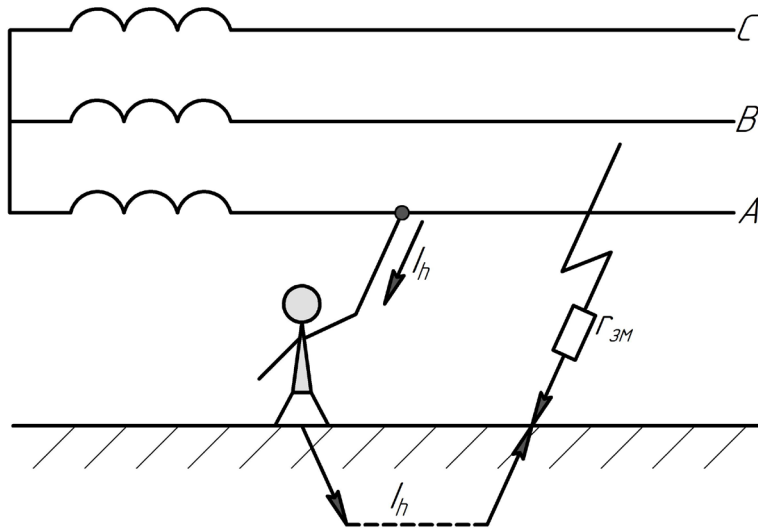


Рис. 14.2. Однофазное прикосновение в аварийном режиме

Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

При однофазном прикосновении к сети с глухозаземленной нейтралью (рис. 14.3) сила тока, проходящего через человека, определяется выражением

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0}, \quad (14.3)$$

где I_h – ток через человека; U_ϕ – фазное напряжение; R_h – сопротивление человека; r_0 – сопротивление заземления нейтрали ($r_0 = 4$ Ом).

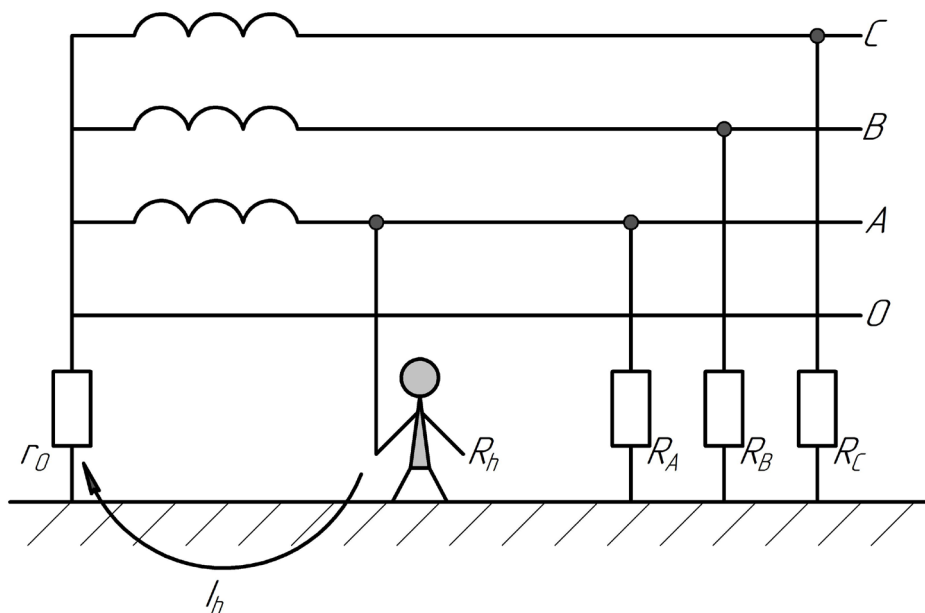


Рис. 14.3. Однофазное прикосновение в нормальном режиме

В аварийном режиме (рис.14.4), когда одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление $r_{3М}$, сила тока, проходящего через человека, определяется по формуле:

$$I_h = \frac{U_\phi \cdot (r_{3М} + r_0 \cdot \sqrt{3})}{r_{3М} \cdot r_0 + R_h \cdot (r_{3М} + r_0)} = \frac{1,35 \cdot U_\phi}{R_h}. \quad (14.4)$$

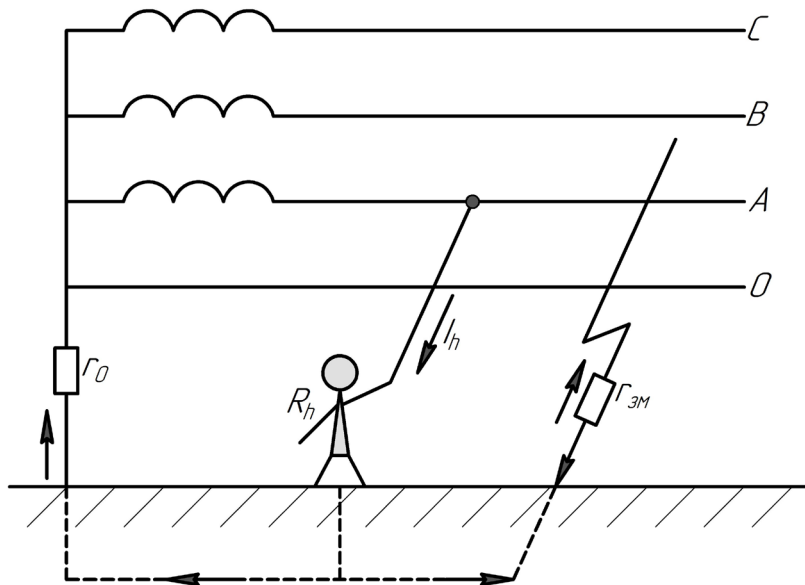


Рис. 14.4. Однофазное прикосновение в аварийном режиме

14.2. Задание и порядок решения задачи

Определить величину тока, протекающего через тело человека, при прикосновении его к незаземленному проводу трехфазной сети в соответствии с вариантом задания.

Оценить опасность прикосновения, сравнив ток, протекающий через человека, с его пороговыми значениями.

Напряжение фазное $U_\phi=220$ В. Сопротивление тела человека $R_h=1$ кОм.

Варианты заданий приведены в табл. 14.2.

Таблица 14.2

Исходные данные и варианты заданий

№	Режим нейтрали	Прикосновение	Режим работы сети	Сопротивления, кОм		
				пола	обуви	изоляции
1	2	3	4	5	6	7
1	Изолированная	Однофазное	Нормальный	-	-	600
2	Изолированная	Двухфазное	Нормальный	-	-	-
3	Изолированная	Однофазное	Аварийный	-	-	750

1	2	3	4	5	6	7
4	Изолированная	Двухфазное	Нормальный	-	-	-
5	Изолированная	Однофазное	Нормальный	-	-	900
6	Глухозаземленная	Однофазное	Нормальный	-	-	-
7	Глухозаземленная	Двухфазное	Нормальный	-	-	-
8	Глухозаземленная	Однофазное	Аварийный	-	-	-
9	Глухозаземленная	Двухфазное	Нормальный	-	-	-
0	Глухозаземленная	Однофазное	Нормальный	-	-	-

Порядок расчёта

- Рассчитать величину тока, протекающего через тело человека.
- Сравнить рассчитанное значение тока с пороговыми значениями тока.

Сделать вывод об опасности поражения человека электрическим током в случаях прикосновения к электрической сети с различным режимом нейтрали.

15. ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПРИ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ

ЗАДАЧА 15

15.1. Краткие сведения из теории

Человек, находящийся в зоне растекания тока от заземлителя, оказывается под напряжением шага, если его ноги находятся в точках с разными потенциалами (рис.15.1).

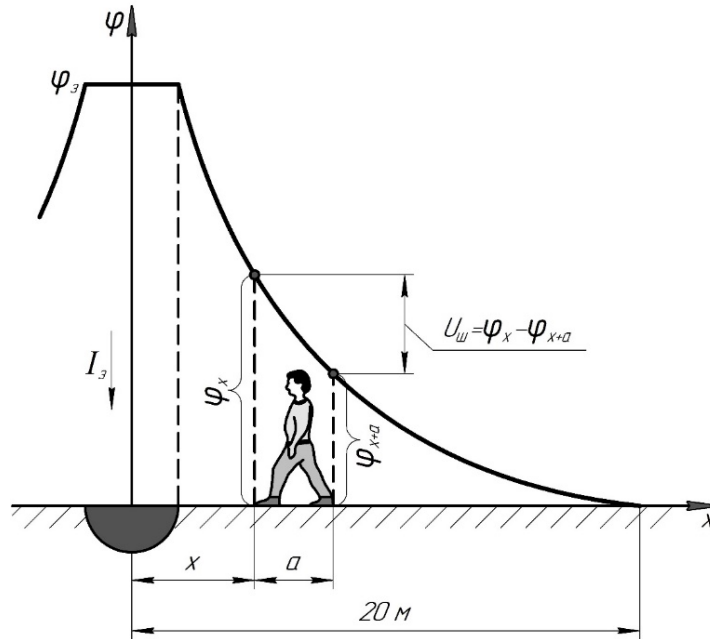


Рис. 15.1. Напряжение шага

Потенциал заземлителя определяется выражением:

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3 , \quad (15.1)$$

где φ_3 – потенциал заземлителя; I_3 – ток, стекающий на землю; R_3 – сопротивление растеканию тока от заземлителя.

Максимальный потенциал будет при наименьшем значении « x », т.е. непосредственно на заземлителе ($x = r$):

$$\varphi_3 = I_3 \frac{\rho}{2\pi r} , \quad (15.2)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м. (табл.15.1); r – радиус заземлителя, м.

Когда человек находится на расстоянии « x » от заземлителя, а длина шага равна « a » (рис. 15.1), напряжение шага определяется как разность

потенциалов между одной и другой ногой, находящимися в точках с координатами (x) и $(x+a)$.

Напряжение шага вычисляется по формуле:

$$U_{\text{ш}} = \varphi_x - \varphi_{x+a} \quad (15.3)$$

Потенциал в точке « x »:

$$\varphi_x = I_3 \frac{\rho}{2\pi x}, \quad (15.4)$$

Потенциал в точке « $x+a$ »:

$$\varphi_{x+a} = I_3 \frac{\rho}{2\pi(x+a)}. \quad (15.5)$$

15.2. Формулы для расчета сопротивления растеканию тока от одиночных заземлителей

Полусферический заземлитель

Сопротивление растеканию тока от полусферического заземлителя

$$R_p = \frac{\rho}{2\pi r}, \quad (15.6)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м; r – радиус полусферы, м.

Потенциал в точке « x »:

$$\varphi_x = I_3 \frac{\rho}{2\pi x}. \quad (15.7)$$

Потенциал в точке « $x+a$ »:

$$\varphi_{x+a} = I_3 \frac{\rho}{2\pi(x+a)}. \quad (15.8)$$

Заземлитель вертикальный трубчатый, расположенный у поверхности грунта

Сопротивление растеканию тока от заземлителя

$$R_p = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}, \quad (15.9)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м; L , d – длина и наружный диаметр заземлителя, м.

Потенциал в точке « x »:

$$\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \ln \frac{\sqrt{x^2 + L^2} + L}{x}. \quad (15.10)$$

Потенциал в точке « $x+a$ »:

$$\varphi_{x+a} = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \ln \frac{\sqrt{(x+a)^2 + L^2} + L}{x+a}. \quad (15.11)$$

Заземлитель вертикальный трубчатый, заглубленный в грунте

Сопротивление растеканию тока от заземлителя

$$R_p = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_0 + 3L}{5t_0 + 1,5L} \right), \quad (15.12)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м; L и d – длина и наружный диаметр заземлителя, м; t_0 – заглубление, м.

Потенциал в точке « x »:

$$\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{\sqrt{4x^2 + L^2} + L}{2x} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_0 + 3L}{4t_0 + L} \right). \quad (15.13)$$

Потенциал в точке « $x+a$ »:

$$\varphi_{x+a} = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{\sqrt{4(x+a)^2 + L^2} + L}{2(x+a)} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_0 + 3L}{4t_0 + L} \right). \quad (15.14)$$

Таблица 15.1

Значения удельного сопротивления грунта

Грунт	Удельное сопротивление грунта ρ , Ом·м
Песок	100-700
Супесок	150-400
Суглинок	40-150
Садовая земля	20-60
Глина	8-70
Чернозем	9-53
Торф	10-30

15.3. Задание и порядок решения задачи

Рассчитать напряжения шага в точках: $x = 1$ м, $x = 2$ м, $x = 5$ м, $x = 10$ м, $x = 20$ м.

Исходные данные для расчета и варианты заданий указаны в табл. 15.2. Величину шага принять, $a = 0,8$ м.

Таблица 15.2

Исходные данные и варианты заданий

Вариант	Ток I_3 , А	Грунт	Вид заземлителя	Длина заземлителя, м	Диаметр заземлителя, м	Заглубление H , м
1	3	Песок	Полусферический	-	0,4	-
2	4	Супесок	Вертикальный у поверхности	3	0,04	-
3	5	Суглинок	Вертикальный заглубленный	3	0,04	0,7
4	6	Садовая земля	Полусферический	-	0,3	-
5	7	Глина	Вертикальный у поверхности	5	0,06	-
6	8	Чернозем	Вертикальный заглубленный	5	0,06	0,8
7	9	Торф	Полусферический	-	0,24	-
8	10	Глина	Вертикальный у поверхности	7	0,08	-
9	2	Песок	Вертикальный заглубленный	7	0,08	0,75
0	1	Супесок	Вертикальный у поверхности	5	0,12	-

Порядок расчёта

- Определить величину удельного сопротивления грунта ρ по табл. 15.1.
- Определить сопротивление одиночного заземлителя R_p .
- Определить потенциал заземлителя ϕ_z .
- Рассчитать потенциал в точке, находящейся на расстоянии « x ».
- Рассчитать потенциал в точке, находящейся на расстоянии « $x+a$ ».
- Определить напряжение шага $U_{ш}$.

Полученные значения потенциалов занести в табл. 15.3.

Таблица 15.3

Зависимость напряжения шага от расстояния до заземлителя

Расстояние от заземлителя x , м	1	2	5	10	20
ϕ_x , В					
ϕ_{x+a} , В					
Напряжение шага $U_{ш}$, В					

По полученным значениям построить график зависимости изменения напряжения шага от расстояния до заземлителя (рис.15.2).

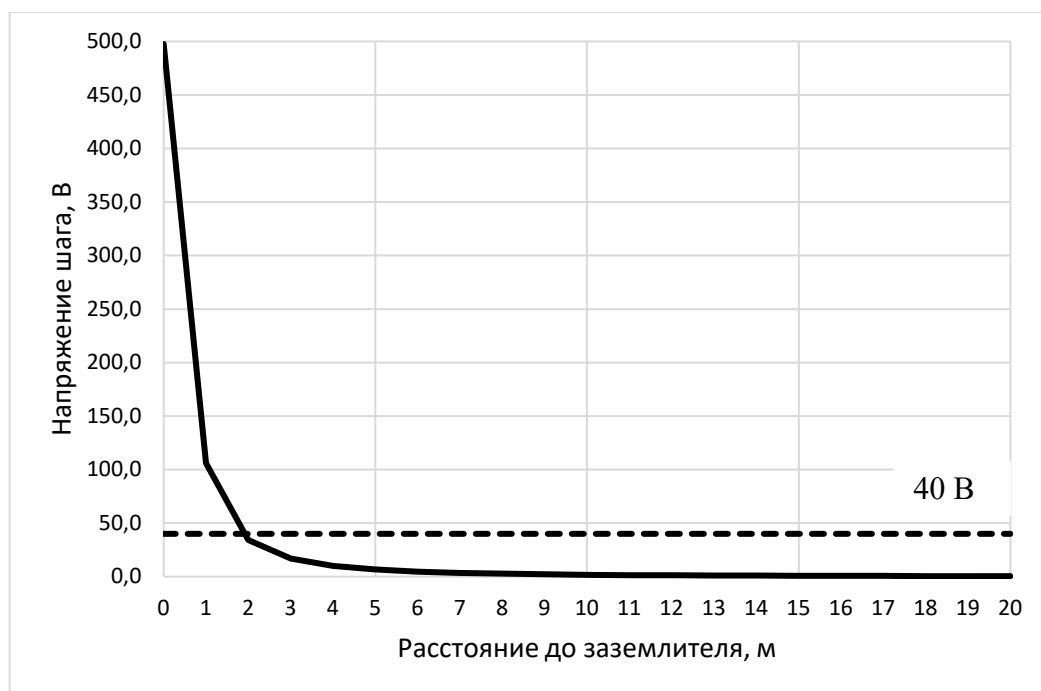


Рис. 15.2. Зависимость напряжения шага от расстояния до заземлителя

Сделать вывод о том, на каком расстоянии от заземлителя напряжение шага достигает допустимой величины $U_{\text{доп}} = 40 \text{ В}$.

16. РАСЧЕТ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

ЗАДАЧА 16

16.1. Краткие сведения из теории

Назначение защитного заземления – это устранение опасности поражения электрическим током при прикосновении человека к корпусу электрической установки, находящемуся под напряжением в случае пробоя изоляции фаз. Защитное заземление применяется в электрических сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и в сетях напряжением более 1000 В с любым режимом нейтрали.

Принцип действия защитного заземления заключается в снижении напряжения на корпусе электроустановки до безопасного значения.

Величиной, характеризующей степень опасности прикосновения человека к корпусу электрической установки, находящейся под напряжением, является напряжение прикосновения, которое представляет собой разность потенциалов заземлителя φ_3 и основания φ_{oc} :

$$U_{пр} = \varphi_3 - \varphi_{oc} = \varphi_3 - \varphi_3 \cdot \left(1 - \frac{r}{x}\right) = \varphi_3 \cdot \alpha, \quad (16.1)$$

где φ_3 – потенциал на заземлителе; φ_{oc} – потенциал основания в помещении; r – радиус заземлителя; x – расстояние от электрооборудования до заземлителя; α – коэффициент прикосновения.

Коэффициент прикосновения α зависит от расстояния x между местом основания, на котором стоит человек и заземлителем, и изменяется от 0 до 1.

Потенциал заземлителя определяется величиной тока, замыкания на землю I_3 и величиной сопротивления заземляющего устройства R_3 :

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3, \quad (16.2)$$

где I_3 - ток замыкания; R_3 - сопротивления заземляющего устройства.

Величина тока замыкания на землю зависит от режима нейтрали сети. В случае трехфазной сети с изолированной нейтралью (рис.16.1) ток замыкания на землю:

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_3 + \frac{R}{3}}, \quad (16.3)$$

где U_ϕ – фазное напряжение сети, В; R – активное сопротивление изоляции провода.

Минимальное сопротивление изоляции, согласно «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ), составляет 0,5 МОм.

На рис. 16.1 показана схема защитного заземления электроустановки.

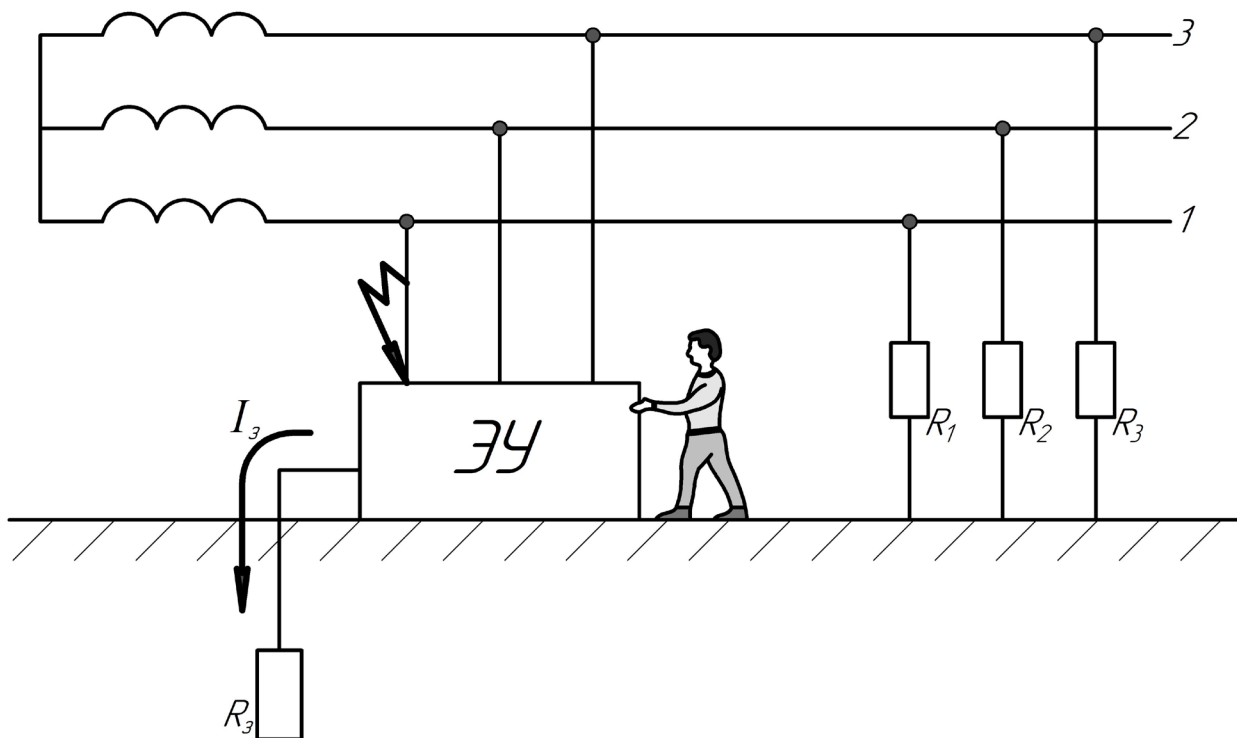


Рис. 16.1. Схема защитного заземления электроустановки:

$I_з$ – ток замыкания на заземлитель; $R_з$ – сопротивление заземляющего устройства; R_1, R_2, R_3 – сопротивления изоляции фаз

Согласно ПУЭ, допустимые значения сопротивления заземляющих устройств для электроустановок до 1000 В следующие:

- $R_{\text{доп}} \leq 4 \text{ Ом}$;
- $R_{\text{доп}} \leq 10 \text{ Ом}$, если мощность трансформаторов не превышает 100 кВ·А.

Для заземления электроустановок могут быть использованы искусственные и естественные заземлители. Если при использовании естественных заземлителей сопротивление заземляющих устройств или напряжение прикосновения имеет допустимое значение выполнение искусственных заземлителей в электроустановках до 1 кВ не обязательно.

Сопротивление одиночного искусственного заземлителя (вертикально заглублённого в грунте) определяется по формуле:

$$R_з = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_0 + 3L}{5t_0 + 1,5L} \right), \quad (16.4)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м (табл. 16.1); L – длина заземлителя, м; d – диаметр заземлителя, м; t_0 – глубина заложения, м.

Если расчетное сопротивление R_3 меньше или равно допустимому сопротивлению заземляющего устройства $R_{\text{доп}}$, то принимаем один заземлитель.

Если сопротивление R_3 больше допустимого сопротивления $R_{\text{доп}}$, то необходимо принять несколько заземлителей.

Ориентировочное количество заземлителей определяется по формуле:

$$n^* = \frac{R_3}{R_{\text{доп}}}. \quad (16.5)$$

Выбрать способ расположения электродов – в ряд или по контуру.

Сопротивление соединительной полосы заземлителей в грунте определяется по формуле

$$R_{\text{пол}} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{пол}}} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_{\text{пол}}^2}{b_{\text{пол}} \cdot t_0}, \quad (16.6)$$

где $L_{\text{пол}}$ – длина соединительной полосы, м; b – ширина соединительной полосы, м; t_0 – глубина заложения, м.

Длина соединительной полосы рассчитывается:

- при расположении заземлителей в ряд

$$L_{\text{пол}} = 1.05 \cdot a \cdot (n - 1), \quad (16.7)$$

- при расположении заземлителей по контуру

$$L_{\text{пол}} = 1.05 \cdot a \cdot n, \quad (16.8)$$

где a – расстояние между заземлителями; n – количество заземлителей, принимаемое из расчёта.

Полное сопротивление растеканию тока от заземляющего устройства (заземлителей и соединительных полос) определяется по формуле

$$R_0 = \frac{R_3 \cdot R_{\text{пол}}}{R_3 \cdot \eta_{\text{пол}} + R_{\text{пол}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot n}, \quad (16.9)$$

где $\eta_{\text{пол}}$ – коэффициент использования соединительной полосы (табл. 16.2); $\eta_{\text{в}}$ – коэффициент использования вертикальных заземлителей (табл. 16.3).

Полученное значение полного сопротивления растеканию тока от защитного заземления должно быть меньше допустимого сопротивления $R_{\text{доп}}$.

Таблица 16.1

Удельные электрические сопротивления различных грунтов

Грунт, вода	Удельные электрические сопротивления грунтов, Ом·м
Глина	70
Суглинок	90
Песок	500
Супесок	300
Торф	20
Чернозём	40
Садовая земля	50

Таблица 16.2

Коэффициент использования $\eta_{\text{пол}}$ соединительной полосы

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число труб					
	4	8	10	20	30	50
	При расположении заземлителей в ряд					
1	0,77	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21
2	0,89	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36
3	0,92	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49
	При расположении заземлителей по контуру					
1	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21
2	0,55	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28
3	0,7	0,80	0,56	0,45	0,41	0,37

Таблица 16.3

Коэффициенты использования вертикальных заземлителей из труб $\eta_{\text{в}}$

Отношение расстояния между трубами к их длине	При размещении в ряд		При размещении по контуру	
	Число труб (уголков)	$\eta_{\text{в}}$	Число труб (уголков)	$\eta_{\text{в}}$
1	2	3	4	5
1	2	0,84-0,87	4	0,66-0,72
	3	0,76-0,8	6	0,58-0,65
	5	0,67-0,72	10	0,52-0,58
	10	0,56-0,62	20	0,44-0,5
	15	0,51-0,56	40	0,38-0,44
	20	0,47-0,5	60	0,36-0,42

1	2	3	4	5
2	2	0,9-0,52	4	0,76-0,8
	3	0,85-0,88	6	0,71-0,75
	5	0,79-0,83	10	0,66-0,71
	10	0,72-0,77	20	0,61-0,66
	15	0,66-0,73	40	0,55-0,61
	20	0,65-0,7	60	0,52-0,58
3	2	0,93-0,95	4	0,84-0,86
	3	0,9-0,92	6	0,78-0,82
	5	0,85-0,88	10	0,74-0,73
	10	0,79-0,83	20	0,68-0,73
	15	0,76-0,8	40	0,64-0,69
	20	0,74-0,79	60	0,62-0,67

16.2. Задание к работе и порядок расчета

Выполнить расчет устройства защитного заземления в соответствии с требованиями к нему, установленными ПУЭ.

Исходные данные для расчета и варианты заданий приведены в табл. 16.4.

Принять вид заземлителя - вертикальный трубчатый, заглубленный в грунте.

Таблица 16.4

Исходные данные и варианты заданий

№ п/п	Грунт	Мощность трансформаторов, кВА	Размеры заземлителя и соединительной полосы				
			Длина l , м	Диаметр d , м	Глубина заложения H_0 , м	Расстояние между заземлителями a , м	Ширина соединительной полосы b , м
1	Глина	1250	3	0,02	0,5	3	0,020
2	Суглинок	1000	4	0,025	0,6	4	0,025
3	Песок	630	5	0,03	0,7	5	0,030
4	Супесок	400	6	0,035	0,7	12	0,035
5	Торф	250	7	0,04	0,6	14	0,040
6	Чернозём	160	7	0,045	0,5	14	0,040
7	Садовая земля	63	6	0,05	0,5	18	0,035
8	Глина	40	5	0,055	0,6	15	0,030
9	Песок	25	4	0,060	0,7	12	0,025
0	Глина	16	3	0,065	0,6	9	0,020

Порядок расчёта

- Определить допустимое сопротивление заземляющего устройства – $R_{\text{доп}}$.
- Определить величину удельного сопротивления грунта ρ по табл. 16.1.
- Определить сопротивления растеканию тока от одиночного заземлителя (вертикального заглублённого в грунте) – R_3 .
- Определить количество заземлителей n и выбрать способ расположения – в ряд или по контуру.
- Определить сопротивление растеканию тока от соединительной полосы – $R_{\text{пол}}$.
- Определить коэффициент использования $\eta_{\text{пол}}$ соединительной полосы по табл. 16.2.
- Определить коэффициент использования $\eta_{\text{в}}$ заземлителей из труб по табл. 16.3.
- Определить полное сопротивление растеканию тока от заземляющего устройства – R_0 .
 Сделать вывод.

17.1. РАСЧЕТ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ЗАНУЛЕНИЯ

ЗАДАЧА 17

17.1. Краткие сведения из теории

Занулением называется преднамеренное электрическое соединение металлических частей электроустановки, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания фазы на корпус, с заземленной нейтральной точкой трансформатора. Соединение корпуса с нейтралью трансформатора осуществляется с помощью нулевого защитного проводника (PE).

Область применения зануления – трехфазные электрические сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью.

Принципиальная схема зануления показана на рис.17.1.

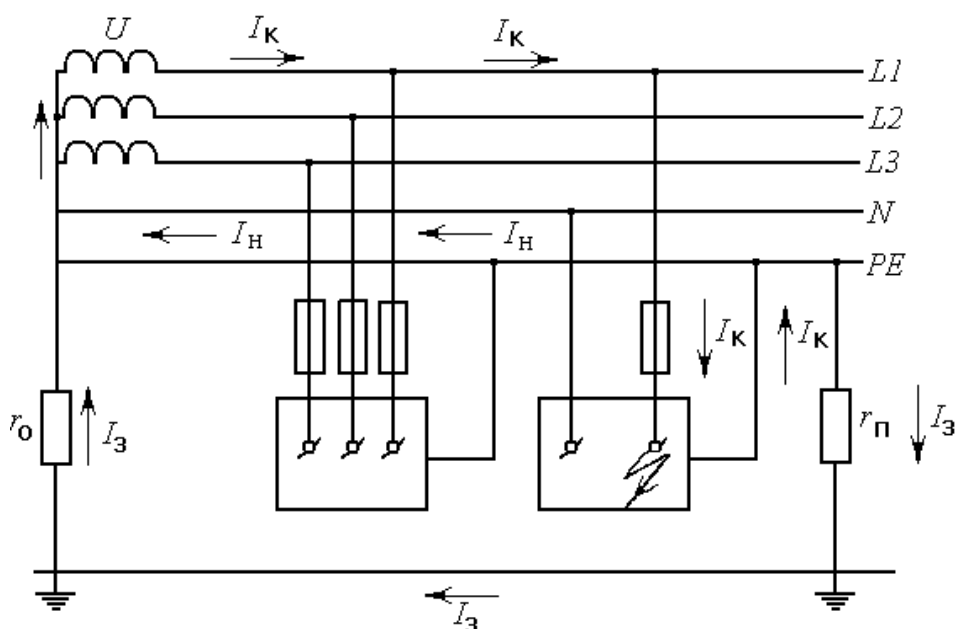


Рис.17.1. Принципиальная схема зануления:

N – нулевой рабочий проводник; PE – нулевой защитный провод; I_k – ток короткого замыкания; r_0 – сопротивление заземления нейтрали; r_p – повторное сопротивление заземления нейтрали

Принцип действия зануления – это превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание с целью создания тока короткого замыкания, способного обеспечить срабатывание максимальной токовой защиты и, тем самым, автоматически отключить поврежденную электроустановку от питающей сети.

В период с момента возникновения замыкания на корпус и до отключения поврежденной электроустановки все зануленные корпуса оказываются под напряжением относительно земли. При этом безопасность обеспечивается достаточно быстрым отключением

поврежденной электроустановки так, чтобы при данной длительности воздействия ток через человека и напряжение прикосновения не превысили допустимых значений (при напряжении 250 В – допустимое время воздействия тока на человека составляет 0,2 с).

В качестве аппаратов защиты применяют предохранители и автоматические выключатели (рис. 17.2).

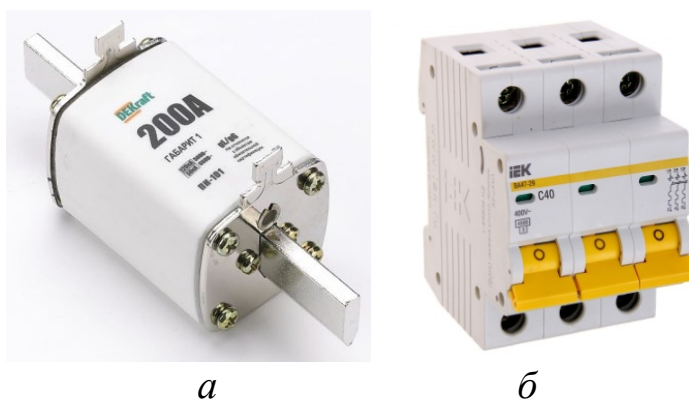


Рис. 17.2. Аппараты защиты при замыкании в сети:

а – плавкий предохранитель; *б* – автоматический выключатель

Расчет защитного зануления выполняется с целью определения условия, при которых оно надежно и быстро отключает поврежденную электроустановку от сети и обеспечивает безопасность прикосновения человека к корпусу электроустановки в аварийный период.

Согласно ПУЭ, проводимость фазных и нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании фазы на корпус возникал ток короткого замыкания $I_{кз}$, превышающий не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкого элемента предохранителя $I_{ном\ пп\ вст}$ или номинальный ток автоматического выключателя:

$$I_{кз} \geq 3I_{ном\ пп\ вст} \cdot \quad (17.1)$$

Значение $I_{ном\ пп\ вст}$ предохранителей для сетей напряжением 220 В приведены в табл.17.1.

Таблица 17.1

Значение $I_{ном\ пп\ вст}$ для предохранителей

Тип предохранителя	$I_{ном\ пп\ вст}, А$
ПР – 2	6, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 60
НПН – 60	6, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 60
ПНТ – 10	4, 6, 10
ПН 2 – 100	30, 40, 50, 60, 80, 100
ПН 2 – 250	80, 100, 120, 150, 200, 250

Номинальный ток электроустановки определяют по выражению:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P}{U_{\text{ф}} \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi}, \quad (17.2)$$

где P – мощность электроустановки, Вт; $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение, В; $\cos\varphi = 0,95$.

Номинальный ток плавкой вставки выбирают из условия:

$$I_{\text{НОМ ПЛ ВСТ}} > I_{\text{НОМ}}, \quad (17.3)$$

где $I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток электроустановки.

Величина тока однофазного короткого замыкания ($I_{\text{кз}}$) определяется по формуле

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{ф}}}{Z_{\text{п}} + \frac{Z_{\text{т}}}{3}}, \quad (17.4)$$

где $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение, В; $Z_{\text{п}}$ – сопротивление петли «фаза – ноль», Ом; $Z_{\text{т}}$ – полное сопротивление обмоток трансформатора, Ом.

Значения полных сопротивлений обмоток масляных и сухих трансформаторов ($Z_{\text{т}}$) приведены в табл.17.2.

Таблица 17.2

Значение полных сопротивлений обмоток масляных и сухих трансформаторов ($Z_{\text{т}}$)

Мощность трансформатора, кВА	Масляные трансформаторы, $Z_{\text{т}}$, Ом	Сухие трансформаторы, $Z_{\text{т}}$, Ом
100	0,226	-
160	0,141	0,165
250	0,090	0,106
400	0,056	0,066
630	0,042	0,042
1000	0,027	0,027

Сопротивление петли «фаза – ноль» – $Z_{\text{п}}$ определяется выражением $Z_{\text{п}}=R_{\text{ф}}+R_{\text{н}}$, где $R_{\text{ф}}$ – сопротивление фазного провода, Ом; $R_{\text{н}}$ – сопротивление нулевого провода, Ом.

Сопротивление проводников определяется по формуле

$$R = \rho L / S , \quad (17.5)$$

где ρ – удельное сопротивление провода, ($\rho_{\text{меди}} = 0,018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, $\rho_{\text{алюминия}} = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$); L – длина провода, м; S – сечение провода, мм^2 .

Сечение фазного провода принимают по табл. 17.3 исходя из величины номинального тока $I_{\text{ном}}$.

Таблица 17.3

Допустимый длительный ток для четырех одножильных проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Ток, А, с жилами из проводов	
	медные	алюминиевые
2	20	15
2,5	25	19
3	26	21
4	30	23
5	34	27
6	40	30
8	46	37
10	50	39
16	75	55
25	90	70
35	115	85
50	150	120
70	185	140
95	225	175

Сечение нулевого защитного проводника должно быть не менее величины, указанной в табл. 17.4.

Таблица 17.4

Наименьшие сечения защитных проводников

Сечение фазных проводников, мм^2	Наименьшее сечение защитных проводников, мм^2
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Допустимый длительный ток для проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными и алюминиевыми жилами приведен в табл. 17.3.

17.2. Задание к работе и порядок расчета

Выполнить расчет зануления для защиты от замыканий на корпус электрооборудования, выбрать аппарат защиты.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 17.5.

Таблица 17.5

Варианты исходных данных для расчета защитного зануления

№ п/п	Трансформатор		Мощность электрооборудования P , кВт	Длина кабеля L , м	Материал провода
	Тип	S , кВА			
1	Масляный	630	15	15	Медь
2	Масляный	400	17	20	Медь
3	Масляный	100	19	25	Медь
4	Сухой	160	21	30	Медь
5	Масляный	250	23	27	Медь
6	Сухой	400	25	25	Медь
7	Масляный	200	15	20	Медь
8	Сухой	160	20	15	Медь
9	Сухой	300	20	20	Медь
0	Масляный	500	20	30	Медь

Порядок расчета

- Выбрать предохранитель.
- Выбрать сечение фазного и нулевого провода.
- Рассчитать величину тока короткого замыкания.
- Проверить условие срабатывания предохранителя на ток короткого замыкания.

Сделать заключение по работе.

18. РАСЧЕТ УСТРОЙСТВА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

ЗАДАЧА 18

18.1. Общие сведения о молниезащите

Воздействие молнии на здание или сооружение может проявляться в виде непосредственного разряда, вызывающего повреждение и разрушения, или в виде явлений электростатической и электромагнитной индукции, или в виде заноса высоких потенциалов через металлические коммуникации.

Защищаемые объекты в зависимости от опасности поражения молнией разделены на три категории, отличающиеся по тяжести возможных последствий.

К 1-й категории – отнесены производственные помещения, в которых при нормальных технологических режимах могут находиться и образовываться взрывоопасные концентрации газов, паров, пылей, волокон.

Ко 2-й категории – отнесены здания и сооружения, в которых появление взрывоопасной концентрации веществ происходит в результате нарушения нормального технологического режима, а также наружные установки, содержащие взрывоопасные жидкости и газы. Также к ним относятся здания вычислительных центров.

К 3-й категории – отнесены объекты, последствия поражения которых связаны с меньшим материальным ущербом, чем при наличии взрывоопасной среды. Сюда относятся здания и сооружения с пожароопасными помещениями или строительные конструкции низкой огнестойкости, высокие жилые и общественные здания, высокие трубы, башни.

Молниезащита – система, позволяющая защитить здание или сооружение от воздействий молнии. Она включает в себя внешние и внутренние устройства. В частных случаях молниезащита может содержать только внешние или только внутренние устройства.

Устройства защиты от прямых ударов молнии (молниеотводы) – комплекс, состоящий из молниеприемников, токоотводов и заземлителей (рис. 18.1).

Средством защиты от прямых ударов молнии служит молниеотвод – устройство, рассчитанное на непосредственный контакт с каналом молнии и отводящее её ток в землю. Молниезащитная система может быть выполнена в виде отдельно стоящего стержневого молниеотвода.

Для заземлителей молниезащиты нормируется импульсное сопротивление растеканию токов молнии – R_3 :

- $R_3 \leq 10$ Ом для зданий и сооружений 1-й и 2-й категорий;
- $R_3 \leq 20$ Ом для зданий и сооружений 3-й категории.

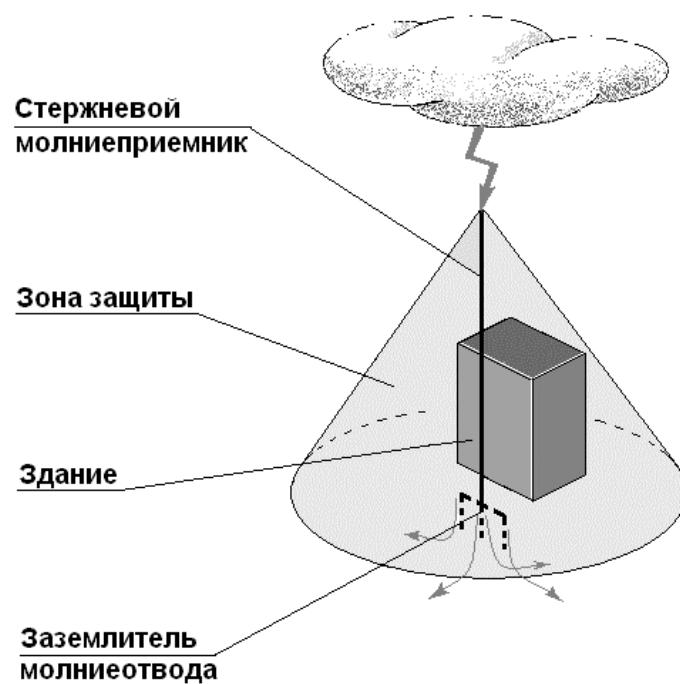


Рис. 18.1. Устройства защиты от прямых ударов молнии

18.2. Методика расчета зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h представляет собой круговой конус, вершина которого находится на высоте $h_0 < h$ (рис. 18.2).

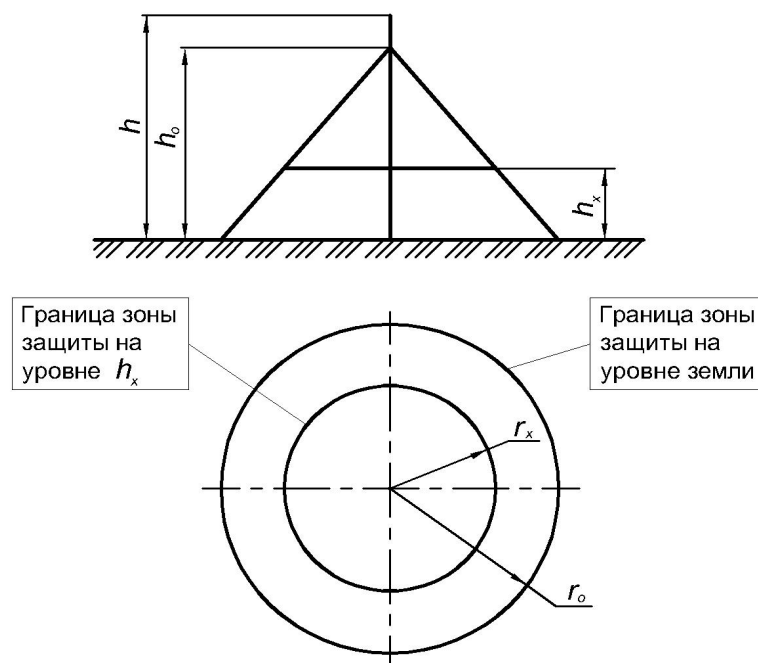


Рис. 18.2. Зона защитного одиночного стержневого молниеотвода

Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса h_0 и радиусом конуса на уровне земли r_0 . Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защищаемого сооружения h_x представляет собой круг радиусом r_x .

Радиус зоны защиты на уровне крыши здания определяется:

$$r_x = \sqrt{A^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2}, \quad (18.1)$$

где A – ширина здания, м; B – длина здания, м.

Необходимая высота молниеотвода:

$$h = \frac{r_x + 1,63 \cdot h_x}{1,5}, \quad (18.2)$$

где h_x – принимаем высоту здания ($h_x = H$), м.

Высота зоны защиты:

$$h_0 = 0,92 \cdot h. \quad (18.3)$$

Радиус зоны защиты на уровне земли:

$$r_0 = 1,5 \cdot h. \quad (18.4)$$

18.3. Задание к работе и порядок расчета

Определить категорию здания по молниезащите и нормируемую величину импульсного сопротивления растеканию токов молнии и выполнить расчет молниезащиты.

Исходные данные для расчета и варианты заданий приведены в табл. 18.3.

Порядок расчета

- Рассчитать необходимую высоту молниеотвода.
- Определить высоту зоны защиты.
- Определить радиус зоны защиты на уровне крыши здания.
- Рассчитать радиус зоны защиты на уровне земли.
- Построить зону защитного одиночного стержневого молниеотвода со своими размерами, как на (рис. 18.3).

Таблица 18.3

Исходные данные и варианты заданий

№ п/п	Категория объекта молниезащиты	Город	Размеры здания, м		
			Длина - <i>B</i>	Ширина - <i>A</i>	Высота - <i>H</i>
1	2	Белгород	20	16	8
2	3	Брянск	24	20	9
3	2	Вологда	28	24	10
4	3	Архангельск	32	28	11
5	2	Волгоград	36	24	12
6	3	Владимир	40	20	13
7	2	Иркутск	44	18	14
8	3	Новгород	48	32	15
9	2	Томск	52	30	14
0	3	Кемерово	56	28	13

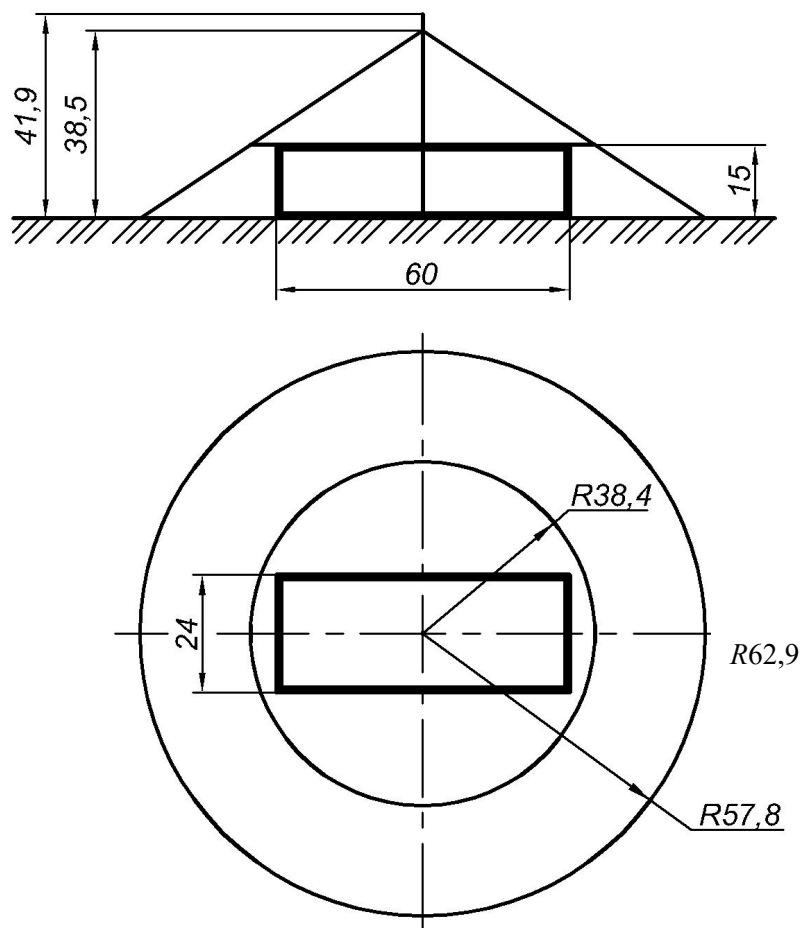


Рис. 18.3. Расчетная защитная зона одиночного стержневого молниеотвода

19. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

ЗАДАЧА 19

19.1. Методика расчета категорий помещений по пожарной опасности

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности принимаются в соответствии СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» согласно табл. 19.1.

Таблица 19.1

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении
А Повышенная взрывопожароопасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°C в таком количестве, что могут образовываться взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.
Б Взрывопожароопасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28°C, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовываться взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.
В1–В4 Пожароопасность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б.
Г Умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.
Д Пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Примеры производств, размещенных в помещениях категорий А, Б, В1-В4, Г и Д, приводятся ниже.

Категория А: пункты и насосные станции по перекачке легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ); депо промывки и дегазации цистерн из-под легковоспламеняющихся жидкостей (бензина, бензола, сырой нефти и т.д.); склады бензина и баллонов для горючих газов; помещения стационарных кислотных и щелочных аккумуляторных установок; водородные станции; малярные цехи и кладовки, в которых применяются нитрокраски, лаки и растворители из легковоспламеняющихся жидкостей с температурой вспышки паров 28°C и ниже; станции по производству ацетилена; цехи обработки и применения металлического натрия и калия, нефтеперерабатывающие и химические производства.

Категория Б: цехи вагонных, локомотивных депо и заводов с производством малярных работ с применением лаков и красок с температурой вспышки паров от 28°C до 61°C ; склады указанных лаков и красок, дизельного топлива; насосные и сливные эстакады по перекачке и сливу дизельного топлива; участки по изготовлению и ремонту деталей из пластических масс и стеклопластика; отделения и участки мойки и обтирки узлов и деталей с применением бензина и керосина; промывочно-пропарочные станции цистерн и другой тары из-под мазута и других жидкостей с температурой вспышки паров от 28°C до 61°C , аммиачные холодильные установки; мазутное хозяйство электростанций; цехи приготовления и транспортирования угольной пыли, древесной муки, сахарной пудры, обработки синтетического каучука и др.

Категория В1-В4: лесопильные и деревообрабатывающие цехи; цехи текстильной и бумажной промышленности; швейные и текстильные фабрики; склады масла и масляное хозяйство электростанций; трансформаторные подстанции; смазочное хозяйство заводов; асфальтовые заводы; склады и кладовые масляных красок; малярные цехи, в которых применяются краски и растворители с температурой вспышки выше 61°C ; автомобильные гаражи; гардеробные помещения; архивы; библиотеки; угольные эстакады; склады торфа; офисные помещения.

Категория Г: литейные, плавильные, кузнечные и сварочные цехи; цехи горячей прокатки металлов; котельные; главные корпуса электростанций; цехи горячей штамповки, обжига кирпичных, цементных и известковообжигательных заводов; отделения ремонта двигателей внутреннего сгорания.

Категория Д: механические цехи холодной обработки металлов; воздуходувные и компрессорные станции воздуха и других негорючих газов; депо электрокаров и др.

Согласно СП 12.13130.2009, определение пожароопасной категории помещения (В1-В4) осуществляется путем сравнения максимального значения удельной пожарной нагрузки в помещении с величиной удельной пожарной нагрузки, приведенной в табл. 19.2.

Таблица 19.2

Удельная пожарная нагрузка в помещении

Категория помещения	Удельная пожарная нагрузка q на участке, МДж/м ²
В1	Более 2200
В2	1401– 2200
В3	181–1400
В4	1–180

Удельная пожарная нагрузка q , МДж/м² определяется из соотношения:

$$q = Q/S, \quad (19.1)$$

где Q – пожарная нагрузка, МДж; S – площадь размещения пожарной нагрузки, м².

Пожарная нагрузка определяется из соотношения:

$$Q = \sum_{i=1}^n (Y_i \cdot Q_{ni}^p), \quad (19.2)$$

где Y_i – масса i -го материала пожарной нагрузки, кг; Q_{ni}^p – низшая теплота сгорания i -го материала пожарной нагрузки, МДж/кг.

Значения низшей теплоты сгорания для ряда материалов приведены в табл. 19.3.

Таблица 19.3

Низшая теплота сгорания некоторых материалов

Горючий материал	Теплота сгорания, МДж/кг	Горючий материал	Теплота сгорания, МДж/кг
1	2	3	4
Бумага разрыхленная	13,4	Фенопласты	11,3
Волокно штапельное	13,8	Хлопок	15,7
Древесина в изделиях	13,8	Масло моторное	42,25

1	2	3	4
Органическое стекло	25,1	Бензин	41,9
Карболитовые изделия	24,9	Ацетон	20,0
Каучук синтетический	40,2	Бензол	40,9
Полистирол	39,0	Бутиловый спирт	36,2
Полипропилен	45,6	Дизельное топливо	43,0
Полиэтилен	47,1	Керосин	43,5
Резинотехнические изделия	33,5	Мазут	39,8
Нефть	41,9	Этиловый спирт	27,2
Каучук натуральный	42,3	Книги на стеллажах	13,4
Пенополиуретан (ППУ)	23,4	Торф в караванах	11,3
Древесина в штабелях	16,6	Пластмасса	41,87
Кожзаменитель	17,76	Линолеум: -масляный -поливинилхлоридный -поливинилхлоридный на войлочной основе -поливинилхлоридный на тканевой основе	20,97 14,31 6,57 20,29
Текстолит	20,9		
Волокно штапельное	13,80		
Натрий металлический	10,88		
Канифоль	30,40		
Магний	25,10	Водород	119,841
Хлопок в тюках	16,75	Винилхлорид	18,496

19.2. Задание и порядок решения задачи

Определить категорию помещения по пожарной опасности, где имеются горючие материалы. Исходные данные для расчета и варианты заданий приведены в табл. 19.4.

Порядок расчета

- Определить низшую теплоту сгорания материалов, находящихся в помещении.
- Определить суммарную пожарную нагрузку в помещении.
- Рассчитать удельную пожарную нагрузку.
- Определить категорию помещения по пожарной опасности.

Сделать заключение по работе.

Таблица 19.4

Варианты заданий

№	Помещение Предметы, находящиеся в помещении	Кол- во, шт	Масса го- рючего ма- териала, кг/шт.	Площадь помеще- ния, S, м ²
1	2	3	4	5
1	<i>Помещение – учебный класс</i>			72
	1. Столы из древесно-стружечной плиты	20	11	
	2. Стенды из древесно-стружечной плиты	5	8	
	3. Пластиковые учебные пособия	5	8	
	4. Шкаф для книг	1	40	
	5. Стулья деревянные	40	5	
	6. Шторы хлопчатобумажные	3	5	
	7. Доска деревянная	1	25	
	8. Линолеум поливинилхлоридный	-	4 кг/м ²	
	9. Подвесной потолок (полистирол)	-	2 кг/м ²	
	10. Книги, журналы	-	50	
2	<i>Помещение – учебная лаборатория</i>			36
	1 Столы из древесно-стружечной плиты	4	20	
	2 Столы - текстолитовое покрытие	4	10	
	3. Стулья с пенополиуретановыми подушками	8	2	
	4. Доска из стеклопластика	1	20	
	5. Жалюзи пластиковые	2	3	
	6. Коврик резиновый	1	10	
	7. Линолеум поливинилхлоридный	-	7	
	8. Подвесной потолок (полистирол)	-	3 кг/м ²	
3	<i>Помещение – библиотека</i>			100
	1. Столы из древесно-стружечной плиты	40	11	
	2. Стенды из древесно-стружечной плиты	12	8	
	3. Стулья с пенополиуретановыми подушками	80	2	
	4. Шторы штапельные	8	5	
	5. Книги и журналы на стеллажах	1250	03	
	6. Линолеум масляный	-	3 кг/м ²	
	7. Подвесной потолок (полистирол)	-	4,5 кг/м ²	

Продолжение табл. 19.4

1	2	3	4	5
4	<i>Помещение – кафедра</i>			40
	1. Столы из древесно-стружечной плиты	8	18	
	2. Шкафы из древесно-стружечной плиты	3	36	
	3. Стулья с пенополиуретановыми подушками	10	2	
	4. Жалюзи пластиковые	3	3	
	5. Книги и журналы на стеллажах	450	0,3	
	6. Линолеум масляный	-	7 кг/м ²	
	7. Подвесной потолок (полистирол)	-	4 кг/м ²	
5	<i>Помещение – компьютерный зал</i>			56
	1. Столы из древесно-стружечной плиты	20	11	
	2. Системный блок-монитор (пластмасса	20	0,5	
	3. Системный блок-монитор (карболит)	20	1,2	
	4. Стулья с пенополиуретановыми подушками	20	2	
	5. Жалюзи пластиковые	4	3	
	6. Провода в резиновой изоляции (резина)	-	7	
	7. Книги и журналы на стеллажах	50	0,3	
	8. Линолеум поливинилхлоридный на войлочной основе	-	3 кг/м ²	
	9. Подвесной потолок (полистирол)	-	5 кг/м ²	
6	<i>Помещение – автомастерская</i>			250
	1. Автомобили легковые на ремонте	6		
	- Пластмасса на 1 автомобиль		45	
	- Пенополиуретан на 1 автомобиль		20	
	- Резина на 1 автомобиль		80	
	- Бензин в баке одного автомобиля		10	
	- Масло на 1 автомобиль		8	
	2. Масло –отработка в мастерской	-	100	
	3. Резиновые изделия в мастерской	-	200	
	4. Пластмассовые изделия в мастерской	-	150	
	5. Масла для замены	-	200	
	6. Ветошь хлопчатобумажная для протирки оборудования	-	20	
	7. Растворитель - бензол	-	40	

1	2	3	4	5
7	<i>Помещение – магазин хозяйственных товаров</i>			95
	1. Стеклые емкости с ацетоном	100	0,5	
	2. Стеклые емкости с бутылочным спиртом	100	0,5	
	3. Полиэтиленовые емкости	50	0,25	
	моторное масло	50	4	
	4. Полиэтиленовые емкости	100	0,15	
	керосин	100	0,5	
	5. Изделия из оргстекла	50	1,5	
	6. Рулон полиэтилена	3	100	
	7. Рулон искусственной кожи	4	120	
8	<i>Помещение – архив</i>			120
	1. Столы из древесно-стружечной плиты	5	15	
	2. Учетные книги и папки на стеллажах	10000	0,5	
	3. Стулья деревянные	10	5	
	4. Шторы хлопчатобумажные	10	5	
	5. Стеллажи из древесно-стружечной плиты	8	22	
	6. Линолеум поливинилхлоридный	-	5 кг/м ²	
	7. Подвесной потолок (полистирол)	-	7 кг/м ²	
9	<i>Помещение – склад</i>			110
	1. Столы из древесно-стружечной плиты	5	15	
	2. Учетные книги и папки на стеллажах	900	0,5	
	3. Стулья деревянные	10	5	
	4. Шторы хлопчатобумажные	10	5	
	5. Шкафы	4	40	
	6. Линолеум поливинилхлоридный	-	2,4 кг/м ²	
	7. Подвесной потолок (полистирол)	-	1,5 кг/м ²	
0	<i>Помещение – спортивный зал</i>			500
	1. Деревянный пол (наборный из досок)	-	15 кг/м ²	
	2. Маты пенополиуретановые	20	15	
	3. Маты искусственная кожа	20	12	
	4. Лавочки деревянные	4	14	
	5. Жалюзи пластиковые	3	6	
	6. Сетки х/б	-	12	
	7. Коврики резиновые	10	7	

20. ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА РАБОТНИКОВ

ЗАДАЧА 20

20.1. Пояснения к решению задачи

В настоящее время для оценки профессионального риска используются результаты специальной оценки условий труда. Процедура специальной оценки условий труда установлена нормативными правовыми актами. Условия труда оцениваются интегрировано с учетом комплексного воздействия на человека различных опасных и вредных производственных факторов.

Суть методики интегральной оценки условий труда заключается в балльной оценке условий труда по гигиеническим показателям производственной среды. Балльные оценки условий труда приведены в Р 2.2.2006-05 «Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса»:

- 1 класс – оптимальные условия труда оцениваются в 1 балл;
- 2 класс – допустимые условия труда – 2 балла;
- 3.1 класс – вредные условия труда 1-й степени – 3 балла;
- 3.2 класс – вредные условия труда 2-й степени – 4 балла;
- 3.3 класс – вредные условия труда 3-й степени – 5 баллов;
- 3.4 класс – вредные условия труда 4-й степени – 6 баллов.

Поскольку все факторы производственной среды действуют независимо друг от друга, обобщенный уровень риска определяется по формуле:

$$R_{\text{пс}} = 1 - \prod_{i=1}^n S_{\text{пс}_i},$$

где $S_{\text{пс}_i}$ – уровень безопасности по i -му фактору производственной среды.

$$S_{\text{пс}_i} = \frac{(x_{\text{max}} + 1) - x_i}{x_{\text{max}}},$$

где x_{max} – максимальная балльная оценка принимается в соответствии с методикой НИИ труда $x_{\text{max}} = 6$; x_i – балльная оценка по i -му фактору среды, определяемая по классу условий труда в соответствии с Р 2.2.2006-05; n – число учитываемых факторов производственной среды.

Обобщенный уровень безопасности производственной среды определяется по формуле:

$$S_{\text{пс}} = \prod_{i=1}^n S_{\text{пс}_i} .$$

Вероятность работы без заболеваний (уровень безопасности производственной среды) в течение t лет может быть определена по формуле:

$$S_{\text{пс}} = (1 - R_{\Gamma})^t ,$$

где R_{Γ} – годовой профессиональный риск, $R_{\Gamma} = 1 - \sqrt[t]{\prod_{i=1}^n S_{\text{пс}_i}}$;

$t = 25$ – трудовой стаж.

Для заданной профессии в соответствии с вариантом задания необходимо рассчитать обобщенный уровень безопасности $S_{\text{пс}}$.

Для класса условий труда 2 по i -му фактору уровень безопасности равен:

$$S_{\text{пс}_i} = \frac{(6+1) - 2}{6} = 0,83 .$$

Для класса условий труда 3.1 по i -му фактору уровень безопасности равен:

$$S_{\text{пс}_i} = \frac{(6+1) - 3}{6} = 0,67 .$$

Для класса условий труда 3.2 по i -му фактору уровень безопасности равен:

$$S_{\text{пс}_i} = \frac{(6+1) - 4}{6} = 0,5 .$$

Для класса условий труда 3.3 по i -му фактору уровень безопасности равен:

$$S_{\text{пс}_i} = \frac{(6+1) - 5}{6} = 0,33 .$$

Для класса условий труда 3.4 по i -му фактору уровень безопасности равен:

$$S_{\text{пс}_i} = \frac{(6+1) - 6}{6} = 0,17 .$$

Для снижения профессионального риска работника необходимо предложить мероприятия по улучшению условий труда по тем факторам, которые относятся к классам условий труда 3.1, 3.2, 3.3 и 3.4. Например,

улучшить освещение за счет совершенствования системы освещения до 2-го класса или улучшить микроклимат в помещении и т.п. Затем следует выполнить новый расчет уровня безопасности с учетом изменившихся классов условий труда и рассчитать максимальный уровень риска, который можно достичь за счет мероприятий по улучшению условий труда.

Максимально допустимый уровень риска рассчитывается из условия, что все факторы производственной среды, действующие на работника в процессе трудовой деятельности, доведены до наилучшего уровня за счет совершенствования средств коллективной защиты (освещения, вентиляции, отопления, экранирования и др.). В лучшем случае это когда условия труда по каждому фактору соответствуют классу 2 (допустимые). Те производственные факторы, которые не могут быть улучшены до 2-го класса в связи с особенностями технологического процесса (например, шум от оборудования, ультрафиолетовые излучения при сварке и т.п.), а их уровень соответствует классу условий труда 3.2, 3.3, 3.4, но работники обеспечиваются и применяют эффективные средства индивидуальной защиты, то класс условий труда может быть снижен и оценен как менее вредный на одну ступень, но не ниже класса 3.1.

Отклонение фактического уровня риска от максимально допустимого уровня риска определяется по соотношению

$$\Delta R = \frac{R_{\text{пс}} - R_{\text{пс max}}}{R_{\text{пс}}} 100\% .$$

Полученное значение показывает, на сколько процентов может быть снижен уровень профессионального риска работника за счет улучшения условий труда.

20.2. Задание и порядок решения задачи

Определить уровень профессионального риска для работника в соответствии с вариантом задания. Рассчитать максимально допустимый уровень риска с учетом улучшения условий труда и отклонение фактического уровня риска от максимально допустимого.

Исходные данные для расчета профессионального риска и варианты заданий приведены в табл. 20.1.

Используя приведенные ранее зависимости по расчету обобщенного уровня безопасности и обобщенного уровня риска, определить показатели профессионального риска для заданной профессии (специальности) в соответствии с вариантом задания. Результаты занести в табл. 20.2.

Таблица 20.1

**Классы условий труда по вредным производственным факторам
для работников различных профессий**

№	Наименование профессии	Классы условий труда по факторам производственной среды							
		Вредные вещества	Пыль	Шум	Вибрация	Освещение	Микроклимат	Электромагнит. излучение	Тяжесть
1	Электрогазосварщик	3.2	3.1	2	2	3.1	3.1	2	3.1
2	Стеклодув	3.1	3.2	3.1	2	3.1	3.1	2	2
3	Маляр	3.2	3.1	2	2	3.1	3.1	2	2
4	Повар	2	2	3.1	2	3.1	3.2	2	3.1
5	Водитель автомобиля	3.1	2	3.2	3.1	2	2	2	3.1
6	Хирург	3.1	2	2	3.2	3.1	2	2	2
7	Плавильщик	3.2	3.1	3.1	2	2	3.2	3.1	3.2
8	Штукатур	3.1	3.2	2	2	3.1	3.1	2	2
9	Сантехник	3.1	2	2	2	3.1	3.1	2	3.2
0	Электрик	2	2	2	2	3.2	3.1	3.1	2

Таблица 20.2

Результаты оценки профессионального риска

Наименование профессии	Обобщенный уровень безопасности $S_{\text{пс}} = \prod_{i=1}^n S_{\text{пс}_i}$	Обобщенный уровень риска $R_{\text{пс}} = 1 - \prod_{i=1}^n S_{\text{пс}_i}$	Годовой профессиональный риск $R_{\Gamma} = 1 - \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n S_{\text{пс}_i}}$	Максимально допустимый уровень обобщенного риска $R_{\text{пс max}}$	Отклонение фактического уровня от максимального, %

Сделать заключение по результатам работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – М., 1981.
2. ГОСТ 12.1.038 – 82. ССБТ. Предельно-допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – М., 1982.
3. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение». – М., 2011.
4. СП 51.13330.2011 "Защита от шума". – М., 2011.
5. СП 12.13130.2009 «Свод правил. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности». – М., 2009.
6. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. – М., 2008.
7. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций (СО-153-34.21.122-2003). – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 57 с.
8. **Арустамов, Э.А.** Безопасность жизнедеятельности: учебник для бакалавров / Э.А. Арустамов. – М.: Дашков и К, 2016. – 448 с.
9. Безопасность жизнедеятельности: учебник / С. В. Белов [и др.]; под общ. ред. С.В. Белова. – 7-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2007. – 616 с.
10. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды / С.В. Белов. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, - 2011. – 680 с.
11. **Белов, С.В.** Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (Техносферная безопасность): учебник / С.В. Белов. – Люберцы: Юрайт, 2016. – 702 с.
12. **Занько, Н.Г.** Безопасность жизнедеятельности / Н.Г. Занько, К.Р. Малаян [и др.] – СПб.: Лань, 2016. – 696 с.
13. **Карякин, Р.Н.** Справочник по молниезащите / Р.Н. Карякин. – М.: Энергосервис, 2005. – 880 с.
14. Основы безопасности жизнедеятельности: учеб. пособие / Г.В. Пачурин [и др.]; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – 2-е изд. перераб. и доп.– Н. Новгород, 2014. – 269 с.
15. **Рыжков, Л.П.** Безопасность жизнедеятельности: учебник / Л.П. Рыжков, Т.Ю. Кучко, И.М. Дзюбук. – СПб.: Лань, 2016. – 696 с.
16. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
17. Тепловой баланс производственных помещений. Организация и расчет систем вентиляции в производственных помещениях: учеб. пособие по выполнению дипломных, курсовых и практических работ для

студентов / В.В. Бакаев [и др.]; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2011. – 131 с.

18. Электробезопасность. Теория и практика: учеб. пособие для вузов / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков, А.Ф. Монахов; под ред. В.Т. Медведева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 280с.
19. **Маркиганова, Л.И.** Защита от радиации: учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2015. – 39 с.
20. Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» ФЗ-426 от 28.12.2013г. – М., 2013.
21. Приказ Минтруда России от 24.01.2014г. № 33н «Методика проведения специальной оценки условий труда». – М., 2014.

ПРИЛОЖЕНИЕ

(Образец титульного листа)

Нижегородский государственный технический университет
им. Р. Е. Алексеева

Кафедра «Производственная безопасность, экология и химия»

Контрольная работа
по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»

Вариант X

Выполнил студент
гр. 20-XXXXXX
_____ ФИО

Проверил
_____ ФИО

Оценка

Нижний Новгород 202...

**Елькин Анатолий Борисович
Гейко Игорь Васильевич
Конюхова Наталья Сергеевна
Курагина Татьяна Игоревна
Маслеева Ольга Владимировна
Пачурин Герман Васильевич
Трунова Ирина Геннадьевна**

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

СБОРНИК ЗАДАЧ

Редактор Е.В. Комарова
Компьютерный набор и верстка **И.В. Гейко**

Подписано в печать 13.12.2023. Формат 60×84
1/16 . Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. 7,25.
Тираж 50 экз. Заказ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:
603155, Нижний Новгород, ул. К. Минина, 24.