

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технологии строительного производства

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Учебно-методическое пособие
к проведению практических занятий и
выполнению раздела дипломного проекта
«Охрана труда»

для студентов строительных, технических
и экономических специальностей

2-е издание, исправленное, переработанное и дополненное

Брест 2011

УДК 331.45(07)
ББК 65.9(Бел) 448 я 7
И62

Рецензенты:

начальник отдела технологии
ОАО «Строительный трест №8» **Ребров Г.Е.**,
зам. директора Государственного унитарного проектно-изыскательского
предприятия «Институт Брестстройпроект» к.т.н. **Образцов В.В.**

**Чернюк В.П., Щербач В.П., Пчёлин В.Н., Семенюк С.М.,
Юськович В.И., Юськович Г.И., Тимошук В.А.**

И62 Инженерные решения по охране труда: учебно-методическое
пособие. – 2-е издание, исправленное, переработанное и
дополненное. – Брест: Издательство БрГТУ, 2011. – 120 с.

ISBN 978-985-493-192-0

В пособии изложена теоретическая часть и практические решения задач по охране труда, касающиеся разделов производственной санитарии и гигиены труда, техники безопасности и пожаробезопасности. В основу пособия положены действующие в Республике Беларусь законодательные, правовые, нормативные и технические документы.

Освещены теоретические вопросы, касающиеся решений задач по соответствующим разделам, даны примеры, методика и порядок расчета задач, варианты примеров и задач.

Пособие предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения различных специальностей и факультетов, специалистов по охране труда учреждений и организаций, проектировщиков.

19 рис., 64 табл., 24 задачи, 20 библи.

УДК 331.45(07)
ББК 65.9 (Бел) 448 я 7

© Коллектив авторов, 2011
© Из-во БрГТУ, 2011

ISBN 978-985-493-192-0

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ САНИТАРИИ И ГИГИЕНЫ ТРУДА.....	6
1.1. Производственная пыль и её воздействие на человека.....	6
1.1.1. Гигиенические критерии оценки условий труда при воздействии аэрозолей преимущественно фиброгенного действия.....	6
1.2. Автомобильная дорога и атмосфера.....	9
1.2.1. Загазованность окружающей среды. Методика расчета загазованности воздуха окисью углерода.....	9
1.3. Автомобильная дорога и транспорт.....	13
1.3.1. Транспортный шум и его влияние на окружающую среду. Методика расчета транспортного шума.....	13
1.4. Освещение производственных помещений.....	16
1.4.1. Расчет параметров искусственного освещения строительных площадок и помещений.....	16
А. Прожекторное освещение строительных площадок.....	16
Б. Светотехнический расчет электрического освещения помещения методом коэффициентного использования.....	19
2. ОСНОВЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ.....	25
2.1. Безопасность такелажных работ.....	25
2.1.1. Определение расчетных параметров стропов и чалочных канатов.....	25
2.2. Безопасность труда при разработке котлованов и траншей.....	29
2.2.1. Определение допустимой крутизны откосов котлованов и траншей.....	29
2.3. Обеспечение устойчивости строительных кранов.....	33
2.3.1. Основы безопасности работы строительных кранов.....	33
2.3.2. Расчет устойчивости самоходного стрелового крана.....	37
2.3.3. Расчет устойчивости башенного крана.....	43
2.4. Электробезопасность.....	48
2.4.1. Расчет защитного заземления электроустановок.....	49
2.4.2. Расчет зануления заземления электроустановок.....	56
2.4.3. Расчет возможности поражения человека электрическим током.....	61
2.4.4. Молниезащита зданий и сооружений.....	65
2.4.5. Защита от электромагнитных полей.....	73
2.5. Безопасность эксплуатации сосудов, аппаратов, систем и оборудования, работающих под давлением.....	82
2.5.1. Расчет безопасности сосудов, работающих под давлением.....	82
2.6. Защита от вибрации.....	86
2.6.1. Воздействие вибрации на организм человека. Расчет виброизоляции фундамента.....	86

3. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	94
3.1. Общие сведения о горении.....	94
3.2. Основные показатели пожаровзрывобезопасности веществ и материалов.....	97
3.3. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.....	100
3.4. Огнестойкость строительных конструкций и зданий.....	103
3.5. Объемно-планировочное решения при проектировании производственных зданий и хранения веществ и материалов с учетом противопожарных требований.....	105
3.6. Количественная оценка взрывоопасности технологических объектов.....	108
3.7. Средства тушения пожаров и пожарная сигнализация.....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
ЛИТЕРАТУРА.....	118

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире ежегодно более 160 млн. работающих получают травмы и заболевания в связи с неблагоприятными условиями труда, из них свыше 1.2 млн. человек погибают вследствие несчастных случаев и заболеваний, связанных с условиями труда. По данным международных организаций потери общества от одного несчастного случая со смертельным или тяжелым исходом оцениваются суммой, эквивалентной 75 тыс. дол. США.

Ежегодно в связи с нарушением требований техники безопасности труда на предприятиях республики более 5 тыс. работников травмируется, из них около 200 человек погибают, а свыше 800 получают тяжелые травмы, что влечет за собой потерю работоспособности и инвалидность. В Республике Беларусь неблагоприятных условиях в среднем трудятся около 30% работающих, а в отдельных отраслях их доля еще выше: в нефтехимпроме – 53%, черной металлургии – 51%, электроэнергетике – 49%, лесозаготовительной – 47%, строительстве – 45%, текстильной – 43%. Неудовлетворительные условия труда являются причиной высокого уровня временной нетрудоспособности, которая в последнее время прогрессирует.

Для коллективного улучшения охраны труда в нашей стране создана и продолжает совершенствоваться стройная система законодательной и нормативно-технической базы. Например, учебное пособие «Охрана труда» (авторы Челноков А.А., Юценко Л.Ф.) за последние 10 лет переиздавалось четыре раза в связи с изменением, дополнением и совершенствованием нормативно-правовой базы и технических средств. Целью этого процесса является формирование у специалистов мышления, основанного на глубоком осознании основного принципа – безусловности приоритетов бесценности и безопасности человеческой жизни при решении любых производственных задач.

В то же время мало внимания уделяется практическому решению инженерных задач по охране труда в технических отраслях, в том числе и в строительстве. Последний сборник инженерных решений по охране труда в строительстве был издан в 1985 году, т.е. более 35 лет назад, тиражом всего 76 тыс. экз. (на 258 млн. населения страны в то время) – «Инженерные решения по охране труда в строительстве». Справочник строителя (Орлов Г.Г. и др. – М.: Стройиздат, 1985). Первое издание одноименного пособия охватило только часть практических задач по охране труда (тираж 100 экз.), что явно недостаточно. В него не вошел раздел «Пожарная безопасность».

Издание настоящего учебно-методического пособия будет способствовать повышению качества образования будущих специалистов в различных областях народного хозяйства, улучшению учебного процесса при проведении практических занятий и лабораторных работ, при выполнении раздела дипломного проекта «Охрана труда» для студентов различных факультетов и специальностей.

1. ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ САНИТАРИИ И ГИГИЕНЫ ТРУДА

1.1. Производственная пыль и её воздействие на организм человека

1.1.1. Гигиенические критерии оценки условий труда при воздействии аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД)

I. Класс условий труда и степень вредности при профессиональном контакте с АПФД определяют исходя из фактических величин среднесменных концентраций АПФД и кратковременности превышения ПДК согласно табл. 1.1 [2.3].

Таблица 1.1 – Класс условий труда исходя из ПДК

Показатель	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный (экстрем.)**
		2	3.1	3.2	3.3	
Превышение ПДК, раз						
Концентрация пыли	≤ПДК	1;1-2.0	2.1+5.0	5.1+10.0	>10.0	-
Превышение КПН, раз						
Пылевая нагрузка (ПН)	≤КПН	1;1-2.0	2.1+5.0	5.1+10	>10	-
Пылевая нагрузка для пылей с выраженным фиброгенным действием (ПДК<1мг/м ³), а также для асбестосодержащих пылей	≤КПН	1.1-1.5	1.6+3.0	>3.0	>5.0	-
% доплаты к тарифной ставке I разряда	0	10	14	20	25	31

Сокращения: ПДК – предельно-допустимая концентрация;

ПН – пылевая нагрузка;

КПН – контрольная пылевая нагрузка;

*За исключением пылей, обладающих выраженным фиброгенным действием и имеющих ПДК 1 мг/м³ и менее, а также для асбестосодержащих пылей;

**Органическая пыль в концентрациях, превышающих 200-400 мг/м³, представляет опасность для возникновения пожаров и взрывов ПДК веществ, относящихся к АПФД, являются среднесменными.

II. Класс условий работы зависит от физической тяжести работы и определяется физическими затратами в процессе трудовой деятельности. В соответствии с СанПин физические работы подразделяются на легкие, средней тяжести и тяжелые.

Деление физических работ на категории приведено в табл. 1.2 в зависимости от энергозатрат и характера труда [1].

Таблица 1.2 – Класс условий работ в зависимости от энергозатрат

Класс условий работ	Категория работ	Энергозатраты работ, Вт	Характер работ
Легкие, I	Ia	<139	Работы, производимые сидя и при небольших физических усилиях
	Iб	140-174	Работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой, сопровождающиеся некоторыми физическими усилиями
Средней тяжести, II	IIa	175-232	Работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий и предметов в положении сидя, требующие определенных физических усилий
	IIб	233-290	Работы, связанные с ходьбой, переносом и перемещением тяжестей до 10 кг и требующие умеренного физического усилия
Тяжелые физические работы	III	>290	Работы, связанные с постоянным передвижением, перемещением и перенесением значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий

Исходя из гигиенических критериев, условия труда подразделяются на 4 класса: оптимальные, допустимые, вредные и опасные [2]:

Оптимальные условия труда (I класс) – сохраняют условия и создают предпосылки для поддержания высокого уровня работоспособности.

Допустимые (2 класс) – характеризуются такими уровнями факторов среды и производственных процессов, которые не превышают установленных нормативов для рабочих мест, не оказывают вредного воздействия на здоровье работающих и их последующее потомство (условно относятся к безопасным).

Вредные (3 класс) – делятся по степени превышения гигиенических нормативов и выражению изменений в организме работающих на 4 степени вредности:

- 1 степень 3 класса (3.1) – характеризуют легкие отклонения в организме более чем до следующей смены;
- 2 степень 3 класса (3.2) – могут привести к временной нетрудоспособности (проявляются через 15 лет);
- 3 степень 3 класса (3.3) – могут привести к профболезням (легкой и средней тяжести), потере трудоспособности (100 случаев на 100 работающих и примерно 1000 дней нетрудоспособности на 100 работающих в год);
- 4 степень 3 класса (3.4) – могут возникать тяжелые формы профзаболеваний, потере трудоспособности (до 150 случаев на 100 работающих, потеря трудоспособности до 1500 дней на 100 работающих в год).

Опасные (экстремальные) – 4 класс, характеризует уровень производственных факторов, воздействие которых в рабочей смене или ее части создаёт угрозу для жизни, имеет риск развития профзаболеваний, в т.ч. тяжёлых форм.

Градация условий труда в зависимости от степени отклонения действующих факторов производственной среды и трудового процесса от гигиенических нормативов осуществляется в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ химической природы (имеется соответствующая таблица)(1); веществ биологической природы (имеется соответствующая таблица)(2); АПФД и пылевых нагрузок на органы дыхания (табл. 1.1)(3):

от уровней шума, локальной и общей вибрации, уровней инфра- и ультра-
развка на рабочем месте (имеется соответствующая таблица) ---//---(4)
по показателям микроклимата (t, V, W воздуха и др.) -----//-----(5)
от параметров световой среды (КЕО, Е, Р и т.д.) -----//-----(6)
от действия ионизирующих излучений (электромагнитное поле)---//---(7)
при действии неионизирующих излучений (лазерное, ультрафиоле-
товое) -----//-----(8)
по показателям тяжести трудового процесса -----//-----(9)
по показателям напряженности трудового процесса -----//-----(10)
Пример расчёта пылевой нагрузки, определение класса условий труда
и допустимого стажа работы в контакте с АПФД

Пример 1.1

Дробильщик проработал 7 лет в условиях воздействия пыли гранита, содержащей 60% (810 мг/м^3) пыли. Среднесменная концентрация пыли за этот период составила 3 мг/м^3 . Категория работ – IIб (объем легочной вентиляции равен 7 м^3 – в зависимости от категории работ – IIа-IIб – 7 м^3 , Ia-Iб – 4 м^3 ; III – 10 м^3).

Среднесменная ПДК данной пыли – 2 мг/м^3 .

Среднее количество рабочих дней в году – 248.

Определить:

- пылевую нагрузку (ПН);
- контрольную пылевую нагрузку (КПН);
- класс условий труда;
- контрольную пылевую нагрузку за 25 лет;
- допустимый стаж работы в таких условиях.

Решение:

а) Определим фактическую пылевую нагрузку за 7 лет:

$$\text{ПН} = \text{КНТQ} = 3 \times 248 \times 7 \times 7 = 36456 \text{ МГ,}$$

где $K = 3 \text{ мг/м}^3$ – фактическая среднесменная концентрация пыли в зоне дыхания работника;

$N = 248 \text{ см}$ – количество смен контакта с АПФД;

$T = 7 \text{ лет}$ – количество лет контакта с АПФД;

$Q = 7 \text{ м}^3$ – объем легочной вентиляции за смену;

б) Определяем контрольную пылевую нагрузку (КПН) за этот же период работы:

$$КПН = ПДК \cdot N \cdot T \cdot Q = 2 \cdot 248 \cdot 7 \cdot 7 = 24304 \text{ мг};$$

в) Рассчитываем величину превышения КПН:

$$ПН/КПН = 36456,24304 = 1,5, \text{ т.е. фактическая ПН превышает КПН в 1.5 раза.}$$

Соответственно, согласно табл.1, класс условий труда дробильщика – вредный, 3.1;

г) определяем КПН за средний рабочий стаж (25 лет):

$$КПН = 2 \cdot 248 \cdot 7 \cdot 25 = 86800 \text{ мг};$$

д) Определяем допустимый стаж работы в данных условиях:

$$T = \frac{КПН_{\text{д}}}{K \cdot N \cdot Q} = \frac{86800}{3 \cdot 248 \cdot 7} = 16,7 \text{ лет.}$$

Таким образом, в данных условиях труда дробильщик может проработать 17 лет.

1.2. Автомобильная дорога и атмосфера

1.2.1. Загазованность окружающей среды. Методика расчета загазованности воздуха окисью углерода

На автомобильной дороге с твердым покрытием, но с пыльной обочинной, в воздухе содержание пыли достигает $800 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3}$. Загрязняют атмосферу пыль от износа резины (до 1.6 кг в год на 1 автомобиль), асбестовая пыль от тормозных колодок и муфт сцепления автомобилей, а также пыль от истирания покрытия дорог.

На современных автомобилях практически единственным источником энергии является поршневой двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Поэтому уровень загрязнения атмосферного воздуха зависит от качественного и количественного состава отработавших газов, типа ДВС, его технического состояния, мощности и режима работы, вида применяемого топлива. ДВС загрязняют атмосферу: 65% отработанными газами, 20% газами от картера двигателя, 9% углеродами, образующимися в карбюраторе, 6% испарениями из топливных баков.

По степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяются на 4 класса:

1 класс – вещества чрезвычайно опасные (ванадий и его соединения, окись кадмия, карбонил никеля, озон, ртуть, тетраэтил свинец, фосфор желтый и др.);

2 класс – вещества высокоопасные (оксиды азота, дихлорэтан, карбофос, марганец, медь, мышьяковидный водород, пиридин, серная и соляная кислоты, сероводород, тиурам, формальдегид, фтористый водород, хлор, растворы едких щелочей и др.);

3 класс – вещества умеренно опасные (камфара, капролактамы, ксилон, нитрофоска, полиэтилен низкого давления, сернистый антигидрид, спирт метиловый, толуол, фенол, фурфурол и др.);

4 класс – вещества малоопасные (аммиак, ацетон, бензин, керосин, нафталин, скипидар, спирт этиловый, оксид углерода, уайт-спирит, доломит, известняк, магнезит и др.).

Класс опасности вредных веществ устанавливают в зависимости от норм и показателей по табл. 1.3.

Отнесение вредного вещества к классу производят по показателю, значение которого является максимальным.

ПДК вредного вещества в воздухе рабочей зоны – это концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или другой продолжительности, но не более 40ч в неделю на протяжении всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья и не отразится на последующих поколениях, мг/м³.

Средняя смертельная доза при нанесении на кожу – доза вещества, вызывающая гибель 50% животных при однократном нанесении на кожу, мг/кг.

Средняя смертельная концентрация в воздухе – концентрация вещества, вызывающая гибель 50% животных при 2÷4-часовом ингаляционном воздействии, мг/м³.

Таблица 1.3 – Показатели токсичности вредных веществ

Показатель	Норма для классов опасности			
	1	2	3	4
ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	<0.1	0.1-1.0	1.1-10.0	>10.0
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	<15	15-150	151-5000	>5000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	<100	100-500	501-2500	>2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м ³	<500	500-5000	5001-50000	>50000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления	>300	300-30	29-3	<3
Зона острого действия	<6.0	6.0-18.0	18.1-54.0	>54.0
Зона хронического отравления	>10.0	10.0-5.0	4.9-2.5	<2.5

Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО) – отношение максимально достижимой концентрации вредного вещества в воздухе при 20 °С к средней смертельной концентрации вещества для мышей при двухчасовом воздействии. КВИО объединяет два важнейших показателя опасности острого отравления: летучесть вещества и дозу, вызывающую наибольший биологический эффект, т.е. гибель организма.

Зона острого действия – отношение средней смертельной концентрации вещества к минимальной (пороговой) концентрации, вызывающей изменение биологических показателей на уровне целостного организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций.

Зона хронического отравления – отношение минимальной (пороговой) концентрации к минимальной концентрации, вызывающей вредное действие в хроническом эксперименте по четыре часа, пять раз в неделю на протяжении не менее 4-х месяцев.

Для оценки ожидаемого загрязнения воздуха разработан расчетный метод. За основу принято общепризнанное положение, что наиболее опасным видом токсичных выбросов автомобиля является окись углерода (СО).

Расчетный уровень концентрации СО (мг/м³) на высоте 1.5 м над кромкой проезжей части прямого в плане и горизонтального участка автодороги определяется по формуле:

$$CO_o = (7.33 + 0.026 \cdot N_{np}) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (1.1)$$

- где $N_{np} = \alpha N$ – приведенная перспективная часовая интенсивность движения (в обоих направлениях) автомобильного потока, авт./час;
 α – коэффициент перехода от суточной к часовой интенсивности движения автомобильного потока, принимается $\alpha=0.1$;
 N – расчетная среднесуточная интенсивность движения, авт./сут. (табл.1.5);
 K_1 – коэффициент, учитывающий влияние состава транспортного потока и его средней скорости, принимается по табл. 1.4;
 K_2 – коэффициент, учитывающий влияние продольного уклона (при продольном уклоне $i \leq 10\%$ $K_2 = 1.0$, при $i=10 - 30\%$ $K_2 = 1.02$, при $i=30 - 50\%$ $K_2 = 1.04$, при $i=50 - 70\%$ $K_2 = 1.06$);
 K_3 – коэффициент, учитывающий ожидаемое снижение токсичности автомобильных двигателей благодаря улучшению конструкции ДВС и методов их эксплуатации (на 2000г $K_3 = 1.11$; на 2010 $K_3 = 1.06$).

Таблица 1.4 – Значение коэффициента влияния состава транспортного потока от его средней скорости

Для грузовых автомобилей и автобусов с дизельными двигателями в общем потоке, %	Скорость транспортного потока, км/ч						
	20	30	40	50	60	70	80
80	1.17	1.11	1.05	0.90	1.02	1.11	1.21
70	1.14	1.08	1.00	0.87	0.95	1.04	1.12
60	1.12	1.04	0.95	0.83	0.89	0.93	1.03
50	1.11	1.01	0.91	0.80	0.84	0.90	0.95
40	1.09	0.97	0.86	0.76	0.77	0.78	0.85
30	1.08	0.95	0.82	0.73	0.70	0.66	0.75
20	1.05	0.91	0.77	0.69	0.62	0.57	0.67
10	1.02	0.87	0.72	0.65	0.54	0.46	0.55

При отсутствии ветра и температурной инверсии загазованность воздуха СО (мг/м³) в точке, удаленной от проезжей части дороги на расстоянии l , составит:

$$CO_l = 0.5 \cdot CO_o - 0.1 \cdot l, \quad (1.2)$$

где l – удаление данной точки от кромки проезжей части автомобильной дороги, м.

Пример 1.2

Определить расчетный уровень концентрации окиси углерода СО (мг/м³) над проезжей частью автомобильной дороги III категории. Продольный уклон участка дороги - 20%.

Решение:

По табл. 1.5 определяем среднесуточную интенсивность движения автомобилей: $N=2000$ авт.сут.

Таблица 1.5 – Классификация автомобильных дорог

Категория дороги	Расчетная интенсивность движения, авт./сут.		Полоса отвода от оси дороги по обеим сторонам, м	Ширина проезжей части, м
	Приведенная к легковым автомобилям	В физических единицах		
I – а	>14000	>7000	32	2×7.5; 2×11.5; 2×15
I – б	>14000	>7000	32	2×7.5; 2×11.5; 2×15
II	6000 – 14000	3000 – 7000	16	7.5
III	2000 – 6000	1000 – 3000	14	7.0
IV	200 – 2000	100 – 1000	13	6.0
V	<200	<100	12	4.5

По табл. 1.6 определяем распределение состава движения по типам автомобилей.

Таблица 1.6 – Распределение состава движения по типам автомобилей (%)

Типы автомобилей	Всего	Существующее положение	
		В пределах города	На дорожной сети
Грузовые	51	32	68
Легковые	40	58	23
Автобусы	9	10	9
Перспектива			
Грузовые	40	28	50
Легковые	51	62	43
Автобусы	9	10	7

Таким образом, состав движения 50% (1000 шт.) – грузовых;
43% (860 шт.) – легковых;
7% (140 шт.) – автобусов.

По табл. 1.7 определяем среднюю скорость потока автомобилей. Следовательно, $V_{cp}=40$ км/ч.

Таким образом: $K_2 = 0.94$ (при 57% дизельных ДВС по табл. 1.4).

$K_2 = 1.02$ (при $i=20\%$ по общим указаниям).

$K_3 = 1.06$ (по общим указателям на 2010 г.)

Определяем перспективную часовую интенсивность движения автомобильного потока $N_{np} = \alpha \cdot N = 0.1 \cdot 2000 = 200$ авт./час.

По формуле (1.1) определяем расчетный уровень концентрации углерода (СО):

$$CO_o = (7.33 + 0.026 \cdot 200) \cdot 0.94 \cdot 1.02 \cdot 1.06 = 12.72 \text{ мг/м}^3.$$

Таблица 1.7 – Средняя скорость потока автомобилей для различных категорий дорог (км/ч)

Категория дороги	Расчетная скорость, км/ч	Грузовых	Легковых	Автобусов	Средняя
I	150	60	100	80	80
II	120	38	50	40	44
III	100	35	46	37	40
IV	80	32	41	34	36
V	60	24	31	28	27
Расход топлива на 100км пробега		22	8.5	35	

Примечания: плотность бензина (0.712+0.761)г/см³.

плотность дизтоплива (0.831+0.861)г/см³.

Таким образом, расчетный уровень концентрации окиси углерода над проезжей частью дороги превышает ПДК=3 мг/м³ (это известно из норм по предельно допустимым концентрациям веществ, загрязняющих воздух для I – IV классов опасности, в данном случае для малоопасного IV класса), в 12.72/3=4.2 раза.

Следовательно, необходимо запроектировать и рассчитать предохранительные мероприятия, типы посадки деревьев с кустарником, устройство зеленых лесных полос, а это уже другой, экологический вопрос.

1.3. Автомобильная дорога и транспорт

1.3.1. Транспортный шум и его влияние на окружающую среду. Методика расчета транспортного шума

Шумовое загрязнение среды в последнее время стало одной из самых основных социальных и гигиенических проблем. В населенных пунктах и городах транспортный шум составляет 80 – 90% общего количества шума, причем с увеличением интенсивности движения из года в год растет и уровень шума.

Под воздействием шума у водителя ухудшается способность сумеречного зрения, уменьшается поле зрения, искажается восприятие цветов, в частности красного, наблюдается иллюзорное перемещение предметов в пространстве. Подобные расстройства зрения возникают при уровне шума более 90 дБ.

Основным источником транспортного шума на автомобильных дорогах является двигатель автомобиля. Кроме того, на уровень шума значительное влияние оказывают тип и техническое состояние транспортных средств, режим движения автомобилей, состав и интенсивность движения транспортных потоков, а также дорожные условия: ровность и шероховатость проезжей части; размеры и состояние геометрических элементов трассы (уклон, размеры вертикальных и горизонтальных кривых); конструкция земляного полотна (выемка, насыпь) и его расположение по отношению к формам рельефа; расстояние от дороги, наличие и тип лесных насаждений; наличие и характер застройки вдоль дороги; метеосостояние; наличие и конструкция противозумовых сооружений.

Прогнозирование уровня шума транспортного средства (потока) на расстоянии 7м от крайнего ряда автомобилей (L_7 , дБА) при интенсивности движения от 1000 до 3000 авт./сут (III категория дороги, табл. 1.5), в котором доля грузового и общественного транспорта составляет 60% , определяется по зависимости:

$$L_7 = 46 + 11.81 \lg N_{np} + \sum D, \quad (1.3)$$

где N_{np} – приведенная часовая интенсивность движения автомобильного потока, определяемая по формуле (1.1);

$\sum D$ - сумма поправок, учитывающих отклонение проектных от стандартных (среднестатистических), дБА.

$$\sum D = \pm D_n \pm D_v \pm D_i \pm D_{mp}, \quad (1.4)$$

где D_n – влияние, изменений доли общественного и грузового транспорта в общем потоке (принимают по ± 1 дБА на каждые 10% отклонений от стандартной доли 60%);

D_v – поправка, на ± 1 дБА на каждые 10% отклонений от стандартной скорости движения 40 км/ч;

D_i – поправка в ± 1 дБА на каждые 20% продольного участка дороги;

D_{mp} – учет наличия трамвая по оси дороги ± 3 дБА.

Пример 1.3

Определить расчетный уровень шума транспортного потока на расстоянии 7м от крайнего ряда автомобилей для III категории дороги со среднесуточной интенсивностью движения автомобильного потока $N=2000$ авт./сут. Продольный уклон участка дороги равен 20%.

Решение:

Определяем среднечасовую интенсивность движения автомобильного потока (аналогично примеру 1.2):

$$N_{\text{ч}} = \alpha \cdot N = 0.1 \cdot 2000 = 200 \frac{\text{авт}}{\text{час}}$$

Определяем сумму поправок, согласно характеристике автомобильной дороги.

Так как, согласно табл. 1.6, состав движения грузовых автомобилей составит – 50%, легковых – 43%, а автобусов – 7%, то $D_n = -1 \cdot \frac{60-57}{10} = -0.3$ дБА;

$D_v = 0$ дБА (скорость потока автомобилей, согласно табл. 1.7, составляет 40 км/ч); $D_i = 1$ (продольный уклон участка дороги равен 20%); $D_{mp} = 0$

(трамвайная линия отсутствует), а сумма поправок по формуле (1.4) равна:

$$\sum D = -0.3 + 0 + 1 + 0 = 0.7 \text{ дБА.}$$

По формуле (1.3) шумность транспортного потока:

$$L_T = 46 + 11.8 \lg 200 + 0.7 = 73.9 \text{ дБА.}$$

Таким образом, уровни шума превышают допустимые (установленные санитарными нормами №3077-84, табл. 1.8) уровни в 1.5 – 2 раза, поэтому необходимо предусмотреть защиту от шума территории жилой застройки (перенести помещения дальше, поставить противозумовые экраны, возвести «зеленые стены» и др.).

Таблица 1.8 – Допустимые уровни звука согласно СН №3077 – 84, дБ

Назначение помещений или территории	Время суток, часы	Среднегеометрические частоты активных полос, Гц								Уровень звука, дБА	Макс. уровень звука, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Палаты больниц и санаториев, кабинеты врачей	7 – 23	50	48	40	34	30	27	25	23	35	50
	23 – 7	51	39	31	24	20	17	14	13	25	40
Жилые комнаты квартир, спальные помещения в детских учреждениях и школах-интернатах	7 – 23	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
	23 – 7	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
Номера гостиных и жилые комнаты общежитий, территории больниц и санаториев	7 – 23	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
	23 – 7	59	48	40	24	30	27	25	23	35	50
Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, домов отдыха, пансионатов, школ и др. учебных заведений, библиотек	7 – 23	75	66	59	54	50	47	45	43	55	70
	23 – 7	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
Торговые залы магазинов, пассажирские залы вокзалов и аэродромов, приемные пункты предприятий бытового обслуживания		79	70	63	58	55	52	50	49	60	75

1.4. Освещение производственных помещений

1.4.1. Расчёт параметров искусственного освещения строительных площадок и помещений

А. Прожекторное освещение строительных площадок

Применение прожекторного освещения для строительных площадок имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с освещением светильниками: экономичность, благоприятное для обычного видения соотношение вертикальной и горизонтальной освещенности, меньшая загруженность территории столбами и воздушной проводкой, а также удобство обслуживания осветительной установки. В то же время прожекторное освещение требует принятия мер по снижению слепящего действия и исключению теней. Целесообразно комбинировать прожекторное освещение со светильниками для участков с малой шириной.

Светотехническим расчётом прожекторного освещения определяются тип прожектора, необходимое их число, высота и место установки, углы наклона оптической оси прожекторов в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Расчёт прожекторного освещения проводят приближенно по мощности прожекторной установки и более точно путём компоновки изолюкс или по методу веера прожекторов.

Приближённый метод. Расчёт числа прожекторов производят исходя из нор-мируемой освещённости и мощности лампы. Ориентировочно число прожекторов N равно:

$$N = \frac{m \cdot E_n \cdot K \cdot A}{P_a}, \quad (1.5)$$

где m – коэффициент, учитывающий световую отдачу источника света, КПД прожекторов и коэффициент использования светового потока, для ламп накаливания ЛН $m=0.2-0.25$, для дуговых ртутных ламп ДРЛ и газовых ламп ГЛ высокого давления $m=0.12-0.16$;

E_n – нормируемая освещенность горизонтальной поверхности, лк;

K – коэффициент запаса, если прожектор с ЛН, то $K=1.5$, если прожектор с ДРЛ или ГЛ, то $K=1.7$;

A – освещаемая площадь, m^2 ;

P_a – мощность лампы, Вт, принимается по таблице 1.9 в зависимости от назначения – для дежурного и охранного освещения обычно принимаются прожекторы ПСМ-30, ПЗС-43, ПСМ-40, для общего и рабочего освещения – прожекторы ПЗС-35, ПЗС-45.

Минимальная высота установки прожекторов над освещаемой поверхностью определяется из выражения:

$$h = \sqrt{\frac{I_{\max}}{300}}, \quad (1.6)$$

где I_{\max} – максимальная сила света, Кд, определяется по табл. 1.9.

Таблица 1.9 – Основные типы прожекторов, рекомендуемых для освещения строительных площадок

Прожектор	Лампа	Максимальная сила света, ККд	Мощность лампы, Вт	Минимально допустимая высота установки прожекторов (м) при нормируемой освещенности (лк)							
				0.5	1	2	3	5	10	30	50
1	2	3	4	5							
ПСМ-30	Г 220-200(ЛН)	33	200	18	15	11	10	9	7	4	3
	Г 220-300(ЛН)	40	300	20	16	12	11	10	8	5	4
ПСМ-40	Г 220-500(ЛН)	70	500	25	21	17	15	13	10	5	4
ПЗС-35	Г 220-500(ЛН)	50	500	22	18	14	13	11	8	5	4
ПЗС-45	Г 220-1000(ЛН)	130	1000	35	20	22	20	18	13	7	6
	ДРЛ-700	30	700	17	14	11	10	8	6	4	3

Продолжение таблицы 1.9

Угол наклона прожекторов Q, град.	Угол между оптическими осями прожекторов τ , град.	Угол рассеивания света по горизонтали $2\beta_h$, град.	Угол рассеивания света по вертикали $2\beta_v$, град.
6	7	8	9
13	13	16	16
15	15	16	16
15	15	19	19
15	15	21	19
13	20	26	24
20	60	100	100

Расстояние между мачтами прожекторных опор определится из условия минимально допустимого расстояния между опорами $a=(5+7)h$. Оптимальное же расстояние рекомендуется принимать $a=(6+15)h$.

Количество прожекторных опор определяется по выражению (1.7):

$$n_{\text{оп}} = \frac{L}{a}, \quad (1.7)$$

где L – длина строительной площадки, открытого склада, помещения или рабочей зоны, м. Если ширина площадки, склада, рабочей зоны или помещения $L > 75$ м, то опоры устанавливаются по периметру.

Требуемое количество прожекторов, устанавливаемых на каждой опоре, может быть определено:

$$K_{\text{оп}} = \frac{N}{n_{\text{оп}}}. \quad (1.8)$$

Пример 1.4. Спроектировать общее равномерное освещение для строительной площадки, имеющей размеры $L \times b = 108 \times 36$ м, склада с размерами $a \times c = 36 \times 18$ м, освещенность склада – общая с $E_{\text{ж}} = 2$ лк. Работы ведутся внутри в темное время суток.

Решение. Для освещения строительной площадки принимаем прожектор ПСМ-40 с лампой накаливания (ЛН) Г 220-500 [при ширине строительной площадки, склада или рабочей зоны до 30м принимаются прожекторы с лампами накаливания (ЛН), свыше 30м – прожекторы с дуговыми ртутными лампами (ДРЛ)], у которых, согласно табл. 1.9, максимальная сила света $I_{\max}=70000$ Кд, мощность лампы накаливания (ЛН) Г 220-500 $P_{\text{л}}=500$ Вт, минимально допустимая высота установки прожекторов $h_{\min}=17$ м при нормируемой освещённости $E_{\text{н}}=2$ лк [освещение открытого склада может быть дежурное и охранное с $E_{\text{н}}=0.5$ лк, общее – с $E_{\text{н}}=2$ лк, рабочее – с $E_{\text{н}}=10$ лк]. Коэффициент запаса с ЛН $K=1.5$, коэффициент световой отдачи $\eta=0.25$.

Освещаемая площадь строительной площадки равна:

$$A=L \times b=108 \times 36=3888 \text{ м}^2.$$

Определяем ориентировочное число прожекторов по формуле (1.5):

$$N = \frac{0.25 \cdot 2 \cdot 1.5 \cdot 3888}{500} = 5.8. \text{ Принимаем } N = 6 \text{ шт.}$$

Определяем минимальную высоту установки прожекторов над освещаемой поверхностью по формуле (1.6):

$$h = \sqrt{\frac{70000}{300}} = 15.27 \text{ м.}$$

Принимаем $h=15.3$ м, что приблизительно равно $h_{\min}=17$ м.

Определяем количество прожекторных опор на строительной площадке по формуле (1.7) из расчёта, что $a=7h=7 \cdot 15.3=107.1$ м.

$$n_{\text{оп}} = \frac{108}{107.1} \approx 1 \text{ опора.}$$

Определяем количество прожекторов, устанавливаемых на опоре, по формуле (1.8):

$$K_{\text{пр}} = \frac{6}{1} = 6 \text{ прожекторов.}$$

Расчитанное количество опор и прожекторов показываем на эскизе (рис. 1.1).

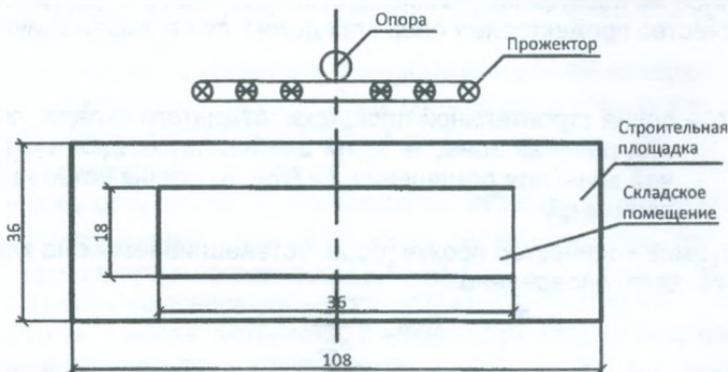


Рисунок 1.1 – Схема прожекторного освещения строительной площадки

Другие варианты примеров, соответствующие предпоследней цифре шифра зачётной книжки, приведены в табл. 1.10.

Таблица 1.10 – Варианты примеров решения задач

Исходные данные (по предпоследней цифре зачетной книжки)	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Размеры помещения ахс, м	12х 54	18х 60	24х 66	27х 72	30х 78	33х 54	36х 60	40х 66	44х 72	48х 78
Размеры строительной площадки Lхb, м	36х 108	42х 120	48х 132	54х 144	60х 156	66х 108	72х 120	80х 132	88х 144	96х 154
Вид освещения	Общее	Рабочее	Охранное и дежурное	Общее	Рабочее	Охранное и дежурное	Общее	Рабочее	Охранное и дежурное	Общее
Нормируемая освещенность, лк	2	10	0.5	2	10	0.5	2	10	0.5	2

Б. Светотехнический расчёт электрического освещения помещения методом коэффициента использования

В зависимости от способа определения светового потока различают два метода расчёта: коэффициента использования и точечный.

Метод коэффициента использования позволяет обеспечить среднюю освещенность поверхности с учётом всех падающих на неё потоков, как прямых, так и отражённых. Его применяют для расчёта общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей.

Потребный световой поток лампы равен:

$$\phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot A \cdot K \cdot Z}{\eta \cdot N} \quad (1.9)$$

где $E_{\text{н}}$ – нормируемая освещённость, лк;

A – освещаемая площадь, м²;

K – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности, равный 1.3÷1.7;

Z – поправочный коэффициент светильника (для стандартных светильников отношение максимальной освещенности не должно превышать для разрядов I-III при люминисцентных лампах 1.3; при других источниках света – 1.5; для работ разрядов IV-VI – 1.5 и 2.0 соответственно);

Z – также коэффициент минимальной освещённости, определяемый из соотношения:

$$Z = \frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{мин}}}$$

Приближённо при освещении помещения светильниками, расположенными по вершинам квадратных полей $z=1,15$, при освещении люминисцентными светильниками $z=1,1$;

N - число светильников;

Потребный световой поток лампы равен:

$$\phi_n = \frac{E_n \cdot A \cdot K \cdot Z}{\eta \cdot N}, \quad (1.9)$$

где E_n – нормируемая освещённость, лк;

A – освещаемая площадь, м²;

K – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности, равный 1.3÷1.7;

Z – поправочный коэффициент светильника (для стандартных светильников отношение максимальной освещенности не должно превышать для разрядов I-III при люминисцентных лампах 1.3; при других источниках света – 1.5; для работ разрядов IV-VI – 1.5 и 2.0 соответственно);

Z – также коэффициент минимальной освещённости, определяемый из соотношения:

$$Z = \frac{E_{\text{сп}}}{E_{\text{min}}}$$

Приближённо при освещении помещения светильниками, расположенными по вершинам квадратных полей $z=1,15$, при освещении люминисцентными светильниками $z=1,1$;

N – число светильников;

η – коэффициент использования светильников, определяют по индексу помещения i_n и коэффициентам отражения потолка, стен и пола (ρ_n, ρ_c, ρ_p),

$$i_n = \frac{a_1 \cdot b_1}{h \cdot (a_1 + b_1)},$$

где a_1 и b_1 – длина и ширина помещения, м;

h – расчетная высота, м.

Электрическое освещение строительных площадок и участков внутри зданий осуществляется установками общего равномерного или локализованного освещения, а местное освещение – инвентарными стойками или переносными приборами. Общее равномерное освещение строительных площадок должно быть не менее 2 лк. Если $E_n > 2$ лк, то к общему равномерному освещению устанавливается дополнительное локализованное освещение согласно СН (например, $E_n = 5$ лк – для земляных работ, кроме устройства траншей; $E_n = 10$ лк – для погрузочно-разгрузочных работ, рытья траншей, бетонирования конструкций; $E_n = 30$ лк – для монтажа стоительных машин, производства работ по устройству полов, кровли, установки опалубки, лесов; $E_n = 50$ лк – для производства монтажных, штукатурных, плотничных работ; $E_n = 75$ лк – для производства стекольных работ; $E_n = 100$ и 150 лк – для выполнения малярных работ при обычной и высококачественной окрасе и др.).

Для производства строительных работ на участках, где работы выполняются в темное время суток, предусматривается устройство рабочего освещения, равное $E_n = 10$ лк. Должны быть также предусмотрены охранное ($E_n = 0.5$ лк) и эвакуационное ($E_n = 0.2$ лк) освещения.

Таблица 1.12 – Технические данные ламп накаливания общего назначения

Мощность, Вт	Тип лампы	Световой поток лампы, лм, при V=220 в	Мощность, Вт	Тип лампы	Световой по-ток лампы, лм, при V=220 в
15	В	105	150	Г	2000
25	В	220	150	Б	2100
40	Б	400	200	Г	2800
40	БК	460	200	Б	2920
60	Б	715	300	Г	4600
60	БК	790	500	Г	8300
100	Б	1350	750	Г	13100
100	БК	1450	1000	Г	18600

Примечание: пример полного обозначения лампы – В 220-25.

Таблица 1.13 – Технические данные ртутных дуговых ламп высокого давления со сроком службы 10000 часов

Тип лампы	Мощность ,вт	Напряжение на лампе, В	Световой поток, Лм
ДРЛ 125	125	125	5600
ДРЛ 250	250	130	11000
ДРЛ 400	400	135	19000
ДРЛ 700	700	140	35000
ДРЛ 1000	1000	145	50000

При проектировании осветительных приборов вводят в расчет коэффициент запаса, полученный из предположения очистки светильников не реже двух раз в год (табл. 1.14).

Таблица 1.14 – Значения коэффициента запаса К

Осветительные приборы	Коэффициент запаса К, для	
	ЛН	Газоразрядных ламп
Прожекторы и другие осветительные приборы с усилением силы света > 5раз	1,5	1,7
Светильники	1,3	1,5

Пример 1.5. Запроектировать временное общее равномерное освещение коридора строящегося здания; на участке происходит перенос строительных материалов и движение рабочих к рабочим местам.

Размеры коридора $a_1 \times b_1 \times h = 36 \times 4,2 \times 3$ м. Стены и потолок не оштукатурены и не окрашены. Требуется определить тип, вид, количество и потребный световой поток источников света, выбрать светильник и размещение светильников.

Решение. В соответствии с СН ($E_n = 2$ лк), в количестве источника света выбираем ЛН (табл.1.11). Для рассматриваемого случая по светораспределению и удобству эксплуатации подходит светильник типа «Астра -1» (табл. 1.15) с габаритами 208×315мм, $\phi = 30^\circ$, массой 1,4кг.

Таблица 1.15 – Технические данные светильников для производственных помещений

Тип светильника	Номинальная мощность лампы W, кВт	Габариты, мм	Защитный угол, град.	Масса, кг
С лампой накаливания ЛН «Астра – 1» НСПО 1×100/ДОЗ-01	100	208×315	30	1.4
	ППД – 100	170×332	15	1.7
	УПД – 500	372×540	30	3.9
С дуговой ртутной лампой ДРЛ «Астра – 3» РСР01×125/ДОЗ-07	125	310×340	30	7
	УПД ДРЛ 350	372×500	72	13

По табл. 1.14 принимаем коэффициент запаса $K=1.3$. Коэффициент неравномерности освещения, согласно общим указаниям, выбираем $z=1.15$.

Определяем индекс помещения:

$$i_n = \frac{36 \cdot 4.2}{2.1 \cdot (36 + 4.2)} = 1.79,$$

где $h=H-h_1=3-0.9=2.1$ м – расчётная высота подвески светильника.

По табл. 1.16 устанавливаем средние значения коэффициентов $\rho_n=30\%$, $\rho_c=\rho_p=10\%$.

Таблица 1.16 – Усреднённые значения коэффициентов отражения потолка, стен и пола, %

Вид отражаемой поверхности	ρ_n , ρ_c , ρ_p
Побеленный потолок, побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленные стены при незавешенных окнах, побеленный потолок, в сырых помещениях, чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50
Бетонный потолок в грязных помещениях, деревянный потолок, бетонные стены с окнами, стены, оклеенные светлыми обоями	30
Стены и потолки с большим количеством темной пыли, сплошное остекление без штор, красный кирпич, стены с темными обоями	10

По специальной таблице [4] (здесь не приводится из-за громоздкости) находим осредненное значение η в зависимости от i : $\eta=48.5\%$ при $\Phi_0=75\%$.

Световой поток всех ламп вычисляем по формуле (1.9):

$$\Phi_s = \frac{2 \cdot 151.2 \cdot 1.3 \cdot 1.15}{0.485} = 932.1 \text{ лм},$$

где $A=36 \times 4.2=151.2 \text{ м}^2$

По таблице 1.12 выбираем лампы В 220-15 или В 220-25, имеющие световой поток 105 и 220 лм. Определяем необходимое число ламп: В 220-15-9 шт. или В220-25-5 шт. Проверим условие экономичности

сделанного выбора. Отклонения фактического светового потока всех ламп в 1-м и во 2-м случаях составляет:

$$1.3\% = \frac{9 \cdot 105 - 932.1}{932.1} \cdot 100 \text{ и } 18\% = \frac{5 \cdot 220 - 932.1}{932.1} \cdot 100.$$

Оба варианта удовлетворяют условию $10\% \leq \varphi \leq 20\%$. При этом 1-й случай предпочтителен.

Для рассматриваемого случая наибольшая высота подвески светильника $h=2.1\text{ м}$. Т.к. данный светильник имеет конусообразную характеристику распределения силы света, то по таблице 1.17 $\lambda=1.6$, тогда экономически выгодное расстояние между светильниками будет $l = \lambda \cdot h = 1.6 \cdot 2.1 = 3.4\text{ м}$.

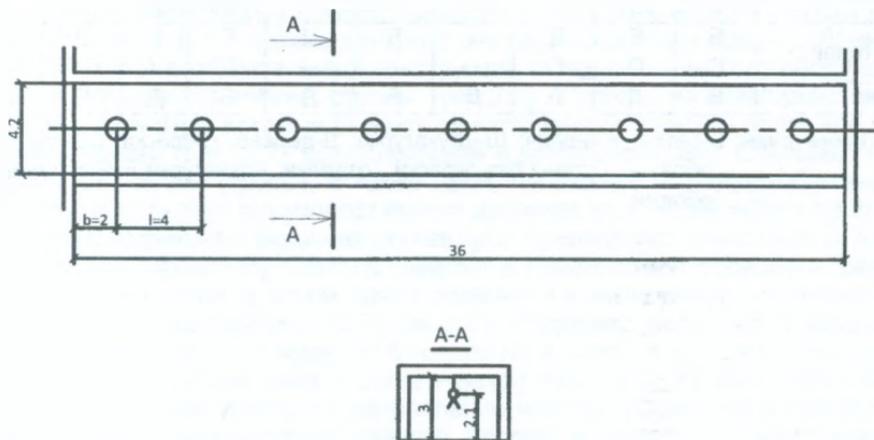


Рисунок 1.2 – Схема расположения светильников в коридоре

Таблица 1.17 – Значения показателя λ для различных типов кривых сил света светильников

Типовая кривая силы света	Энергетически выгодное λ_e	Экономически выгодное λ_s	Кoeffициент m
Концентрированная	0,6	0,6	10
Глубокая	0,9	1,0	4
Конусная	1,4	1,6	1,0
Равномерная	2,0	2,6	0

Учитывая реальные размеры коридора, принимаем $l=4\text{ м}$, $b=2\text{ м}$ (рис. 1.2).

Варианты других примеров соответствуют последней цифре шифра зачетной книжки, даны в табл. 1.18.

Таблица 1.18

Исходные данные (по последней цифре шифра зачетной книжки)	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Размеры помещения ахв, м	12×54	13×60	14×66	15×72	16×78	4×36	5×40	6×44	7×48	8×52
Вид освещения	рабочее	общее	охранное	рабочее	общее	охранное	рабочее	общее	охранное	рабочее
Стены	Б, О	К,Ш О	Д,Ш О	Б —	К —	Д,Ш —	Б СО	К,Ш СО	Д, СО	Б —
Потолок	Б О	Б О	Д, О	Б, —	Б —	Д —	Б СО	Д СО	Д СО	Д —
Пол	Б	Д	Б	Д	Б	Д	Б	Д	Б	Д

Примечания: Б-бетон; К-кирпич; Ш-штукатурка; Д-дерево; О-краска; СО-светлые обои; — - стены без окраски, отделки, штукатурки или с темными обоями.

2. ОСНОВЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

2.1. Безопасность такелажных работ

2.1.1. Определение расчетных параметров стропов и чалочных канатов

Строповку строительных конструкций производят по заранее разработанным схемам. Для подъема и перемещения крупногабаритных и длинномерных грузов применяют траверсы. Траверсы могут быть двух типов - работающие на изгиб и на сжатие. Первые обладают большой массой, но, как правило, имеют небольшую высоту. Вторые, наоборот, имеют более легкую конструкцию, но требуют значительной добавочной высоты подъема крюка крана. Разнообразие монтируемых строительных элементов и технологического оборудования приводят зачастую к необходимости расчета параметров такелажных устройств и грузозахватных приспособлений.

При монтаже строительных конструкций и технологического оборудования используются гибкие стропы (рис.2.1). Стропы изготавливаются из стальных канатов, которые бывают односторонней (левой и правой) и крестовой свивки (рис. 2.2), однослойными и многослойными. Стальные проволочные канаты (тросы), а также цепи, пеньковые и хлопчатобумажные канаты, используют в грузоподъемных машинах в качестве гибких органов.

В грузоподъемных машинах используют преимущественно канаты двойной свивки. Проволоку сначала свивают в пряди вокруг проволоки, расположенной в центре, а затем пряди свивают в канаты вокруг органического или стального сердечника (О.С или С.С). Например, если вокруг органического сердечника (О.С) имеются 6 прядей по 9 нитей проволоки в каждой, то условно конструкция каната обозначается 6x9+10.С. Канаты могут быть крестовой свивки, в которой направление навивки проволоки в пряди перпендикулярно направлению навивки прядей в канате, и односторонней свивки, в которой эти направления совпадают (см. рис.2.2). Канаты крестовой свивки имеют более ровную поверхность, и они более износостойки.

В дополнение к стальным канатам применяются также пеньковые и хлопчатобумажные канаты, сварные пластинчатые цепи, барабаны и блоки, грузоподъемные крюки и петли, съемные грузозахватные приспособления, клещевые захваты, зажимные устройства и другие приспособления, речь о которых необходимо вести отдельно.

Чтобы определить технические данные гибких стропов, необходимо произвести расчет (рис.2.3).

Определяют усилие (натяжение) в одной ветви стропа

$$S = \frac{Q}{m \cdot \cos \alpha} = \frac{K \cdot Q}{m}, \quad (2.1)$$

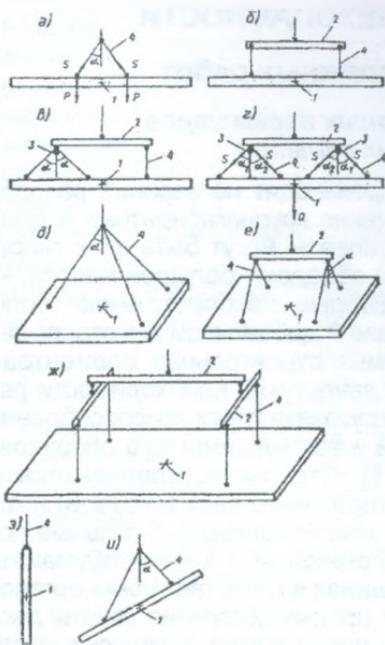
где S - расчетное усилие, приложенное к стропу, без учета перегрузки и воздействия динамического эффекта, кН;

Q - вес поднимаемого груза, Н;

m - общее число ветвей стропа, ед.;

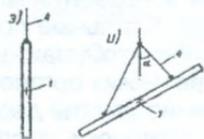
α - угол между направлением действия расчетного усилия стропа, град.;

K - коэффициент, зависящий от угла наклона α ветви стропа к вертикали, ед., определяется по табл. 2.1.



а - двухветвевым стропом; б - траверсой в двух точках; в - траверсой в трех точках с уравнительными роликом; г - траверсой в четырех точках с двумя уравнительными роликами; д - трехветвевым стропом; е - траверсой в четырех точках; ж - продольной и двумя поперечными траверсами в четырех точках; з - подъем наклонного элемента; 1 - центр тяжести груза; 2 - траверса; 3 - ролик; 4 - строп; а - угол между стропом и вертикалью

Рисунок 2.1 – Схемы строповки конструкций



а – универсальный;
б – облегченный с крюком и петлей;
в – двухветвевой;
г – четырехветвевой

Рисунок 2.2 – Стропы

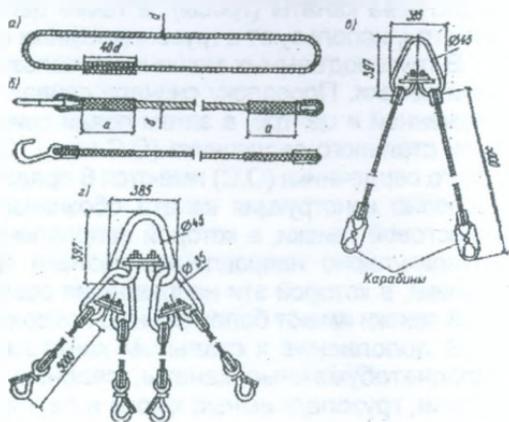


Рисунок 2.3 – Схема для расчета усилий в ветвях стропа

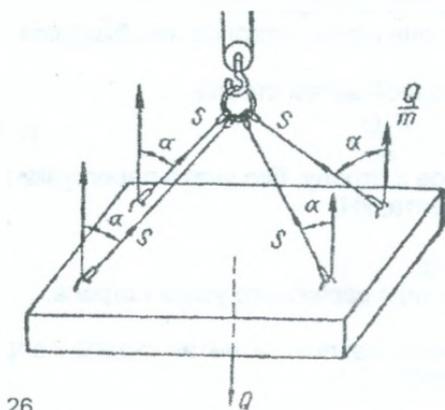


Таблица 2.1 – Зависимость коэффициента нагрузки K от угла наклона ветви стропы α

α , град.	0	15	30	45	60
K, ед.	1	1,03	1,15	1,42	2,0

Определяют разрывное усилие R в ветви стропы

$$R = S \cdot K_3, \quad (2.2)$$

где K_3 – коэффициент запаса прочности для стропы, определяемый в зависимости от стропы, ед., по табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Наименьшее значение коэффициента запаса прочности стальных канатов

Характер работы стропы или каната	K_3
1	2
для стропов с обвязкой или зацепкой крюками или серьгами	6,0
для витых стропов при соотношении $D/d \geq 1,5$	5,0
для полотенчатых стропов с соотношением сторон:	
3,5-6	5,5
>6	5,0
для расчалок, оттяжек, тяг при соотношении D_3/d_c	
4-5	5
5-7	4
7-9	3,5
>10	3,0
для грузовых канатов:	
с ручным приводом	4,0
с машинным приводом: при легком режиме работы	5,0
при среднем режиме работы	5,5
при тяжелом режиме работы	6,0
для полиспастов с изменяющейся длиной под нагрузкой грузоподъемностью $Q = 5 + 50$ т при соотношении D/d :	
3-16	5,0
> 16	4,0
Грузоподъемностью $Q = 50 + 10$ т при соотношении D/d :	
3-16	4,0
> 16	3,5
грузоподъемностью $Q > 100$ т при соотношении D/d :	
3-16	3,5
> 16	3,0

Примечания:

1. D - диаметр ролика; d - диаметр каната; D_3 - диаметр захватного устройства (элемента огибаемого стропом, расчалкой, крепящим канатом); d_c - диаметр витого стропы.
2. Легкий режим характеризуется работой каната на малых скоростях без рывков с числом изгибов на роликах не более четырех; тяжелый - работой каната на больших скоростях, с рывками и числом изгибов на роликах более четырех.

По найденному разрывному усилию по табл. 2.3 подбирают канат и определяют его технические данные: временное сопротивление разрыву, ближайшее большее к расчетному, и его диаметр.

Таблица 2.3 – Техническая характеристика стальных канатов ТК 6х37 (1+6+12+18=37)+10.С. (ГОСТ 3071-88) и их разрывное усилие, Н

Диаметр каната, мм	Масса 100м смазанного каната, кг	Маркировочная группа по временному сопротивлению разрыву, МПа			
		1400	1600	1700	1800
9	27,35		36850	33150	41450
11,5	42,7		57500	61050	62550
13,5	61,35		82400	87700	89600
15	83,45	98400	112000	119000	122000
18	109	128000	146500	155500	159500
20	138	162000	185500	197000	202000
22,5	170,5	200000	229000	243500	249000
24,5	206	242500	277000	294500	301500
27	245,5	289000	330500	351000	360000
29	288	339000	387500	412000	422000
31,5	334	393000	449500	478000	489500
33,5	383,5	451500	516500	548500	561500
36,5	436	514000	587500	624000	639500
38	492	580000	662500	704000	721500
39,5	551,5	650000	743000	789500	808500

Пример 2.1 Требуется определить диаметр каната стропа для подъема груза весом 102кН с зацепкой крюками при угле отклонения ветвей стропа от вертикали на 45°, число ветвей m=4.

Решение: Согласно табл.2.1 значение $K_3 = 1,42$. Усилие, действующее на одну ветвь стропа, определяем из выражения (2.1)

$$S = 1,42 \cdot \frac{102}{4} = 36,2 \text{ кН.}$$

Разрывное усилие ветви стропа, изготовленного из стального каната при $K_3 = 6,0$ (табл. 2.2), определяется по формуле (2.2)

$$R = 36,2 \cdot 6,0 = 217,2 \text{ кН.}$$

По табл. 2,3 при временном сопротивлении разрыву проволоки 1600МПа, имеющей разрывное усилие 229000Н, выбираем канат ТК6х37 диаметром 22,5 мм.

Если принять число ветвей стропа m=2, то получится усилие на одну ветвь стропа:

$$S = 1,42 \cdot \frac{102}{2} = 72,4 .$$

Канат в этом случае должен иметь разрывное усилие

$R = 72,4 \cdot 6,0 = 434,4 \text{ кН}$. Этому усилию уже соответствует канат типа ТК 6х37 диаметром 31,5 мм с расчетным пределом прочности проволоки 1600 МПа, имеющий разрывное усилие 449500Н, т.е. ближайшее большее к требуемому разрывному усилию 434400Н.

Другие варианты примеров, соответствующие последней цифре шифра зачетной книжки приведены в табл.2.4.

Таблица 2.4 – Варианты задач

Исходные данные (по последней цифре зачетной книжки)	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Наименование поднимаемого груза	Плита перекрытия					Труба –переезд				
Геометрические размеры, м, l×b	6,3 x 1,2	4,8 x 1,5	6,0 x 1,5	7,2 x 1,8	7,2 x 1,2	6,0 x 0,9	1,5 x 0,6	3,6 x 1,2	4,8 x 0,6	2,4 x 0,9
Масса, т	1,2	2,3	2,8	3,2	3,0	2,2	0,3	1,2	1,8	1,6
Расчетная высота строповки, h _c , м	4,2	4,0	3,8	2,0	2,0	2,2	2,2	4,4	4,8	4,0
Число ветвей m, шт.	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2
Угол наклона стропы α, град.	$\alpha = \arctg \cdot \frac{b_c/2}{h_c}$			0	0	0	0	$\alpha = \arctg \cdot \frac{l_c/2}{h_c}$		
Расчетная длина поднимаемого груза, м	l _c =l - 0.5					l _c =l				

2.2. Безопасность труда при разработке котлованов и траншей

2.2.1. Определение допустимой крутизны откосов котлованов и траншей

Безопасность труда при разработке котлованов и траншей должна быть обеспечена:

- устройством откосов согласно ТКП 45-1.03-44.2006 по технике безопасности при глубине выемки до 5м в однородных грунтах или расчету в неоднородных (с напластованиями) грунтах при глубине выемки свыше 5м или ниже уровня грунтовых вод;
- устройством вертикальных откосов без креплений согласно ТКП 45-1.03-44.2006 на глубине не свыше 1,5м в нескальных, незамерзаемых грунтах ненарушенной структуры выше уровня грунтовых вод и при отсутствии вблизи подземных сооружений;
- устройством механических креплений траншей глубиной не свыше 5м из инвентарных и типовых деталей;
- устройством деревянных и стальных креплений по расчету при глубине выемки свыше 5м в сложных гидрогеологических условиях;
- размещением вынимаемого грунта, монтируемых конструкций и строительного-дорожного машин на безопасных расстояниях от подошвы выемки;
- устройством водоотлива, отвода поверхностных дождевых и грунтовых вод;

- устройством ограждений, указателей и световой сигнализации в опасной зоне у выемки;
- механизацией работ по планировке дна и откосов котлованов и траншей;
- организацией надзора за безопасностью ведения работ и состоянии устойчивости бортов выемок.

При устройстве котлованов и траншей без крепления выемки в грунте устраиваются откосы, причём крутизна откосов в грунтах нарушенной и ненарушенной структуры глубиной не более 5м принимается по табл. 2.5 в зависимости от вида грунта (рис.2.4)

Крутизна откоса определяется тангенсом угла откоса α , т.е.

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{h}{A} \quad (2.3)$$

Коэффициент заложения откоса m равен и не должен превышать значений, приведенных в табл. 2.5.

$$m = \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} \quad (2.4)$$

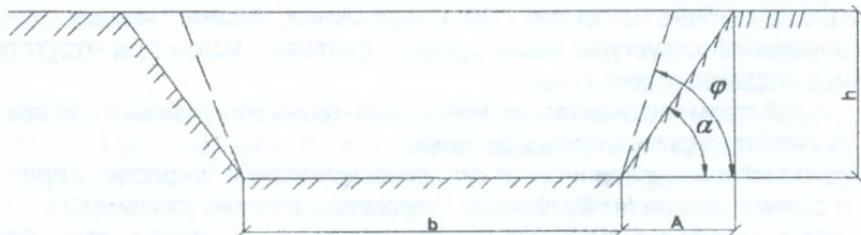
Таблица 2.5 – Нормативная крутизна откоса при $h \leq 5$ м

Грунт	Нормативная крутизна откоса при глубине выемки ,м, не более		
	1,5	3	5
Насыпной и неуплотненный	1:0,67	1:1	1:1,25
Песчаные и гравийные	1:0,5	1:1	1:1
Супесь	1:0,25	1:0,67	1:0,85
Суглинок	1:0,25	1:0,5	1:0,75
Глина	1:0	1:0,25	1:0,5
Лесс и лессовидный	1:0	1:0,5	1:0,5

Устойчивость откосов сыпучих пород определяется коэффициентом η ,

$$\eta = \operatorname{tg}\varphi / \operatorname{tg}\alpha, \quad (2.5)$$

где φ - угол внутреннего трения грунта (угол естественного откоса), град., принимается по опытным данным или по табл. 2.6 в зависимости от вида грунта.



b – ширина выемки по дну; A – заложение откоса; h – глубина выемки;
 α – угол откоса выемки

Рисунок 2.4 – Поперечное сечение выемки

Таблица 2.6 – Угол естественного откоса грунтов, град.

Грунт	Сухой	Влажный	Мокрый
Глина	45	35	15
Суглинок : средний	50	40	30
легкий	40	30	20
Песок: мелкозернистый	25	30	20
среднезернистый	28	35	25
крупнозернистый	30	32	27
Растительный грунт	40	35	25
Насыпной грунт	35	45	27
Гравий	40	40	35
Галька	35	35	25

Значение коэффициента η принимается:

$\eta=1,2$ -для котлованов, траншей и нерабочих карьеров;

$\eta=1,5$ -для нерабочих бортов карьеров.

При возможности фильтрации воды через откос, сложенный сыпучими грунтами, степень устойчивости откоса определяется по формуле:

$$\eta = \frac{\gamma_0 \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\delta \cdot n \cdot \operatorname{tg} \alpha + \gamma_0 \cdot \sin \alpha}, \quad (2.6)$$

где γ_0 - объемный вес грунта, облегченный весом вытесненной воды;

δ - объемный вес воды;

n - пористость грунта.

Для однородных связных грунтов предельная высота откоса определяется по формуле (2.7):

$$h = \frac{2c}{\gamma} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos \varphi}{\sin \alpha - \varphi}. \quad (2.7)$$

где c - удельное сцепление грунта, кПа;

γ - объемный вес породы, кН/м³.

Пример 2.2. Определить требуемый угол заложения откосов α и величину откосов A в рабочем котловане в сухом глинистом грунте глубиной $h=2.5$ м (рис. 2.4).

Решение. Для рабочих котлованов коэффициент устойчивости откосов $\eta=1,2$. Для сухих глинистых грунтов, согласно табл. 2.6, угол естественного откоса $\varphi=45^\circ$. Следовательно $\operatorname{tg} \alpha$, исходя из выражения (2.5), равен

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\eta} = \frac{\operatorname{tg} 45^\circ}{1.2} = 0.83.$$

Откуда $\alpha = \arctan 0.83 \approx 40^\circ$.

Заложение откоса $A = m \cdot h = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{2.5}{0.83} = 3$ м.

Выемки с вертикальными стенками устраивают при рытье котлованов и траншей без креплений в не скальных и незамерзаемых грунтах выше уровня грунтовых вод и при отсутствии вблизи подземных сооружений на глубину не свыше нормативной (табл. 2.5). Во всех остальных случаях глубину вертикальных выемок без механических креплений определяют по расчёту. Сюда относятся выемки с вертикальными стенками высотой, устанавливаемой по проекту, с расчетным обоснованием на основании теории предельного равновесия сыпучей среды, а также выемки с равноустойчивыми откосами, рассчитываемой по методике проф. Н. Н. Маслова.

Согласно ТКП 45-1.03-44-2006 и ТКП 45-1.03-44-2006, перемещение, установка и работа машин вблизи выемок с незакрепленными откосами разрешается только за пределами призмы обрушения на расстоянии, установленном проектом производства работ. При отсутствии решений в ППР наименьшее допустимое расстояние по горизонтали от основания откоса выемки до ближайших опор машин регламентировано ТКП 45-1.03-44-2006 и ТКП 45-1.03-44-2006 (табл. 2.7) в зависимости от вида грунта.

При глубине выемки более 5м или в сложных гидрогеологических условиях (переувлажнение, напластование грунтов) решение вопроса в ППР о безопасной установке машины должно опираться на выявление поверхности скольжения, которая определит призму обрушения грунта в заданных условиях. Поверхность скольжения и призму обрушения определяют по методике равноустойчивого откоса.

Таблица 2.7 – Наименьшее допустимое расстояние до подошвы траншеи

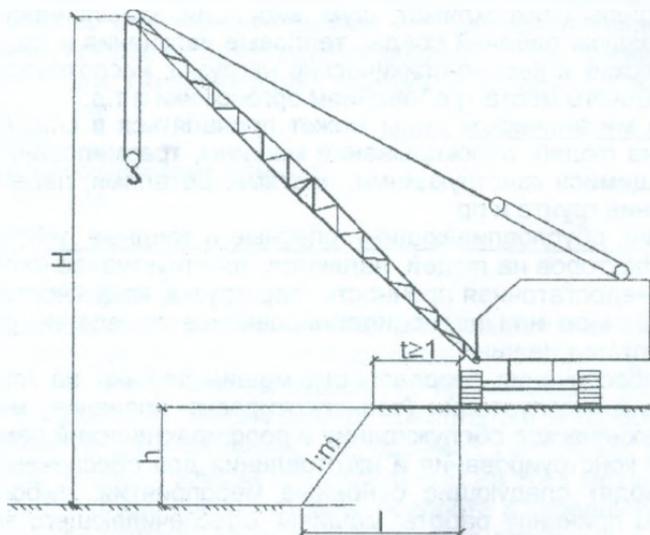
Глубина выемки, м	Наименьшее допустимое расстояние по горизонтали от основания откоса выемки до ближайшей опоры машины, м, в грунте			
	Песчаном	Супесчаном	Суглинистом	Глинистом
1	1.5	1.25	1	1
2	3	2.4	2	1.5
3	4	3.6	3.25	1.75
4	5	4.4	4	3
5	6	5.3	4.75	3.5

При глубине выемки менее 5м наименьшее допустимое расстояние от верхнего строения пути (конца шпалы, гусеницы, колеса) до основания откоса может быть определено по приближенной оценке задней границы призмы обрушения на основе формулы (рис 2.5):

$$l = 1.2 \cdot m \cdot h + 1, \tag{2.8}$$

где h – глубина выемки;

m – коэффициент заложения откоса, который принимается по данным табл. 2.5.



h – глубина котлована; m – коэффициент заложения откоса;
 t – расстояние от бровки выемки; l – минимально допустимое расстояние от подошвы котлована до края гусеницы или колеса крана

Рисунок 2.5 – Схема безопасной работы крана у бровки котлована (траншеи)

Пример 2.3. Требуется определить безопасную установку стрелового пневмоколёсного крана относительно бровки котлована глубиной 5 м в супесчаных грунтах.

Решение.

1. По данным табл. 2.7, для заданных условий $l=5.3$ м.
2. По табл. 2.5 установим значение $m=0.85$.
3. Вычислим допустимое расстояние по формуле (2.8) оценки возможного положения призмы обрушения $l=1.2 \cdot 0.85 \cdot 5 + 1 = 6.1$ м.
4. Принимаем в проекте $l=6.1$ м, как большее из двух значений l , учитывая длительную работу крана в данном месте как важное дополнительное условие.

2.3. Обеспечение устойчивости строительных кранов

2.3.1. Основы безопасности работы строительных кранов

Безопасная эксплуатация грузоподъёмных механизмов при выполнении монтажных работ обеспечивается правильным выбором параметров кранов и их устойчивостью.

Около четверти несчастных случаев в строительных организациях происходит при эксплуатации строительных машин. Основными опасными и вредными факторами, с которыми встречаются люди при эксплуатации строительных машин, являются: действие механической силы; возможность

поражения электрическим током; неблагоприятные факторы производственной сферы (микроклимат, шум, вибрация, запыленность и загазованность воздуха рабочей среды, тепловые излучения и др.); повышенные физические и нервно-психические нагрузки; несоответствие оборудования рабочего места требованиям эргономики и т.д.

Действие механической силы может проявляться в следующей форме: наезд на людей; опрокидывание машины; травмирование работающих движущимися конструкциями, частями, деталями; падение с высоты, обрушение грунта и пр.

Причинами, обуславливающими опасные и вредные действия указанных выше факторов на людей, являются: конструктивное несовершенство машин; недостаточная прочность, перегрузка, надежность и устойчивость; ошибочное или недисциплинированное поведение работающих при эксплуатации машин.

Задачи обеспечения безопасности машин решают на стадии конструирования и эксплуатации (транспортировка, хранение, монтаж, применение, техническое обслуживание и профилактический ремонт).

На этапе конструирования и изготовления для обеспечения безопасности проводят следующие основные мероприятия: выбор наиболее безопасного принципа работы машины, обеспечивающего высокую надежность, прочность, устойчивость и т.д.; применение автоматических систем управления, дистанционного управления работами; применение в машине необходимых устройств безопасности, назначение безопасных скоростей работы машин и механизмов; определение необходимых коллективных и индивидуальных средств защиты людей; использование в конструкции безопасных и безвредных материалов; обеспечение электробезопасности, взрыво- и пожаробезопасности.

В процессе эксплуатации безопасность машин поддерживают рядом технических и организационных мероприятий: использование машин и оборудования в соответствии ППР, техническими нормами и указаниями и другими документами, определяющими технику безопасности; определение и ограждение опасных зон; обеспечение надежности; обучение и инструктаж работающих; выполнение принятого порядка допуска к самостоятельной работе на машинах; проведение технического надзора.

Одной из достаточно частых причин несчастных случаев при эксплуатации грузоподъемных машин является потеря ими устойчивости – опрокидывание.

Опрокидывание машин происходит вследствие ряда неблагоприятных эксплуатационных факторов – увеличение веса поднимаемого груза сверх допустимого, подъем примёрзших к земле конструкций, значительные динамические нагрузки при неправильной эксплуатации, большая ветровая нагрузка, сверхнормативный уклон местности, просадка грунта и др.

В качестве основного показателя устойчивости машин принят коэффициент запаса устойчивости, представляющий собой отношение момента удерживающих сил относительно ребра опрокидывания к моменту опрокидывающих сил, т.е. $K_y = M_{уд} / M_{опр}$. Этот показатель позволяет оценить устойчивость машин при проектировании, исследовать влияние на устойчивость различных эксплуатационных факторов и обосновать требования техники безопасности.

Для повышения надежности работы строительных машин следует применять устройства безопасности работы, которые обеспечивают безопасность машины и людей в случае ошибок машиниста или неожиданного появления опасности. По назначению приборы и устройства безопасности принято делить на:

- тормозные;
- контрольно-предохранительные;
- блокировочные;
- сигнальные;
- ограждающие;
- аварийной остановки.

Тормозные устройства основаны на использовании силы трения, возникающей между подвижными и неподвижными частями. Безопасность строительных машин во многом зависит от правильности выбора и эксплуатации тормозов. В зависимости от конструкции и формы контактирующих элементов тормоза бывают: колодочные, ленточные, дисковые. В грузоподъемных кранах тормоза предусмотрены на всех механизмах движения – подъема груза, вылета стрелы, поворота и передвижения крана.

Контрольно-предохранительные устройства в строительных машинах применяют самой различной конструкции. По назначению они бывают: указатели ветрового давления, вылета стрелы, крана крана, приближения к воздушным линиям электропередач и др.; противоугонные захваты; ограничители высоты подъема (ОВП), вылета стрелы (ОВС), поворота (ОПС), грузоподъемности (ОГП), грузового момента, скорости; буферные устройства.

Контрольно-предохранительные устройства могут выполнять функции контроля опасного фактора (скорости ветра, наличия электрического тока, величины грузов, грузового момента, скорости или совместного функционирования измерителя и предохранительного механизма).

Предельное положение элементов конструкции фиксируется контактами безопасности – концевыми выключателями. Чтобы избежать ударов при остановке движущихся частей, применяют буферные устройства.

Сигнальные устройства применяют при оповещении работающих о возникновении опасности. Они могут быть звуковыми, световыми, комбинированными.

Ограждающие устройства предназначены для предотвращения попадания людей в опасную зону. В зависимости от назначения и конструкции строительной машины опасность для людей могут создавать открытые части машины, совершающие поступательное или вращательное движение, отлетающие при обработке частицы, световое, тепловое или ультрафиолетовое излучение, возможность падения с высоты грузов или предметов, а также случайное разрушение конструкции, грузов, материалов.

Ограждающие устройства выполняются самых различных конструкций: в виде кожухов, щитов, решеток, сетки на жестких каркасах, перил и др. Сплошные ограждающие устройства при необходимости наблюдения могут изготавливаться из прозрачных материалов (оргстекла).

Блокирующие устройства обеспечивают выключение машины или механизма в случае проникновения человека в запретную зону, отказа оборудования или выход параметров энергоносителей за допустимые пределы.

Все функции безопасности работы строительных машин, а также испытания машин, вспомогательных устройств и приспособлений контролируются органами Госпромнадзора. К его объектам относят следующие строительные машины и их элементы – краны; экскаваторы, оборудованные крюком; лифты; автовышки; подъемники; траверсы; съемные вспомогательные грузозахватные приспособления и др.

Основным документом, определяющим безопасную и надежную работу этих машин, являются «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов». Они предусматривают регистрацию машин в органах Госпромнадзора до пуска их в работу и после. Регистрация производится по письменному заявлению строительной организации с предоставлением всей технической документации на машину. Местная организация Госпромнадзора присваивает машине регистрационный номер и организует надзор и наблюдение за её эксплуатацией.

Все грузоподъемные машины и строительные приспособления, на которые распространяются «Правила», подвергаются первичному и периодическому техническому освидетельствованию на предмет работоспособности. Техническое освидетельствование включает: установление соответствия машины представленной документации, осмотр её состояния, проведение испытаний.

Первичное техническое освидетельствование осуществляют на заводе-изготовителе или после каждого очередного монтажа. Периодическое освидетельствование проводят в процессе эксплуатации. Например, работающие краны освидетельствуют один раз в год. Досрочное освидетельствование осуществляют после перебазирования и монтажа, модернизации и ремонта машины. Проведение технического освидетельствования поручают ответственному по надзору лицу, назначенному приказом по предприятию, в освидетельствовании также принимает участие лицо, ответственное за исправное состояние объекта надзора.

При полном техническом освидетельствовании проводят осмотр и испытание машины. Задача осмотра заключается в проверке исправности машины, её комплектности и работоспособности механизмов и оборудования, а также наличии документации и правильности её ведения, после чего проводят испытания. Для большинства грузоподъемных машин проводят статические и динамические испытания.

Статические испытания проводят для определения прочности металлических конструкций машины и её устойчивости от опрокидывания. Строительные машины, кроме осмотра, проходят испытания нагрузкой, равной $Q=(1.1+1.25) Q_{гр}$. При первичном испытании нагрузка должна превышать вес контрольного груза $Q_{гр}$ на 25% в статическом режиме испытания и на 10% - в динамическом (периодическом). Контрольный груз поднимают краном на высоту 10÷15 см от уровня земли. В первом случае груз выдерживается в статическом состоянии 10мин, во втором – производят динамические испытания в периодическом режиме. Контрольный груз имеется на кране. Остаточные деформации не допускаются.

Динамические испытания проводят с целью проверки исправности устройств безопасности грузоподъемных устройств (тормозов, конечных выключателей и др.). Во всех случаях контрольный груз поднимают больше рабочего на 10%. После подъема, опускания, поворота, изменения вылета и перемещения проверяют безопасность функционирования устройств безопасности.

Если при освидетельствовании грузоподъемной машины окажется, что она находится в аварийном состоянии, то дальнейшая работа её запрещается до устранения причин неисправностей.

В строительной организации для обеспечения безопасной эксплуатации грузоподъемных машин назначаются лица по надзору, ответственные за исправное состояние и безопасные методы производства работ. Эти лица назначаются из числа ИТР, прошедших проверку знаний и имеющих специальное удостоверение.

Ответственность за обеспечение безопасности производства работ по перемещению грузов кранами на каждом участке в течение каждой смены возлагается на одного работника.

2.3.2. Расчет устойчивости самоходного стрелового крана

Необходимо проверить грузовую устойчивость самоходного стрелового крана на автомобильном, гусеничном, пневмоколёсном или специальном шасси при возможности опрокидывания его вперед в сторону стелы и груза с учетом дополнительных нагрузок и уклона поверхности земли.

Расчетная схема к определению устойчивости самоходного стрелового крана на гусеничном ходу и для примера 2.4 приведена на рис. 2.6.

Грузовая устойчивость самоходного крана обеспечивается при условии

$$K_1 M_r \leq M_n, \quad (2.9)$$

где K_1 – коэффициент грузовой устойчивости, принимаемый для горизонтального пути без учёта дополнительных нагрузок равным 1.4, а при их наличии (ветра, инерционных сил) и влияния наибольшего допустимого уклона пути – 1.15;

M_r – момент, создаваемый рабочим грузом относительно ребра опрокидывания, Н·м;

M_n – момент всех прочих (основных и дополнительных) опрокидывающих нагрузок, действующих на кран, относительно того же ребра с учетом наибольшего допускаемого наклона пути, Н·м.

Грузовой момент рассчитываем по выражению:

$$M_r = Q(a-b), \quad (2.10)$$

где Q – вес наибольшего груза, Н;

a – расстояние от оси вращения крана до центра тяжести наибольшего рабочего груза, подвешенного к крюку, при установке крана на горизонтальной плоскости, м;

b – расстояние от оси вращения крана до ребра опрокидывания, м.

Удерживающий момент, возникающий от действия основных и дополнительных нагрузок, рассчитываем по выражению:

$$M_n = M_b - M_y - M_{qc} - M_u - M_w, \quad (2.11)$$

где M_b – восстанавливающий момент от действия собственного веса крана:

$$M_b = G \cdot (b+c) \cdot \cos \alpha, \quad (2.12)$$

где G – вес крана, Н;

c – расстояние от оси вращения крана до его центра тяжести, $c \approx 0.5$ м;

α – угол наклона пути крана, град. (для передвижных стреловых кранов и кранов-экскаваторов $\alpha=3^\circ$ - при работе без выносных опор и $\alpha=1.5^\circ$ - при работе с выносными опорами; для башенных кранов $\alpha=2^\circ$ - при работе на временных путях и $\alpha=0^\circ$ - при работе на постоянных путях);

M_y – момент, возникающий от собственного веса крана при уклоне пути:

$$M_y = G \cdot h \cdot \sin \alpha, \quad (2.13)$$

где h – расстояние от центра тяжести крана до плоскости, проходящей точки опорного контура, принимаем $h=1.5 \div 2.0$ м;

M_{qc} – момент от действия центробежных сил:

$$M_{qc} = \frac{Q \cdot n^2 \cdot a \cdot h_1}{900 - n^2 \cdot H}, \quad (2.14)$$

где n – частота вращения крана вокруг вертикальной оси, мин^{-1} ;

h_1 – расстояние от оголовка стрелы до плоскости, проходящей через точки опорного контура, м;

H – расстояние от оголовка стрелы до центра тяжести подвешенного груза (при проверке на устойчивость груз поднимают над землей на 20÷30см):

$$H = h - 0.25 - \frac{h_{2a}}{2}, \quad (2.15)$$

где h_{2a} – высота элемента, м;

M_u – момент от силы инерции при торможении опускающегося груза:

$$M_u = \frac{Q \cdot V \cdot (a-b)}{t \cdot g}, \quad (2.16)$$

где V – скорость подъема груза (при наличии свободного опускания груза расчетную скорость V принимают равной 1.5 м/с);

g – ускорение свободного падения, равное 9.81 м/с²;

t – время неустановившегося режима работы механизма подъема (время торможения груза), равное 1÷3 с;

M_w – ветровой момент:

$$M_g = M_{gx} + M_{gz} = W \cdot \rho + W_1 \cdot \rho_1, \quad (2.17)$$

где M_{gx} и M_{gz} – момент от действия ветровой нагрузки на кран и подвешенный груз;

W – ветровая нагрузка, действующая параллельно плоскости, на которой установлен кран, на наветренную площадь крана, Па;

W_1 – ветровая нагрузка, действующая параллельно плоскости, на которой установлен кран, на наветренную площадь груза, Па;

$\rho = h$ и $\rho_1 = h_1$ – расстояние от плоскости, проходящей через точки опорного шарнира, до центра приложения ветровой нагрузки на кран и груз, м.

$$W = q_H^C \cdot F; \quad (2.18)$$

$$W = q_H^C \cdot F_1; \quad (2.19)$$

где $q_H^C = q_0 \cdot K \cdot C$ – статическая составляющая ветровой нагрузки соответственно на кран и груз, Н/м²;

q_0 – скоростной напор, принимаемый в зависимости от района строительства, Па, по табл. 2.8.

Таблица 2.8 – Зависимость скоростного напора ветра от района строительства

Район строительства	1	2	3	4	5	6	7
Скоростной напор q_0 , Па	270	350	450	550	700	850	1000

Для г. Бреста (1-й район строительства) $q_0 = 270$ Па.

K – коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора по высоте с учетом типа местности (табл. 2.9).

Таблица 2.9 – Значение коэффициента K по высоте

Тип местности	K при высоте над поверхностью земли, в м				
	10	20	40	60	80
Открытая местность	1	1.25	1.55	1.75	2.1
Местность с препятствиями высотой более 10 м	0.65	0.9	1.2	1.45	1.8

C – аэродинамический коэффициент в зависимости от ажурности конструкций: для конструкций сплошного сечения $C=1.49$ (например, сплошного груза); для прямоугольных кабин машинистов, противовесов и т. п. $C=1.2$; для конструкций из труб $\varnothing 140 \div 170$ мм $C=0.5 \div 0.7$; для решетчатых конструкций $C=0.3 \div 0.4$;

F и F_1 – соответственно наветренная поверхность крана и груза, м².

Пример 2.4. Произвести проверку устойчивости самоходного стрелового крана на гусеничном ходу при следующих исходных данных:

наименование поднимаемого груза – плита перекрытия;

геометрические размеры плиты $l \times b \times h = 6.3 \times 1.2 \times 0.2$ м;

масса плиты $m = 1.2$ Т;

расстояние от оголовка стрелы до плоскости, проходящей через точку опорного контура, $h = 5$ м (K согласно табл. 2.9 равен единице, $K = 1$);
 расстояние от вращения крана до центра тяжести груза $a = 6$ м;
 расстояние от оси вращения до ребра опрокидывания $b = 1.1$ м;
 масса крана $M = 10$ т ($G = 100000$ Н);
 район строительства по скоростному напору ветра – 1 (q_0 согласно табл. 2.8 равен $q_0 = 270$ Па).

Решение (вариант 1):

1. Ветровой напор W_1 на груз определяем по формуле (2.19):

$$W_1 = q_H^C \cdot F_1 = 402 \cdot 1.26 = 506 \text{ Па},$$

где $q_H^C = q_0 \cdot K \cdot C = 270 \cdot 1 \cdot 1.49 = 402$ Па – ветровая нагрузка на груз;

$q_0 = 270$ Па – скоростной напор в зависимости от района строительства (табл. 2.8);

$K = 1$ – коэффициент изменения скоростного напора (принимается по табл. 2.9 в зависимости от высоты над поверхностью земли ($h < 10$ м) и рельефа местности – открытая поверхность);

$C = 1.49$; $F_1 = l \times h = 6.3 \cdot 0.2 = 1.26$ м² – площадь груза.

2. Ветровой напор W на кран определяем по формуле (2.18):

$$W = q_H^C \cdot F = 324 \cdot 10 = 3240 \text{ Па},$$

где $q_H^C = q_0 \cdot K \cdot C = 270 \cdot 1 \cdot 1.2 = 324$ Па – ветровая нагрузка на кран;

$F = q \cdot n = 4 \cdot 2.5 = 10$ м² – осредненная площадь крана к ветру;

$m = 4$ м – средняя ширина крана к ветру;

$n = 2.5$ м – осредненная высота крана со стороны ветра.

3. Ветровой момент на кран и груз определяем по формуле (2.17):

$$M_w = M_{wx} + M_{wz} = W \cdot \rho + W_1 \cdot \rho_1 = 3240 \cdot 2.5 + 506 \cdot 2530 = 10630 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $\rho \approx h = 2.5$ м – высота приложения ветровой нагрузки к крану;

$\rho_1 = h_1 = 5$ м – высота приложения ветровой нагрузки к грузу.

4. Момент от силы инерции при торможении опускающегося груза определяем по формуле (2.16):

$$M_w = Q \cdot V \cdot \frac{a-b}{g \cdot t} = 12000 \cdot 1.5 \cdot \frac{6.8-1.1}{9.81 \cdot 3} = 3486 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $Q = 12000$ Н – вес груза;

$V = 1.5$ м/с – скорость подъема (опускания) груза;

$g = 9.81$ м/с²;

$t = 3$ с – время торможения;

$a = 6.8$ м – вылет крюка;

$b = 1.1$ м – половина колеи крана.

5. Момент от действия центробежных сил вычисляем по формуле (2.14):

$$M_w = \frac{Q \cdot n^2 \cdot a \cdot h_1}{900 - n^2 \cdot H} = \frac{12000 \cdot 1^2 \cdot 6.8 \cdot 5}{900 - 1^2 \cdot 4.65} = 456 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $n = 1$ об./мин. – частота вращения крана;

$H = 5 - 2.5 - 0.2/2 = 4.65$ м – высота от оголовка стрелы до центра тяжести груза;

$h_{1z} = 0.2$ м – толщина элемента.

6. Момент от уклона пути определяем по формуле (2.13):

$$M_y = G \cdot h \cdot \sin \alpha = 100000 \cdot 2.5 \cdot 0.06 = 15000 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $\alpha = 3^\circ$ (без выносных опор):

$$\sin \alpha = \sin 3^\circ = 0.06; \quad \cos \alpha = \cos 3^\circ = 0.998 - \text{уклон пути.}$$

7. Восстанавливающий момент от действия собственного веса определяем по формуле (2.12):

$$M'_B = G \cdot (b+c) \cos \alpha = 100000 \cdot (1.1+0.5) \cdot 0.998 = 160000 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где $b = 1.1 \text{ м}$;

$c = 0.5 \text{ м}$ – смещение центра тяжести крана от оси вращения.

8. Удерживающий момент от действия основных и дополнительных нагрузок определяем по формуле (2.11):

$$M_n = M'_B - M_y - M_{\text{к}} - M_u - M_B = 160000 - 15000 - 456 - 3486 - 10630 = 130428 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

9. Грузовой момент по формуле (2.10) равен:

$$M_r = Q \cdot (a-b) = 12000 \cdot (6.8-1.1) = 68400 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

10. Грузовая устойчивость устанавливается по выражению (2.9):

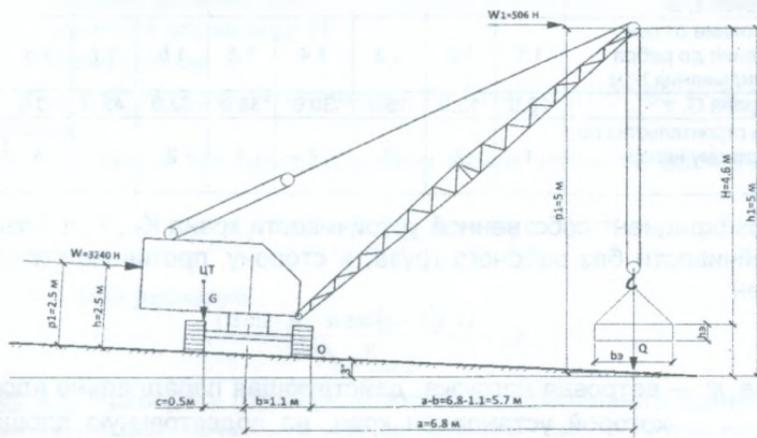
$$K_1 M_1 < M_n.$$

При $K_1 = 1.15$ условие выполняется, т.к. соблюдается неравенство $1.15 \cdot 68400 = 78660 < 130428$. ✓

Рисунок 2.6 – Расчетная схема к определению устойчивости крана ✓

Для других вариантов решения задачи исходные данные приведены в табл. 2.10 (по последней цифре зачетной книжки).

Коэффициент грузовой устойчивости крана, не предназначенного для передвижения с грузом, определяют по формуле, полученной из условия (2.9) после подстановки всех входящих в него составляющих:



$$K_1 = \frac{M_n}{M_r} \geq \frac{G \cdot [(b+c) \cos \alpha - h_1 \cdot \sin \alpha] - \frac{Q \cdot n^2 \cdot a \cdot h_1}{900 - n^2} \cdot H}{Q \cdot (a-b)} - \frac{Q \cdot V}{g \cdot t} \cdot (a-b) - W \cdot \rho - W_1 \cdot \rho_1 > 1.15 \quad (2.20)$$

Если кран предназначен для перемещения с грузом, то при проверке грузовой устойчивости в направлении его движения учитывают зависимости $\frac{G \cdot V_1 \cdot h_1}{g \cdot l_1}$ и $\frac{G \cdot V_1 \cdot h}{g \cdot l_1}$, которые вычитаются из удерживающего момента.

Устойчивость передвижных стреловых кранов без груза определяется уравнением собственной устойчивости:

$$K_2 \cdot M_0 \leq M_y, \quad (2.21)$$

где K_2 – коэффициент собственной устойчивости;

M_0 – момент, создаваемый ветровой нагрузкой, Нм;

M_y – момент, возникающий от собственного веса крана или уклона пути, Нм.

Таблица 2.10 – Исходные данные для решения вариантов задачи

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наименование поднимаемого груза	Плита					Труба-переезд				
Геометрические размеры $ x \times b \times h$, м	6.3× 1.2× 0.2	4.8× 1.5× 0.06	6.0× 1.5× 0.18	7.2× 1.8× 0.24	7.2× 1.2× 0.22	6.0× 0.9× 0.3	1.5× 0.6× 0.2	1.8× 1.2× 0.2	4.8× 0.6× 0.3	2.4× 0.9× 0.2
Масса конструкции m , т	1.2	2.3	2.8	3.2	3.0	2.2	0.3	1.2	1.8	1.6
Расстояние от оголовка стрелы до плоскости, проходящей через точки опорного контура h_1 , м	5.0	6.0	7.0	8.0	10.5	8.5	7.5	10.8	6.5	5.5
Расстояние от оси вращения крана до ц. т. груза a , м	6.8	7.8	8.8	9.2	10.2	11.2	11.5	12.5	13.0	13.5
Расстояние от оси вращения до ребра опрокидывания b , м	1.1	1.2	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
Вес крана G , т	10.0	13.0	15.0	30.0	38.0	32.0	45.0	40.0	37.0	32.0
Район строительства по скоростному напору ветра	1	2	3	4	1	2	3	4	3	4

Коэффициент собственной устойчивости крана K_2 , т. е. коэффициент устойчивости без рабочего груза, в сторону, противоположную стреле, равен:

$$K_2 = \frac{G \cdot ((b - c) \cos \alpha - h_1 \cdot \sin \alpha)}{W_2 \cdot \rho_2}, \quad (2.22)$$

где W_2 – ветровая нагрузка, действующая параллельно плоскости, на которой установлен кран, на подветренную площадь крана при нерабочем состоянии, Па;

ρ_2 – расстояние от плоскости, проходящей через точки опорного контура, до центра приложения ветровой нагрузки, м.

2.3.3. Расчет устойчивости башенного крана

Устойчивость башенных кранов принято определять для следующих условий эксплуатации: при действии груза (грузовая устойчивость), при отсутствии груза (собственная устойчивость), при внезапном снятии нагрузки на крюке, при монтаже и демонтаже, при погрузке (выгрузке) и при испытаниях крана.

1 методика

Грузовую устойчивость башенных кранов проверяют по тем же формулам (2.9+2.21), что и для самоходных кранов. Расчетная схема башенного крана приведена на рис. 2.7.

Числовые значения коэффициентов грузовой и собственной устойчивости определяют при направлении стрелы, перпендикулярном линии опрокидывания, без учета рельсовых захватов. Коэффициент собственной устойчивости крана определяют при наименьшем вылете крюка.

При ураганном ветре кран расчаливают или крепят грузовым полиспастом к якорю (рис. 2.8).

При расчаливании крана уравнение устойчивости имеет вид:

$$K_2 M_0 \leq M_y + S \cdot r, \quad (2.23)$$

где K_2 - коэффициент собственной устойчивости, принимаемый равным 1.15;

M_0 - момент, создаваемый ветровой нагрузкой, Нм;

M_y - момент, создаваемый весом всех частей крана относительно ребра опрокидывания А с учетом уклона пути в сторону опрокидывания, Нм;

S - усилия в расчалках, Н;

r - плечо усилия, м.

Расчетное давление ветра принимают по СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия».

По установленным параметрам можем найти усилие в расчалках по формуле:

$$S = \frac{K_2 \cdot M_0 - M_y}{r} = \frac{K_2 \cdot M_0 - M_y}{b \cdot \sin \alpha} \quad (2.24)$$

Усилие в одной расчалке:

$$S_1 = \frac{S}{2 \cdot \sin \beta} \quad (2.25)$$

Пример 2.5. Проверить грузовую устойчивость башенного крана с учётом дополнительных загрузок и уклона пути (см. рис. 2.7) при подъеме груза массой 1 т (весом $Q=10$ кН).

Исходные данные: $G=20$ кН; $C=0.25$ м; $V=0.5$ м/с; $t=5$ с; $W=2.43$ кН; $p=10$ м; $W_1=4.34$ кН; $n=0.2$ м⁻¹; $h_1=20$ м; $H=20$ м; $\alpha=2^\circ$; $b=1.75$ м; $a=20$ м; $h=10$ м; $p_1=20$ м.

При этом $W_1 = 402.3 \cdot 10.8 = 4344.8 \text{ Н}$ ($K=1.0$; $C=1.49$; $g_0=270 \text{ Па}$;
 $q_n^c = 402.3 \text{ Па}$; $F_1 = 1.8 \times 6 = 10.8 \text{ м}^2$)
 $W = 81 \cdot 30 = 2430 \text{ Н}$ ($K=1.0$; $C=0.3$; $g_0=270 \text{ Па}$; $q_n^c = 81 \text{ Па}$;
 $F = 1.5 \times 20 = 30 \text{ м}^2$).

Решение. Подставляя числовые значения в формулу устойчивости (2.20), получим:

$$K_1 = \frac{200((1.75 + 0.25) \cos 2^\circ - 10 \sin 2^\circ) - \frac{10 \cdot 0.2^2 \cdot 20 \cdot 20}{900 - 0.2^2 \cdot 20} - \frac{10 \cdot 0.5(20 - 1.75)}{9.81 \cdot 5} \cdot 2.43 \cdot 10 - 4.34 \cdot 20}{10(20 - 1.75)} = 1.5 > 1.15$$

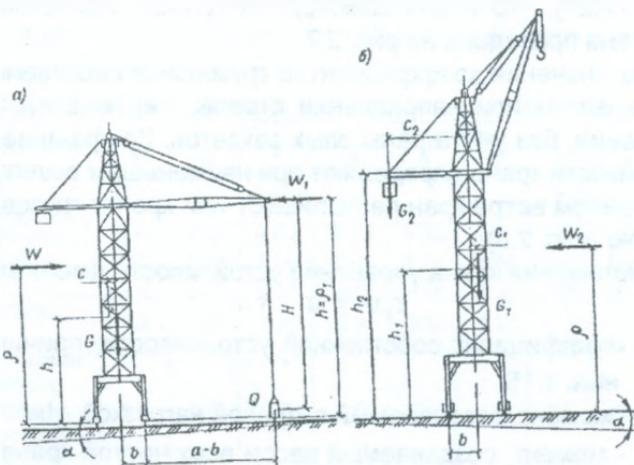


Рисунок 2.7 – Расчетная схема устойчивости башенного крана с грузом (а) и без груза (б)

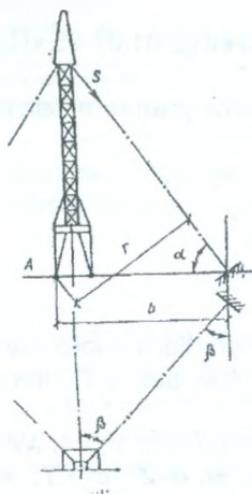


Рисунок 2.8 – Расчетная схема усилий в растяжках крана

2 методика

В соответствии с нормативными документами при определении грузовой устойчивости башенных кранов коэффициент запаса устойчивости K_1 в формуле (2.9) принимают не постоянным, а рассчитывают с учетом области применения, надежности крана, случайных отклонений нагрузки и ветра от нормативных значений, а также в зависимости от условий работы. Для удобства определения устойчивости условие (2.9) записывают в виде неравенства:

$$K_n M_0 \leq K_{yp} M_{yg}, \quad (2.26)$$

где K_n - коэффициент перегрузки;

K_{yp} - коэффициент условий работ;

M_0 - опрокидывающий момент от действия нагрузок, кН·м;

M_{yg} - удерживающий момент от действия нагрузок, кН·м.

Коэффициент перегрузки K_n находят по выражению:

$$K_n = 1 + K_1 K_2, \quad (2.27)$$

где K_1 - коэффициент надежности, который выбирают по табл. 2.11.

Таблица 2.11 – Значение коэффициента надежности K_1

Класс ответственности крана	Класс ответственности элементов		
	1	2	3
I	6.0	5.5	5.0
II	5.5	5.5	4.5
III	5.0	4.5	4.0

Примечания: 1. Класс ответственности крана установлен в зависимости от области применения (I – для подачи бетона на гидротехнические сооружения, при работе с опасными грузами; II – все виды работ за исключением п. I; III – малоэтажное и сельское строительство). 2. Класс ответственности элементов принимают в зависимости от конструктивного назначения (1 – ходовые тележки, ходовая рама, башня; 2 – механизмы подъема груза и стрелы; 3 – все сборные единицы крана).

K_2 – коэффициент изменчивости, определяется из выражения:

$$K_2 = \frac{\sqrt{\sum M_i^2}}{M_0^n}, \quad (2.28)$$

где M_i^2 - сумма опрокидывающих моментов от среднеквадратического отношения случайной составляющей i -го вида нагрузки, кН·м;

M_0^n – опрокидывающий момент от нормативных составляющих нагрузок, кН·м.

Коэффициент условий работ определяется произведением двух коэффициентов:

$$K_{yp} = K_{вв} \cdot K_{ос}, \quad (2.29)$$

где $K_{вв}$ - коэффициент вовлечения веса крана в создание удерживающего момента: для неработающего крана его принимают равным 1.05, а в остальных случаях определяют по таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Значения коэффициента вовлечения веса крана $K_{эз}$

Класс ответственности крана	Класс ответственности элементов		
	1	2	3
I	0.85	0.90	0.95
II	0.90	0.95	1.00
III	0.95	1.00	1.05

$K_{эз}$ – коэффициент, учитывающий особенности работы элемента конструкции или части металлоконструкций. При $K_{эз} = 0.90$ (II класс ответственности крана и 1 класс ответственности элемента) $K_{эз} = 1$.

При расчете устойчивости следует учитывать наклон подкранового пути $h/B = 0.1$, где B – база (колея) крана, h – разность отметок.

Рассмотрим порядок расчета грузовой устойчивости башенного крана. Схема для расчета показана на рис. 2.9, а. Тогда условие устойчивости (2.26) можно записать в виде:

$$K_n \cdot (Q_r^H \cdot b_r + M_w^H) \leq K_{вр} \cdot Q_k^H \cdot b_k, \quad (2.30)$$

где Q_r^H – нормативная составляющая веса груза, к;

b_r – расстояние от точки подвеса грузового полиспаста до вертикальной плоскости, проходящей через ребро опрокидывания, м;

M_w^H – момент относительно ребра опрокидывания от нормативной составляющей ветровой нагрузки, кН·м, определяется аналогично M_B для стреловых самоходных кранов по формулам (2.17) – (2.19).

Коэффициент перегрузки K_n находят из выражения (2.27), а коэффициент изменчивости K_2 в нем определяют по выражению (2.28) с учетом следующих составляющих:

$$K_2 = \sqrt{\frac{M_{sq}^2 + M_{rot}^2 + M_{rot}^2 + M_{st}^2}{M_{st}^2}}, \quad (2.31)$$

где $M_{sq} = K_3 \cdot Q_n \cdot b_2$ – момент относительно ребра опрокидывания от среднеквадратического отклонения случайной составляющей веса поднимаемого груза, кН·м;

K_3 – коэффициент, учитывающий режим работы крана, определяется по табл. 2.13.

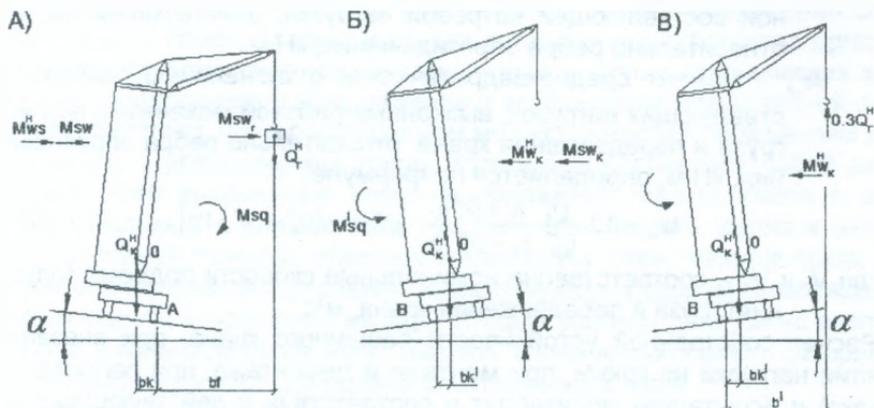
Таблица 2.13 – Значения коэффициента режима работы крана K_3

Грузоподъемность, т	Нормативная составляющая веса груза, кН	При режиме работы крана		
		легком	среднем	тяжелом
<1.5	<15	0.06	0.08	0.10
1.5 – 10	15 – 100	0.05	0.06	0.07
>10	>100	0.04	0.05	0.06

M_{rot} – момент среднеквадратического отклонения случайной составляющей ветровой нагрузки на кран относительно ребра опрокидывания, кН·м, определяется по формуле:

$$M_{rot} = m_n \cdot \varepsilon \cdot M_{ст}^H, \quad (2.32)$$

где m_n – коэффициент пульсации ветра, принимается по табл. 2.14 в зависимости от высоты расположения опорного шарнира стрелы над поверхностью грунта H ;



а – грузовой устойчивости; б – собственной устойчивости;
в – устойчивости при снятии нагрузки

Рисунок 2.9 – Схема определения устойчивости башенного крана

Таблица 2.14 – Значения коэффициента пульсации ветра m_w

Н, м	0 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 – 60	60 – 70	70 – 80
m_w	0.12	0.11	0.105	0.10	0.095	0.09	0.085

ε – коэффициент динамичности, принимается по табл. 2.15 в зависимости от периода колебаний Т.

Таблица 2.15 – Значения коэффициента динамичности ε

Т, с	1	2	3	4	5	6	7	8
ε	1.75	2.25	2.65	2.96	3.16	3.22	3.26	3.30

Т – период свободных колебаний Т, принимается по табл. 2.16 в зависимости от Н, Q_r и наибольшего вылета крюка L_k .

Таблица 2.16 – Значения периода свободных колебаний Т

Наибольший вылет крюка L_k , м	При высоте расположения опорного шарнира стрелы над фундаментом Н, м							
	<20				20 – 40		40 – 60	
	и грузоподъемности Q_r при наибольшей высоте H_r , т							
	1–5	6–10	11–20	21–30	1–5	6–10	11–20	40 – 60
10	1.5	1.6	1.7	1.9	1.7	1.9	2.2	2.7
20	1.6	1.7	1.9	2.2	1.9	-	-	-
30	1.7	1.9	2.2	2.5	2.2	-	-	-
40	1.9	2.2	2.5	2.7	2.5	-	-	-
50	2.2	2.5	2.7	2.9	2.7	-	-	-

$M_{\text{ветр}} = 0.1 \cdot M_{\text{штк}}^H$ – момент среднеквадратических отклонений случайной составляющей ветровой нагрузки, действующей на груз, относительно ребра опрокидывания, кН·м;

$M_{\text{дв}}$ – момент среднеквадратических отклонений случайных составляющих нагрузок, вызванных работой механизма подъема груза и передвижения крана, относительно ребра опрокидывания, кН·м, определяется по формуле:

$$M_{\text{дв}} = 0.2 \frac{Q_k^H \cdot h_k + Q_r^H \cdot h_r}{Q_k^H \cdot b_k - Q_r^H \cdot b_r} [Q_r^H V_r^2 + (Q_k^H + Q_r^H) V_k^2], \quad (2.33)$$

где V_r и V_k – соответственно номинальные скорости подъема (опускания) груза и передвижения крана, м/с.

Расчет собственной устойчивости башенного крана, при внезапном снятии нагрузки на крюке, при монтаже и демонтаже, при погрузке (выгрузке) и испытаниях производят в соответствии с действующими нормативными документами и [6].

2.4. Электробезопасность

Электрическая энергия является одним из наиболее удобных и экономически выгодных видов энергоресурсов. Она одинаково широко используется как на производстве, так и в быту.

Для производства, передачи и распределения электроэнергии между потребителями в РБ сооружены и эксплуатируются тепловые электростанции мощностью до 2.4 млн. кВт, электрические сети напряжением 0.4 – 750 кВ и сотни тысяч электроустановок, строится новая атомная электростанция.

В соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ) электроустановкой называется совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенная для производства, преобразования, трансформации, передачи, распространения электрической энергии и преобразования её в другой вид энергии.

По требованиям обеспечения надёжности электроснабжения электроприёмники делятся на три категории:

I – электроприемники, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров;

II – электроприемники, перерыв питания которых приводит к низкому снижению выпуска продукции, длительным простоям технологического оборудования;

III – все остальные потребители, не относящиеся к категориям I и II.

Электрические установки, с которыми приходится иметь дело практически всем работающим на производстве, представляют потенциальную опасность для человека из-за наличия токоведущих проводников, не подающих сигналов опасности, опасного воздействия электрического тока и электромагнитных полей.

Проходя через организм человека, электрический ток может вызвать термическое (ожоги отдельных участков тела, нагрев кровеносных сосудов, нервов, крови, плазмы и других органических субстратов организма), электролитическое (разложение крови и других органических жидкостей), биологическое (раздражение и возбуждение живых тканей организма) действие, что в последующем может привести к поражениям других видов – электрических травм, которые представляют собой дальнейшие ярко выраженные внешние поражения тела человека в виде электрических и токовых ожогов I-IV степеней тяжести, дуговых ожогов III-IV степеней тяжести, электрометаллизации кожи, механическим повреждением, электроофтальмии и электрическим ударам (возбуждение живых тканей, сокращение мышц), которые условно делятся на степени (I-IV) и в конечном итоге могут вызвать клиническую смерть от прекращения работы сердца, дыхания и электрического шока.

Факторы, условия и основные причины поражения человека электрическим током излагаются отдельно в лекционном курсе. Остановимся на безопасности эксплуатации электроустановок.

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. В связи с этим определением (по ГОСТ 12.1.019) электробезопасность должна обеспечиваться: конструкцией электроустановок; техническими способами и средствами защиты; организационными и техническими мероприятиями.

В соответствии с ГОСТ 12.2.007 конструкции электрооборудования по способу защиты человека от поражения током подразделяются на пять классов защиты [1]: 0; 01; I; II; III, а согласно ГОСТ 14255, устанавливается семь степеней защиты персонала от прикосновения к токоведущим частям, попадания посторонних тел и проникновения воды: 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6, среди которых используются следующие способы: защитное заземление, защитное зануление и др. по степени значимости.

2.4.1. Расчет защитного заземления электроустановок

Защитное заземление (согласно ГОСТ 12.1.009) – это преднамеренное электрическое соединение с землей или её эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением (при пробое на корпус или по другим причинам). Оно применяется в трехфазных трехпроводных сетях с изолированной нейтралью напряжением V до 1000 В.

Принцип действия защитного заземления основан на снижении до безопасных значений напряжений и шага, обусловленных замыканием одной из фаз на корпус электрооборудования и соответственно проходящего через тело человека.

Рабочим заземлением называется заземление какой-либо точки токоведущих частей электроустановки (ЭУ).

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), для электроустановок $V < 1000$ В при изолированной нейтрали трансформатора (генератора) сопротивление защитного заземления должно быть $R < 4$ Ом.

В случае пробоя одной из фаз электросети на корпус электродвигателя благодаря защитному заземлению напряжения прикосновения, под которое может попасть человек, прикоснувшись к корпусу, значительно снижается. На корпусе электродвигателя появляется напряжения V_k , равное произведению тока замыкания на землю I_3 и сопротивления заземлителя R_3 , т.е. $V_k = I_3 \cdot R_3$.

Ток однофазного замыкания на землю в сети $V < 1000$ В обычно не превышает 10А. Следовательно, напряжение прикосновения на корпусе заземленного оборудования при замыкании составит $V_k = 10 \cdot 4 = 40$ В. Поэтому ток I_4 , проходящий через тело человека, тем меньше, чем меньше сопротивление заземлителя:

$$I_4 = \frac{I_3 \cdot R_3}{R_p} = \frac{40}{1000} = 0.04 \text{ А,}$$

где $R_p = 1000$ Ом – минимальное сопротивление тела человека, хотя оно может колебаться в пределах 1000-1000000 Ом в зависимости от состояния тела человека (состояния кожного покрова, степени опьянения, крепости нервной системы и др. факторов).

Такой ток $I_4 = 0.04$ А является безопасным для человека.

Защитное заземление выполняют путем преднамеренного соединения корпусов оборудования с землей. В качестве заземляющих проводников допускается использовать естественные заземлители (электропроводящие части инженерных коммуникаций и сооружений производственного или иного назначения (водопроводные трубы, металлические трубы и т.п.)).

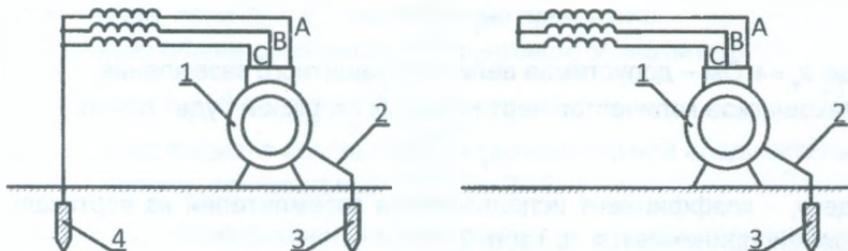
Принципиальные схемы устройства защитного заземления показаны на рис. 2.10.

К искусственным заземлителям относятся специальные электроды, закопанные в землю. Это могут быть стержни из угловой стали размером от 40×40 до 60×60 мм, стальные трубы диаметром 30÷60 мм, полосовая сталь размером более 4×12 мм, стальные прутки диаметром 10÷12 мм, забитые в землю вертикально и соединенные между собой подземной приваренной к ним стальной полосой.

Заземлитель каждого вида имеет свое сопротивление растеканию, которое определяется как суммарное сопротивление грунта от заземлителя до любой точки земли с нулевым потенциалом.

В качестве заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановок с заземлителем, применяют медные, алюминиевые проводники или полосовую сталь. Они должны быть проложены открыто, доступны для осмотра и окрашены в виде желтых полос шириной 15 мм через 150 мм на зеленом фоне. Заземление должно быть индивидуальным, т.е. не допускается последовательного присоединения оборудования к заземлителю.

По расположению различают заземление выносное (сосредоточенное) и контурное (распределенное). В первом случае заземлитель выносится за пределы площадки с электрооборудованием в место с наименьшим сопротивлением грунта и применяется в электроустановках с $V < 1000$ В из-за опасности воздействия на человека напряжения в аварийных ситуациях, когда человек и оборудование могут оказаться в разных потенциалах.



а) в сети с изолированной нейтралью до 1000 В; б) в сети с заземленной нейтралью выше 1000 В; 1 – электродвигатель; 2 – заземляющие проводники; 3 – заземлитель защитного заземления; 4 – заземлитель рабочего заземления

Рисунок 2.10 – Принципиальные схемы защитного заземления

Контурное заземление предусматривает размещение заземлителей по контуру производственной площадки.

Согласно ГОСТ 12.1.030 сопротивление заземляющего устройства нормируется и не должно превышать в любое время года значений:

10 Ом – в стационарных сетях пожароопасных помещений с изолированной нейтралью $V < 1000$ В;

4 Ом – в стационарных сетях взрывоопасных помещений с повышенной опасностью и особо опасных с изолированной нейтралью $V < 1000$ В;

0.5 Ом – в установках с $V > 1000$ В при большой расчетной силе тока короткого замыкания $I_3 > 500$ А/

В некоторых случаях допускается вводить поправочные коэффициенты.

Расчет защитного заземления ведем по следующей методике. Определяем расчетное сопротивление R_3 (Ом) одиночного вертикального стержня заданных размеров по формуле:

$$R_w = \frac{\rho_p}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + 0.5 \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right), \quad (2.34)$$

где h – расстояние от заземлителя в грунте до поверхности грунта, м;

$$h = \frac{l}{2} + h_0, \quad (2.35)$$

где l – длина заземлителя, м;

$h_0 = 0.5 \div 0.7$ м – расстояние от поверхности до верха заземлителя;

d – диаметр стержня, м. Для уголков $d = 0.95b$;

b – ширина полки уголка, м

ρ_p – расчетное сопротивление грунта, Ом, равно $\rho_p = \rho \cdot \psi$;

ρ – удельное сопротивление грунта, Ом;

$\psi = 1.7 - 2.3$ – коэффициент сезонности, учитывающий возможность повышения сопротивления грунта в течение года и зависящий от климатической зоны.

Принимая во внимание максимальное значение $\psi=2.3$ и подставляя его в формулу (2.34), получим окончательное значение R_{30} :

$$R_{30} = 0.366 \frac{\rho}{l} \left(\ln \frac{2l}{d} + 0.5 \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right) \quad (2.36)$$

Находим требуемое ориентировочное количество вертикальных стержней в проектируемом заземлении:

$$n_{\text{ор}} = \frac{R_{30}}{R_g}, \quad (2.37)$$

где $R_g = 4$ Ом – допустимая величина защитного заземления.

Фактическое количество вертикальных стержней будет равно:

$$n_g = \frac{R_{30}}{\eta_c R_g}, \quad (2.38)$$

где η_c – коэффициент использования заземлителей из вертикальных стержней, принимается по табл. 2.17.

Таблица 2.17 – Значения коэффициента использования заземлителей η_c

Число заземлителей	Отношение расстояния между электродами к их длине (a/l)					
	1	2	3	1	2	3
	Электроды размещены в ряд			Электроды размещены по контуру		
2	0.85	0.91	0.94	-	-	-
3	0.78	0.86	0.91	0.73	0.81	0.87
4	0.73	0.83	0.89	0.69	0.78	0.84
5	0.69	0.81	0.86	0.65	0.75	0.82
6	0.65	0.77	0.84	0.61	0.73	0.80
10	0.59	0.74	0.81	0.55	0.68	0.76
15	0.53	0.70	0.78	0.51	0.65	0.73
20	0.48	0.67	0.76	0.47	0.63	0.71
40	-	-	-	0.41	0.58	0.66
60	-	-	-	0.39	0.55	0.64
100	-	-	-	0.36	0.52	0.62

Примечание. Для нахождения η_c число стержней берется приближенно из соотношения R_{30}/R_g при принятом значении (a/l). Если $n_{\text{ор}}$ дробное число, его необходимо округлить до меньшего числа в меньшую сторону.

Определяем суммарное сопротивление заземлителя из n_g вертикальных стержней:

$$R_3 = \frac{R_{30}}{n_{\text{ор}} \eta_{\text{эф}}}, \quad (2.39)$$

где $\eta_{\text{эф}}$ – фактический коэффициент использования заземлителей, повторно взятый из табл. 2.17 по $n_{\text{ор}}$.

Забитые стержни-электроды свариваются между собой металлической полосой, длина которой зависит от расположения заземлителей и равна, м

а) по контуру $l_n = 1.05 a \cdot n_{\text{ор}};$ (2.40 а)

б) в ряд $l_n = 1.05 \cdot (n_{\text{ор}} - 1) a,$ (2.40 б)

где a – расстояние между заземлителями, вычисляется из соотношения a/l, принятом окончательно из табл. 2.17.

Сопrotивление растеканию электрического тока соединительной полосы, расположенной в земле, определяется по формуле:

$$R_{no} = 0.366 \frac{\rho}{l_n} \ln \frac{2 \cdot l_n^2}{b \cdot h_n}, \quad (2.41)$$

где b – ширина полосы, принимается равной 0.03+0.05 м;

h_n – глубина заложения полосы от поверхности земли (0.7 м).

В том случае, если $R_{no} < R_x$, расчет можно прекратить.

Определяем общее сопротивление грунтового заземлителя:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_{\text{гн}} \cdot R_{\text{мн}}}{R_{\text{гн}} \cdot \eta_{\text{гн}} + R_{\text{мн}} \cdot \eta_{\text{сф}} \cdot \eta_{\text{ф}}} \leq 4 \text{ Ом} \quad (2.42)$$

где $\eta_{\text{гн}}$ – коэффициент использования горизонтальной соединительной полосы, принимаемый по табл. 2.18.

Таблица 2.18 – Коэффициент использования $\eta_{\text{гн}}$ горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды группового заземлителя

Соотношение расстояния между электродами к их длине	Число вертикальных электродов							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальные электроды размещены в ряд								
1	0.85	0.77	0.72	0.62	0.42	-	-	-
2	0.94	0.89	0.84	0.75	0.56	-	-	-
3	0.96	0.92	0.88	0.82	0.68	-	-	-
Вертикальные электроды размещены по контуру								
1	-	0.45	0.40	0.34	0.27	0.22	0.20	0.15
2	-	0.55	0.48	0.40	0.32	0.29	0.27	0.23
3	-	0.70	0.64	0.56	0.45	0.39	0.36	0.33

Пример 2.6. Произвести расчет заземления электроустановки при следующих исходных данных:

вид грунта – супесь с $\rho=200$ Ом;

тип заземлителя – стержневой из уголков с размерами полок

$b \times b = 40 \times 40$ мм;

длина заземлителя – $l=5.0$ м;

расстояние между заземлителями – 3l;

способ размещения заземлителей – в ряд.

Решение:

1. Определяем расчетное сопротивление одиночного заземлителя по формуле (2.36):

$$R_{\text{гн}} = 0.366 \frac{200}{5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0.038} + 0.5 \ln \frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5} \right) = 98.44 \text{ Ом},$$

где $l=5$ м;

$d=0.95 \cdot b=0.95 \cdot 40=38$ мм=0.038 м;

$h=0.5+0.5 \cdot 5=3.0$ м.

2. Находим требуемое количество вертикальных стержней в проектируемом заземлении по формуле (2.37):

$$n_{\text{сп}} = \frac{98.44}{4.0} = 24.6 \text{ шт.} \approx 25 \text{ шт.}, \text{ где } R_x = 4.0 \text{ Ом.}$$

3. Определяем фактическое количество вертикальных стержней по формуле (2.38):

$$n_{\phi} = \frac{98.44}{0.76 \cdot 4.0} = 32.38 \approx 32 \text{ шт.},$$

где $\eta_c = 0.76$, принятый по табл. 2.17 при $n=25(20)$ и $a/l=3.0$.

4. Определяем суммарное сопротивление заземлителя по формуле (2.39):

$$R_3 = \frac{98.44}{32 \cdot 0.74} = 4.16 \text{ Ом},$$

где $\eta_{\phi} = 0.74$ – коэффициент, взятый из табл. 2.17 с учетом экстраполяции.

5. По формуле (2.40 б) определяем длину соединительной полосы для электродов, забитых в ряд:

$$l_n = 1.05 \cdot (32 - 1) \cdot 3.5 = 488.25 \text{ м.}$$

6. По формуле (2.41) определяем сопротивление растеканию электрического тока соединительной полосы:

$$R_{\text{рас}} = 0.366 \cdot \frac{200}{488.25} \cdot \ln \frac{2 \cdot 488.25^2}{0.03 \cdot 0.5} \approx 2.6 \text{ Ом?}$$

где $b=0.03$ м;

$h_n=0.5$ м.

В результате $R_{\text{рас}} < R_g = 4$ Ом и расчет можно было бы прекратить.

7. Рассчитаем общее сопротивление грунтового заземлителя, состоящего из стержневых электродов и соединительной полосы по формуле (2.42):

$$R_{\text{общ}} = \frac{98.44 \cdot 2.6}{98.44 \cdot 0.68 + 2.6 \cdot 0.74 \cdot 32} = 1.99 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом?}$$

где $\eta_{\text{но}} = 0.68$ – коэффициент использования горизонтальной соединительной полосы при $a/l=3.0$ и $n_{\phi}=20$ (32) шт.

Вывод: в результате расчетов установлено, что сопротивление контура заземления $R_{\text{общ}} < R_g = 4$ Ом согласно ПУЭ. Расчетная схема заземления приведена на рис. 2.11.

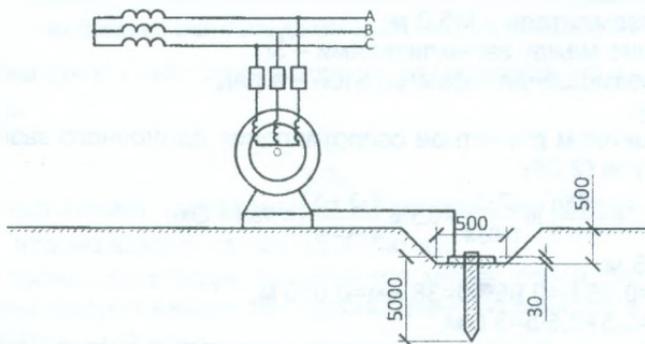


Рисунок 2.11 – Расчетная схема заземления электроустановки

Исходные данные для других вариантов решения задачи приведены в табл. 2.19 (по первой цифре шифра зачетной книжки).

Таблица 2.19 – Таблица вариантов

Наименование параметров	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вид грунта	Глина	Сугли- нок	Супесь	Песок	Черно- зем	Торф	Глина	Торф	Сугли- нок	Супесь
Удельное сопротивление грунта, Ом	$0.6 \cdot 10^2$	$1.0 \cdot 10^2$	$2.0 \cdot 10^2$	$6.0 \cdot 10^2$	$2.0 \cdot 10^2$	$0.2 \cdot 10^2$	$0.6 \cdot 10^2$	$0.2 \cdot 10^2$	$1.0 \cdot 10^2$	$2.0 \cdot 10^2$
Тип заземлителя	стержне- вой из труб	стержне- вой из труб	стержне- вой из уголков	стержне- вой из уголков	стержне- вой из труб	стержне- вой из труб	стержне- вой из уголков	стержне- вой из уголков	стержне- вой из труб	стержне- вой из труб
Диаметр труб или размер полок уголка, мм	42	38	40×40	50×50	50	50	40×40	50×50	42	38
Длина заземлителя, l, м.	3.5	4.0	5.0	7.0	5.0	3.0	4.0	4.0	5.0	6.0
Расстояние между заземлителями, а	2×l	3×l	3×l	l	l	2×l	3×l	3×l	2×l	2×l
Способ размещения заземлителей	по контур	по контур	в ряд	по контур	в ряд	в ряд	в ряд	по контур	в ряд	по контур

2.4.2. Расчёт защитного зануления электроустановок

Защитное зануление представляет собой преднамеренное электрическое соединение нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением (ГОСТ 12.1.009), а нулевой защитный проводник – это проводник, соединяющий зануляемые части с глухо заземленной нейтральной точкой обмотки источника тока и её эквивалентом (рис. 2.12).

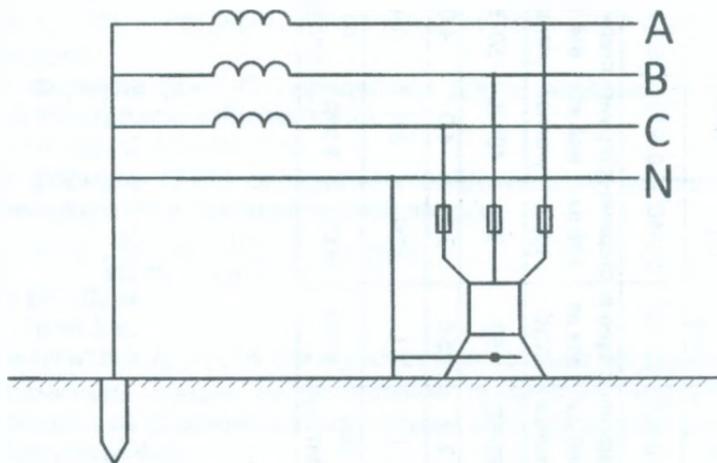


Рисунок 2.12 – Схема защитного зануления оборудования

Этот метод защиты используют в четырехпроводных трехфазных сетях с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В, чаще в сетях 380/220 В и 220/127 В. Это связано с тем, что сила тока замыкания на землю в таких сетях велика и даже при нормативном значении сопротивления заземления при пробое фазы на корпус оборудования через тело человека может проходить ток значительной величины.

Для снижения опасности поражения электрическим током в случае обрыва нулевого провода и замыкания фазы на корпус за местом обрыва необходимо повторно заземлять нулевой провод, иначе присоединенные после обрыва к нулевому проводу корпуса электроустановок окажутся под фазным напряжением.

Занулению подлежат также те металлические нетоковедущие части электрооборудования, что и заземлению (корпуса ЭУ, трансформаторов, аппаратов, приводы электрических машин, каркасы распределительных щитов, светильников, оболочки кабелей и т.п.). В сетях с занулением корпус приемника нельзя заземлять, не присоединив его к нулевому защитному проводу.

Одновременно зануление и заземление одного и того же корпуса не только не опасно, а напротив, улучшает условия безопасности, так как создаёт дополнительное заземление нулевого защитного провода.

Зануление должно быть использовано в обязательном порядке в следующих случаях:

- во всех ЭУ ~ тока $V > 380В$ и ЭУ – тока $V > 400В$;
- в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных помещениях и в наружных установках при V переменного тока $> 42В$ и V – тока $> 110В$;
- при любом напряжении переменного тока во взрывоопасных установках.

Однако зануление, как, впрочем, и заземление, не защищает человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении к токоведущим частям. Поэтому, помимо зануления и других защитных мер возникает необходимость использования защитного отключения и выравнивания потенциалов.

Защитное отключение представляет собой быстродействующую защиту ($0.1+0.2с$), обеспечивающую автоматическое отключение ЭУ при возникновении в ней опасности поражения человека током, осуществляется с помощью защитно-отключающих устройств, срабатывающих при появлении аварийного сигнала.

Выравнивание потенциалов – это метод снижения напряжения прикосновения и шага между точками электрической цепи, к которым возможно одновременное прикосновение или на которых одновременно может стоять человек, осуществляется с помощью контурного заземления или укладки стальных полос в виде сетки по всей площадке с электрооборудованием.

Защитное отключение может служить дополнением к системам защитного заземления и зануления, а также единственным и основным средством защиты.

Известны так же способы защиты с особой и повышенной опасностью путем электрического разделения сети, изоляции токоведущих частей и др.

Расчет защитного зануления ведем в следующем порядке:

1. Проверяем условие обеспечения отключающей способности зануления:

$$I_{кз} \geq 3 \cdot I_{нз\text{ авт}}; I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_n} \quad (2.43)$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение, В;

Z_T – сопротивление трансформатора, Ом;

Z_n - сопротивление петли фаза-нуль, Ом.

2. Вычисляем значение Z_n :

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (X_{\phi} + X_n + X_n)^2}, \quad (2.44)$$

где $R_{\phi} = r_{\phi} \cdot l_{\phi}$ и $R_n = r_n \cdot l_n$ – соответственно активные сопротивления фазного и нулевого проводников, Ом;

r_{ϕ} и r_n - удельные активные сопротивления фазного и нулевого проводников, Ом/м;

l_{ϕ} и l_n - длины фазного и нулевого проводников, м;

X_ϕ, X_n, X_n – индуктивные сопротивления фазного, нулевого проводников и петли фаза-нуль; значения X_ϕ и X_n для медных и алюминиевых проводников малы, т.к. $X_\phi \approx X_n = 0.0156$ Ом/км, и, как правило, ими пренебрегают;

r_ϕ и r_n – активные удельные сопротивления проводников значительно больше (для меди $\rho=0.018$, для алюминия $\rho=0,028$ Ом/м).

$$X_n = x_n \cdot l_n, \quad (2.45)$$

где $x_n = 0.60 \frac{M}{\text{км}} \approx \text{const}$;

l_n – длина петли фаза-нуль, км.

Значения r_ϕ, r_n, X_ϕ и X_n для стальных проводников приведены в табл. 2.20.

Таблица 2.20 – Активные r и индуктивные x сопротивления стальных проводников при переменном токе (50 Гц) и плотности тока i

Размер и диаметр, мм	Площадь сечения, мм ²	Активные r / индуктивные x сопротивления (Ом/км) при плотности тока i (А/мм ²)			
		0.5	1.0	1.5	2.0
Полоса прямоугольного сечения					
20×4	80	5.24/3.14	4.2/2.52	3.48/2.09	2.97/1.78
30×4	120	3.66/2.2	2.91/2.75	2.38/1.43	2.04/1.22
40×4	160	2.8/1.68	2.24/1.34	1.83/1.08	1.54/0.92
50×4	200	1.77/1.06	1.34/0.8	1.08/0.65	-
60×4	240	3.83/2.03	2.56/1.54	2.08/1.25	-
30×5	150	2.1/1.33	1.51/0.89	1.15/0.7	-
50×5	250	2.02/1.33	1.51/0.89	1.15/0.7	-
Проводник круглого сечения					
5	19.63	17/0.2	14.4/8.65	12.4/7.45	10.7
6	28.27	13.7/8.2	11.2/6.7	9.4/5.65	8.48
8	50.27	9.6/5.75	7.5/4.5	6.4/3.84	5.3/2.2
10	78.54	7.2/4.32	5.4/3.24	4.2/2.52	-
12	113.1	5.6/3.36	4/2.4	-	-
14	150.9	4.55/2.73	3.2/1.92	-	-
16	201.1	3.72/2.23	2.7/1.6	-	-

3. Определяем значение Z_T , которое берется из табл. 2.21.

Таблица 2.21 – Приближенные расчетные полные сопротивления Z_T масляных трансформаторов, Ом

Мощность трансформатора, кВа	Z_T , при схеме соединения		Мощность трансформатора, кВа	Z_T , при схеме соединения	
	Звездой λ	Треугольником Δ		Звездой λ	Треугольником Δ
25	3.11	0.906	250	0.312	0.09
40	1.949	0.562	400	0.195	0.056
63	1.237	0.36	630	0.129	0.042
160	0.487	0.141	1000	0.081	0.027

Примечание. Номинальное напряжение обмоток $6 \div 10$ кВ

4. По справочным данным находим основные технические характеристики электродвигателей N , $\cos \alpha$, $I_{\text{зл.де}}^{\text{пуск}} / I_H$ (табл. 2.22).

5. Определяем номинальный ток электродвигателя:

$$I_{\text{зл.де}}^H = \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \alpha}, \quad (2.46)$$

где P – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

U_H – номинальное напряжение, В;

$\cos \alpha$ – коэффициент мощности.

Таблица 2.22 – Закрытые обдуваемые двигатели единой серии 4А (основное исполнение)

Тип	Мощность, кВт	$\cos \alpha$	$\frac{I_{\text{зл.де}}^{\text{пуск}}}{I_H}$	Тип	Мощность, кВт	$\cos \alpha$	$\frac{I_{\text{зл.де}}^{\text{пуск}}}{I_H}$
4A71B2	1.1	0.87	5.5	4A132M2	10	0.9	7.5
4A80A2	1.5	0.85	6.5	4A1602	15	0.91	7.5
4A80B2	2.2	0.87	6.5	4A160M2	18.5	0.92	7.5
4A90L2	3	0.88	6.5	4A180S2	22	0.91	7.5
4A1002	4	0.89	6.5	4A200M2	30	0.9	7.5
4A100L2	5.5	0.89	7.5	4A220L2	37	0.89	7.5
4A112M2	7.5	0.89	7.5	4A225M2	45	0.9	7.5

Примечание: номинальное напряжение двигателя $U=380В$

6. Рассчитываем пусковой ток двигателя:

$$I_{\text{зл.де}}^{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{зл.де}}^{\text{пуск}}}{I_H} \cdot I_{\text{зл.де}}^H, \quad (2.47)$$

7. Определяем номинальный ток плавкой вставки

$$I_{\text{плавк.}}^H = \frac{I_{\text{зл.де}}^{\text{пуск}}}{\alpha}, \quad (2.48)$$

где α – коэффициент режима работы: принимается для двигателей с частыми включениями, например, двигателей для кранов $\alpha = 1,6-1,8$, для двигателей с редкими пусками, например, конвейеров, вентиляторов $\alpha = 2-2,5$.

8. Определяем ожидаемое значение тока короткого замыкания $I_{\text{кз}} \geq 3 \cdot I_{\text{плавк.}}^H$ (2.43), а по $I_{\text{плавк.}}^H$ по табл. 2.23 подбираем тип стандартного предохранителя.

Так как ток $I_{\text{кз}}$ более чем в три раза превышает номинальный ток плавкой вставки, то при замыкании на корпус плавкая вставка перегорит за 5-7 с и отключит поврежденную фазу.

Таблица 2.23 – Значения $I_{\text{плавк.}}^H$ стандартных предохранителей для сетей напряжением $V=220$ и $V=380В$

Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки $I_{\text{плавк.}}^H$, А	Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки $I_{\text{плавк.}}^H$, А
НПИ 15	6; 10; 15	ПН 2-400	200;250;300;350;400
НМ 60М	20;25;35;45;60;	ПН 2-600	300;400;500;600
ПН 2-100	30;40;50;60;60;80;100	ПН 2-1000	500;600;750;800;1000
ПН 2-250	80;100;120;150;200;250		

Пример 2.7. Произвести расчет зануления электроустановки при следующих исходных данных:

ЭУ питается от трансформатора мощностью 630 кВА;

Схема соединения обмоток трансформатора - Δ ;

Электродвигатель ЭУ: серии 4А, $u = 380$ В, $n = 3000$ об/мин.; тип - 4А 132М2;

Характеристика нулевого провода : материал – сталь, сечение-полоса 4×40 мм, площадь 160 мм^2 , длина -50 м;

Характеристика фазного провода: материал – сталь, сечение – круг $\varnothing 8$ мм, площадь – 50.27 мм^2 , длина – 100 м.

Решение.

1. По формуле (2.46) определяем номинальный ток электродвигателя

$$I_{\text{н.дв.}}^{\text{н}} = \frac{10 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.9} = 17.1 \text{ А,}$$

где $P = 10$ кВт, $\cos \alpha = 0.9$ согласно табл. 2.22, а $\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}} = 7.5$.

2. По формуле (2.47) определяем пусковой ток электродвигателя

$$I_{\text{н.дв.}}^{\text{пуск}} = 7.5 \cdot 17.1 = 128.2 \text{ А.}$$

3. По формуле (2.48) определяем ток плавкой вставки

$$I_{\text{плавк.}}^{\text{н}} = \frac{128.2}{2} = 64.1 \text{ А, где } \alpha = 2.$$

4. По формуле (2.43) определяем ожидаемое значение тока короткого замыкания

$$I_{\text{кз}} \geq 3 \cdot I_{\text{плавк.}}^{\text{н}} = 3 \cdot 64.1 = 192.3 \text{ А.}$$

5. Рассчитываем плотность тока

$$I = J_{\text{кз}} / S = 192.3 / 160 = 1.6 \text{ А/мм}^2.$$

6. По табл. 2.20 при $I = 1.5 \text{ А/мм}^2$, $s = 160 \text{ мм}^2$ находим удельные активную и индуктивную составляющие нулевого и фазного проводов:

$$r_{\text{н}} / x_{\text{н}} = 1.83 / 1.08 \text{ Ом/км - нулевого провода}$$

$$r_{\text{ф}} / x_{\text{ф}} = 6.4 / 3.84 \text{ Ом/км, - фазного провода}$$

7. Определяем полные активные и индуктивные составляющие фазного и нулевого проводов, а также петли фаза – ноль

$$R_{\text{ф}} = 6.4 \cdot 0.1 = 0.64 \text{ Ом}; R_{\text{н}} = 1.81 \cdot 0.05 = 0.09 \text{ Ом}; X_{\text{ф}} = 3.84 \cdot 0.1 = 0.384 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{н}} = 1.08 \cdot 0.05 = 0.054 \text{ Ом}; X_{\text{л}} = 0.6 \cdot (0.1 + 0.05) = 0.09 \text{ Ом.}$$

8. По формуле (2.44) определяем полное сопротивление петли фаза – ноль

$$Z_{\text{н}} = \sqrt{(0.64 + 0.09)^2 + (0.384 + 0.09 + 0.054)^2} = 0.778 \text{ Ом.}$$

9. По формуле (2.43) определяем ток короткого замыкания

$$I_{\text{кз}} = \frac{380}{\frac{0.129}{3} + 0.778} = 462 \text{ А,}$$

где $Z_1 = 0.129 \text{ Ом}$ согласно табл. 2.21.

10. Определяем пусковой ток электродвигателя по формуле (2.47):

$$I_{здв}^{пуск} = 7.5 \cdot 17.1 = 128.2 \text{ А.}$$

11. Определяем номинальный ток плавкой вставки по формуле (2.48):

$$I_{ном}^H = \frac{128.2}{2} = 64.1$$

где $\alpha = 2$.

12. Проверяем условия надежного срабатывания защиты по условию (2.43)

$$I_{ср} = 462 > 3 \cdot I_{ном}^H = 3 \cdot 64.1 = 192.3 \text{ А.}$$

13. По номинальному току $I_{ном}^H = 64.1 \text{ А}$ в табл. 2.23 принимаем вставку серии ПН 2-100 с номинальным током 80А при напряжении в сети 380В с временем срабатывания 5-7 с.

Исходные данные для других вариантов решения задачи приведены в табл. 2.24 (по последней цифре шифра зачетной книжки).

Таблица 2.24 – Таблица вариантов задач

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тип электродвигателя	4A7 1B2	4A8 0A2	4A8 0B2	4A9 0L2	4A1 0O2	4A1 32M2	4A1 6O2	4A1 8O\$2	4A2 0OМ2	4A2 2OЛ2
Характеристика фазного проводника: материал, длина, м; диаметр, мм	Мед- ный 50;5	Мед- ный 50;5	Мед- ный 50;5	Мед- ный 50;5	Мед- ный 50;5	Алю- миние- вый 50;14	Алю- миние- вый 150;16	Алю- миние- вый 200;12	Алю- миние- вый 250;10	Алю- миние- вый 300;8
Сечение стального нулевого проводника, мм; длина, а, $l_{н}$, м	20×4; 55	30×4; 100	40×4; 105	50×4; 155	60×4; 205	30×5; 55	50×5; 100	40×4; 250	50×4; 300	60×4; 350
Схема соединения обмоток трансформатора	Звезда, Δ					Треугольник, Δ				
Мощность трансформатора, кВА	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	160

2.4.3. Расчет возможности поражения человека электрическим током

Современное производство немыслимо без широкого применения электрической энергии. Повышая производительность труда и культуру производства, электрический ток в то же время представляет большую опасность для жизни и здоровья людей. В отличие от других источников опасности электрический ток невозможно обнаружить дистанционно без приборов. Поэтому будущие инженеры и другие категории работников должны владеть умением оценивать потенциальную опасность электропоражения, обоснованно выбирать и рассчитывать способы и средства электробезопасности.

Оценка опасности поражения заключается в расчете максимально возможного тока, проходящего через тело работающего $I_{в}$, или напряжения проникновения $U_{пр}$ и сравнении этих величин с предельно допустимыми значениями в зависимости от продолжительности воздействия

этого тока или напряжения прикосновения. Оценка должна производиться как в нормальном режиме электроустановки, так и в аварийном. Под аварийным режимом понимается режим работы неисправной установки, при котором могут возникнуть опасные ситуации, приводящие к электротравмированию людей, взаимодействующих с установкой.

Фактические значения I_v и U_{np} могут быть определены расчетным путем или экспериментально. Расчетный путь при известной схеме включения человека в электрическую сеть может быть выполнен любым инженером-электриком, остальные – могут воспользоваться расчетными зависимостями для определения тока I_v и формулами для расчета тока, проходящего через тело человека при прикосновении к проводнику в двух-, трех- и четырехпроводных сетях, приведенных в [10].

При расчете I_v необходимо знать сопротивление в цепи тела человека R_v , которое включает в себя сумму сопротивлений тела человека R_o , обуви $R_{об}$ и основания (пола или грунта) $R_{ос}$, на котором стоит человек, т.е.

$$R_v = R_o + R_{об} + R_{ос}. \quad (2.49)$$

Сопротивление тела человека R_o при напряжении прикосновения $U_{np} \geq 50 В$ принимается равным 1 кОм и при $U_{np} < 50 В$ - 6 кОм.

Сопротивление основания грунта $R_{ос} = 2.2\rho$, если ступни ног расположены рядом; $R_{ос} = 1.5\rho$, если ступни ног отстоят одна от другой на расстоянии шага, где ρ - удельное сопротивление грунта, Ом м.

Электрическое сопротивление основания $R_{ос}$, если человек стоит на грунте, зависит от вида и влажности грунта и приводится в табл. 2.25; если человек стоит на полу – от материала и степени влажности пола (табл. 2.26); сопротивление $R_{ос}$ зависит от материала подошвы, влажности помещения и приложенного напряжения (табл. 2.27).

Таблица 2.25 – Сопротивление опорной поверхности ног человека растеканию тока в зависимости от вида грунта

Грунт	Сопротивление опорности, Ом	
	грунт	
	сухой	влажный
Асфальт, гравий, щебень	7200	3800
Вода на поверхности	-	30
Глина	200	40
Каменистый грунт	8500	5000
Снег, лед	$2 \cdot 10^5$	300
Мерзлый грунт	10^4	4000
Песок	8000	1600
Садовая земля	190	90
Скалистый грунт	$3 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^4$
Суглинок	500	125
Супесок	1250	500
Торф	-	50
Чернозем	160	50

Таблица 2.26 – Сопротивление опорных поверхностей ног человека, стоящего на полу

Материал пола	Сопротивление опорной поверхности ног, кОм		
	пол сухой	пол влажный	пол мокрый
Асфальт	2000	10	0.8
Бетон	200	0.9	0.1
Дерево	30	3	0.3
Земля	20	0.8	0.3
Кирпич	10	1.5	0.8
Ксилолит	100	10	0.5
Ленолиум	1500	50	4
Металл	0.01	0	0
Метлахская плитка	25	2	0.3

Таблица 2.27 – Сопротивление обуви протеканию тока

Материал подошвы	Сопротивление обуви, кОм, при напряжении сети, В			
	до 65	127	220	выше 220
Помещение сухое				
Кожа	200	150	100	50
Кожемит	150	100	50	25
Резина	500	500	500	500
Помещение сырое и влажное				
Кожа	1.6	0.8	0.5	0.2
Кожемит	2	1.0	0.7	0.5
Резина	2	1.8	1.5	1.0

При высокой влажности обуви и грунта $R_{об}$ и $R_{гр}$ принимают равными нулю, а сопротивление в цепи человека $R_{ч}$ - равным сопротивлению тела человека $R_{т}$.

Таким образом, для определения величины тока $I_{ч}$, проходящего через тело человека в случае прикосновения его к одной и фаз в двух-, трех- и четырехпроводных сетях, можно использовать расчетный метод, используя схемы включения человека в электрическую сеть и формулы для расчета токов согласно [10]. Путем сравнения фактических значений $I_{ч}$ и U_{np} с нормированными значениями предельно допустимых напряжений и токов можно делать выводы о возможности поражения человека электрическим током и выборе методов и средств защиты от электрического тока.

В табл. 2.28, 2.29 представлены предельно допустимые напряжения U_{np} и $I_{ч}$, проходящие через человека при нормальном (неаварийном) и аварийном режимах работы соответственно.

Таблица 2.28 – Наибольшие допустимые значения напряжения и тока при нормальном режиме работы

Род и частота тока	U_{np} , В	$I_{ч}$, мА
Переменный, 50 Гц	2	0.3
Переменный, 400 Гц	3	0.4
Постоянный	8	1.0

Примечание: настоящие нормы соответствуют продолжительности воздействия тока на человека не более 10 мин. в сутки. Для лиц, выполняющих работу в условиях высокой температуры (более 25 С°) и влажности (относительная влажность более 75%), приведенные нормы должны быть уменьшены в три раза.

Таблица 2.29 – Наибольшие допустимые значения напряжения и тока в аварийном режиме работы

Род и частота токов	Нормируемая величина	Продолжительность воздействия, с											
		0.01-0.08	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	более 1.0
Переменный 50 Гц	$U_{пр}$, В	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	42
	$I_{ч}$, мА	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	6
Переменный 400 Гц	$U_{пр}$, В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	42
	$I_{ч}$, мА	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	8
Постоянный	$U_{пр}$, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	210	50
	$I_{ч}$, мА	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	210	15

Для оценки опасности электропоражения может быть определена вероятность возникновения электротравмы в конкретных производственных условиях.

Для обеспечения электробезопасности могут применяться следующие технические методы защиты: защитное заземление, зануление, защитное отключение, электрическое разделение сетей с помощью разделительных трансформаторов, малое (низкое) напряжение и др., но это уже другая задача.

Пример 2.8. Произвести оценку опасности электропоражения человека, оказавшегося в ситуации, указанной на рис. 2.13.

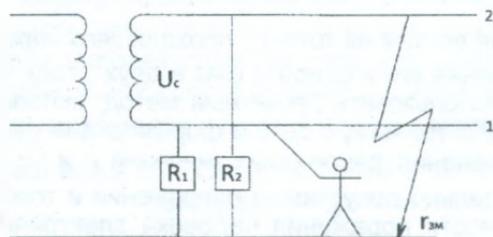


Рисунок 2.13 – Схема включения человека в двухпроводную сеть

$$R_1 = R_2 = 200 \text{ кОм}; r_{\text{зм}} = 100 \text{ Ом};$$

$$U_c = 220 \text{ В}.$$

Человек стоит на влажном песчаном грунте в обуви с кожаной подошвой.

Решение. Чтобы оценить опасность прикосновения человека к токоведущим частям, необходимо знать ток, протекающий через человека $I_{ч}$, или напряжение прикосновения $U_{пр}$, действующее на него, и сравнить эти значения с допустимыми.

1. Рассчитаем или установим по [10] значение тока $I_{ч}$

$$I_{ч} = \frac{U_c \cdot R_1}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_{\text{ч}} + R_2 \cdot R_{\text{ч}}}$$

где $U_c = 220 \text{ В}$ - напряжение сети;

R_1 и $R_2 = 200 \text{ кОм}$ – сопротивление изоляции проводов сети по отношению к земле;

R_v - сопротивление в цепи тела человека, определяем по формуле (2.49)

$$R_v = R_o + R_{ог} + R_{ос},$$

где $R_o = 1$ КОМ – сопротивление тела человека;

$R_{ог} = 0.5$ КОМ – сопротивление обуви (табл. 2.27);

$R_{ос} = 1.6$ КОМ – сопротивление основания (табл. 2.25);

$$R_v = 1 + 0.5 + 1.6 = 3.1 \text{ КОМ};$$

$r_{зм} = 100$ Ом – сопротивление замыкания провода на землю;

R_3 - эквивалентное сопротивление при замыкании провода на землю

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot r_{зм}}{R_1 + r_{зм}} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 100}{200 \cdot 10^3 + 100} \approx 100 \text{ Ом}.$$

$$\text{Тогда } I_v = \frac{220 \cdot 200 \cdot 10^3}{200 \cdot 10^3 \cdot 100 + 200 \cdot 10^3 \cdot 3.1 \cdot 10^3 + 100 \cdot 3.1 \cdot 10^3} = 0.07 \text{ А}.$$

2. Предельно допустимое значение тока, проходящего через человека при $t \geq 1$, с равно 6 мА (табл. 2.29). Значит, прикосновение человека к проводу сети в данном случае опасно.

Пример 2.9. Оценить опасность прикосновения человека к исправной фазе трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью, находящейся в аварийном режиме работы (одна из фаз сети замыкает на землю) при следующих условиях: напряжение сети $U_c = 220 / 127$ В. Схема прикосновения человека к сети показана на рис. 2.14.

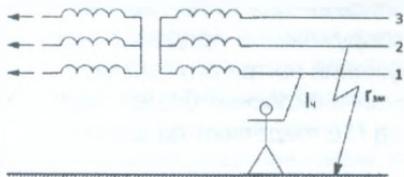


Рисунок 2.14 – Схема прикосновения человека к трехфазной сети

Решение. 1. Представим указанные условия на схеме. $Z_1 = Z_2 = Z_3 \geq 500$ Ом
 $r_{зм} = 100$ Ом.

2. Оценить опасность прикосновения в данном случае можно исходя из напряжения прикосновения $U_{пр}$, которое равно линейному напряжению (так как сеть изолирована от земли $r_{зм} \ll Z$), т.е. $U_{пр} = U_s = 220$ В.

3. Так как это значительно больше допустимого значения 42В (согласно табл. 2.29), то прикосновение в данных условиях весьма опасно.

2.4.4. Молниезащита зданий и сооружений

Возведение довольно высоких зданий и сооружений на открытой местности из облегченных и сгораемых материалов предопределяет вероятность прямого удара молнии. При прямом ударе молнии сила тока может достигать 200 кА, а напряжение – 150 МВ, при этом длина искры молнии измеряется сотнями и тысячами метров, а температура достигает 10000°С,

что может сжечь все живое. Поэтому применяют систему молниезащиты, представляющую собой комплекс защитных мер от разряда атмосферного статического электричества, обеспечивающих безопасность людей, сохранность зданий и сооружений, оборудования и материалов от загораний, взрывов и обрушений.

Интенсивность грозовой деятельности характеризуется средним числом грозовых часов $Ч$ или числом грозовых дней в году m . При $m=30$ дней продолжительность грозы T считают 1.5 часа, а при $m>30$ дней – $T=2$ часа. Применяют и более обобщенный показатель – среднее число ударов молнии в год на 1 км^2 поверхности земли n , зависящий от интенсивности грозовой деятельности $Ч$ и определяемый по табл. 2.30.

Таблица 2.30 – Зависимость числа ударов молнии на 1 км^2 поверхности земли N от интенсивности грозовой деятельности $Ч$

$Ч$, час/год	10+20	20+40	40+60	60+80	80+100
N , ударов/год	1	3	6	9	12

Используя значение $Ч$, определяют вероятное число ударов молнии в год N в здание или сооружение, не имеющее молниезащиты

$$N = (B + 6 \cdot h) \cdot (L + 6 \cdot h) \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (2.50)$$

где B, L, h – соответственно ширина, длина и наибольшая высота здания или сооружения, м;

n – интенсивность грозовой деятельности, уд./год.

Если здание имеет сложную конфигурацию, то при расчете за B и L принимают ширину и длину прямоугольника, описываемого план здания. Считают, что молнии попадают в здание или сооружение в пределах территории, контур которой удален от контура сооружений на три его высоты.

Для дымовых труб котельных, водонапорных и силосных башен, мачт, деревьев ожидаемое число ударов молнии в год N определяют по формуле:

$$N = 9 \cdot 10^{-6} \cdot h^2. \quad (2.51)$$

В незащищенную от молнии линию электропередач продолжительностью L (км) со средней высотой подвеса провода h_{cp} (м) число ударов молнии в год составит при допущении, что опасная зона распространяется по оси линии в обе стороны на $3 \cdot h_{cp}$:

$$N = 0.42 \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot h_{cp} \cdot Ч. \quad (2.52)$$

Различают два рода воздействия молний: первичное, связанное с прямым ударом, и вторичное, вызванное электромагнитной и электростатической индукцией и заносом высоких потенциалов через металлические коммуникации и сооружения при разряде облака. В результате этих явлений могут возникать пожары, взрывы, разрушения конструкций, поражения людей, перенапряжения на проводах электрической сети.

В зависимости от вероятности вызванного молнией пожара или взрыва, исходя из масштаба возможных разрушений и ущерба, установлены три категории зданий и сооружений.

К I категории относят здания и сооружения либо их части, в которых имеются взрывоопасные зоны классов В-I, В-II согласно ПУЭ [11]. В них хранятся или содержатся постоянно либо появляются во время производственного процесса смеси газов, паров или пыли горючих веществ с воздухом или другими окислителями, способные взрываться от электрической искры.

Ко II категории относят здания или сооружения (или их части), в которых имеются взрывоопасные зоны В-Iа, В-Iб, В-IIа. В таких сооружениях опасные смеси появляются лишь при неисправностях в технологическом процессе. К этой же категории принадлежат наружные технологические установки и открытые склады, содержащие взрывоопасные газы и пары, горючие и ЛВЖ (газгольдеры, цистерны и резервуары, сливно-наливные эстакады и т.п.), относимые по ПУЭ [11] к взрывоопасным зонам класса В-I г.

В III категорию входят [12]:

1. Здания и сооружения со взрывоопасными зонами классов П-I, П-II и П-IIа согласно ПУЭ;
2. Открытые склады твердых горючих веществ и наружные технологические установки, в которых применяют и хранят горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 61°C, относимые по ПУЭ к классу П-III;
3. Здания и сооружения III, IV, V степени огнестойкости, в которых отсутствуют производства с зонами, относимыми по ПУЭ к пожаро и взрывоопасным;
4. Жилые и общественные здания, возвышающиеся на 25 м и более над средней высотой окружающих зданий в радиусе 400 м, а также отдельно стоящие здания высотой более 30 м, удаленные от других зданий на 400 м и более;
5. Общественные здания III-V степени огнестойкости следующего назначения: детские сады и ясли, школы и школы-интернаты, клубы, кинотеатры и т.п.;
6. Здания и сооружения, являющиеся памятниками истории и культуры;
7. Дымовые трубы предприятий в котельных, водонапорные и силосные башни, вышки различного назначения высотой более 15 м.

При выборе устройств молниезащиты по этим категориям учитывают важность объекта, его высоту, расположение среди других объектов, интенсивность грозовой деятельности и другие факторы.

Здания и сооружения I категории должны быть обязательно защищены от прямых ударов молнии, от электромагнитной и электрической индукции, от заноса высокого потенциала через подземные коммуникации на всей территории РБ. Молниеотводы предусматриваются с зонами защиты типа А.

Здания и сооружения II категории должны быть защищены от прямых ударов молний, вторичных ее воздействий и заноса высоких потенциалов по коммуникациям только в местностях со средней $Ч \geq 10$, а тип защиты молниеотводов зависит от показателя N: тип А берется при $N > 1$, тип Б – при $N \leq 1$.

Здания и сооружения III категории подлежат молниезащите в местностях с ≥ 20 часов в год, а тип зоны защиты молниеотводов зависит от степени огнестойкости здания. Например, зона типа Б требуется для зданий и сооружений I и II степени огнестойкости – при $0.01 < N \leq 2$, зона типа А – для зданий III-V степени огнестойкости при $N > 2$.

Все здания и сооружения III категории защищают от прямых ударов молнии и заноса высоких потенциалов через наземные металлические коммуникации. Наружные установки защищают только от прямых ударов молнии.

При устройстве молниезащиты соблюдают следующие условия: соответствие типа молниезащиты характеру производственного процесса в здании или сооружении, а также на всем объекте, возможность типизации конструктивных элементов молниезащиты, надежность действия всех ее элементов и их «равнопрочность», большой срок службы (> 10 лет), возможность применения недорогостоящих материалов и использование конструктивных элементов здания и сооружения, наглядность монтажа, предупредительные и воспрещающие знаки или ограждения, доступ ко всем элементам при контроле, восстановлении или ремонте.

При выполнении молниезащиты зданий и сооружений всех категорий для обеспечения безопасности людей и животных заземлители (кроме углубленных) размещают в редко посещаемых местах (на газоне, кустарниках) и удалении более 5 м от основных проезжих и пешеходных дорог, располагают их под асфальтовыми покрытиями или устанавливают предупредительные плакаты, а токопроводы располагают в недоступных местах.

Для снижения опасности шаговых напряжений применяют углубленные и рассредоточенные заземлители в виде лучей и колец. При устройстве молниезащиты зданий и сооружений любой категории учитывают возможность экранирования их знаками защиты молниеотводов других близко расположенных зданий и сооружений. Максимально используют естественные молниеотводы – вытяжные трубы, водонапорные башни, дымовые трубы, ЛЭП и другие возвышающиеся сооружения.

«Молниеотвод – устройство, воспринимающее удар молнии и отводящее её ток на землю»[12]. Молниеотвод состоит из молниеприемника (металлический стержень или трос), непосредственно воспринимающего удар молнии, токоотвода (спуска), соединяющего молниеприемник с заземлителем, и самого заземлителя, через который ток молнии стекает в землю. Вертикальную конструкцию (столб или мачту) или часть сооружения, предназначенную для закрепления молниеприемника и токоотвода, называют опорой молниеотвода.

Защитное действие молниеотвода основано на свойстве молнии поражать наиболее высокие и хорошо заземленные металлические сооружения. Кроме стержневых и тросовых, существуют антенные и сетчатые молниеотводы. Токоотводы выполняют из металлических стержней сечением не менее 100 мм^2 , а общее сопротивление заземления принимают не более 100 Ом , а его расчет выполняют так же, как и защитного заземления для электроустановок.

«Зона защиты молниеотвода – пространство, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с надежностью не ниже определенного значения. Наименьшей и постоянной надежностью обладает поверхность зоны защиты; в глубине зоны защиты надежность выше, чем на ее поверхности. Зона защиты типа А обладает надежностью 99.5% и выше, а типа Б - 95% и выше» [12].

По числу в общей зоне защиты различают одиночные, двойные и многократные молниеотводы, а также отдельно стоящие, изолированные и не изолированные от защищаемого здания.

Известны и широко применяются [12] одиночный, двойной и многократный стержневой молниеотводы, одиночный и двойной тросовый молниеотводы, а также другие модификации. Например, для защиты зданий из сборных железобетонных элементов в качестве молниеприемника можно использовать арматуру элементов покрытия, которую при монтаже сваривают с токоотводами к заземляющему устройству. Защиту от прямых ударов молнии металлических емкостей, резервуаров, трубчатых лесов осуществляют молниеприемниками, монтируемыми на самом объекте, либо отдельно стоящими молниеотводами.

Важно не только рассчитать заземляющее устройство, но и определить защищенное пространство, т.е. границы зоны, вероятность попадания молнии в которую, минуя молниеприемник, близка нулю.

Рассмотрим порядок проектирования и расчета одиночного стержневого молниеотвода. Зона его защиты при высоте $h \leq 150$ м представляет конус (рис. 2.15), вершина которого находится на высоте $h_0 < h$, основание образует круг радиусом R_x . Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защитного уровня сооружения h_x представляет собой круг радиусом R_x . Эти величины составят

- для зоны типа А:

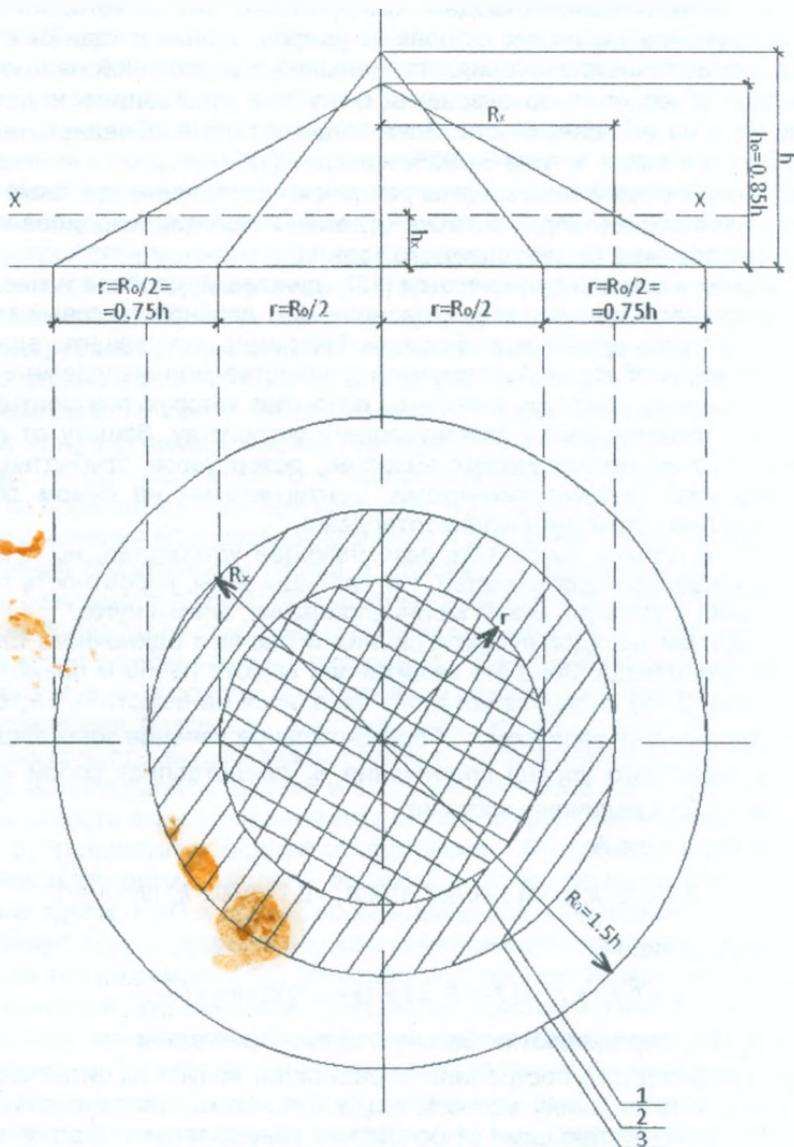
$$h_0 = 0.85 \cdot h; R_0 = (1.1 - 0.002 \cdot h) \cdot h; R_x = (1.1 - 0.002 \cdot h) \cdot \left(h - \frac{h_x}{0.85} \right); \quad (2.53)$$

- для зоны типа Б:

$$h_0 = 0.92 \cdot h; R_0 = 1.5 \cdot h; R_x = 1.5 \cdot (h - h_x / 0.92); h = \frac{R_x + 1.63 \cdot h_x}{1.5}; \quad (2.54)$$

где R_x и h_x определяют по закону подобия треугольников.

Для графического построения образующей конуса защиты необходимо: соединить вершину молниеотвода с точками, расположенными на уровне земли, отстающими от основания конуса защиты молниеотвода на расстоянии $r = 0.75 \cdot h$ в обе стороны от него; точку на молниеотводе, расположенную на высоте $0.85 \cdot h$, соединить с точками на уровне земли, отстающими от основания молниеотвода на расстоянии $R_0 = 1.5 \cdot h$ в обе стороны от него. Ломаные линии, образующие полученную фигуру, и будут определять границу зоны защиты в сечении по оси молниеотвода - пространство, ограниченное вращением полученной фигуры вокруг оси молниеотвода и плоскостью земли, которое защищено с достаточной степенью надежности от поражения молнией.



- 1 – граница зоны защиты на высоте h ; 2 – то же, на высоте h_x ;
3 – то же, на уровне земли

Рисунок 2.15 – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

Зону защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой $60 < h < 100$ м определяют аналогичным образом, с той лишь разницей, что основанием конуса является круг радиусом 90 м.

Зоны защиты типов А и Б для двойного и многократного стержневых, одиночного и двойного тросовых молниеотводов рассчитывают в соответствии с указаниями справочника по электробезопасности [12].

Пример 2.10. Рассчитать высоту отдельно стоящего стержневого молниеотвода для защиты от прямых ударов молнии здания склада лакокрасочных материалов (ЛКМ) предприятия.

Здание расположено в Брестской области, имеет размеры: $L = 27 \text{ м}$, $B = 18 \text{ м}$, $h = 6 \text{ м}$. При расчетах используем рекомендации и таблицы (как вспомогательный материал) СН 305-77. Расчеты ведем в следующем порядке.

Решение.

1. Определяем по классификации ПУЭ [11] класс взрыво- и пожароопасной зоны для склада ЛКМ. ЛКМ обычно изготавливаются на основе легковоспламеняющихся жидкостей, и склад является взрывоопасной зоной. Однако ЛКМ поступают на склад и хранятся в герметичной таре. Образование взрывоопасных смесей в здании склада возможно в случае негерметичности тары. Следовательно, склад ЛКМ по классификации ПУЭ относится к классу В-Ia.
2. Определяем требуемую категорию устройства защиты склада ЛКМ по воздействию атмосферного электричества. Из табл. 1 справочника по электробезопасности [12] следует, что склад относится ко II категории и должен быть защищен от всех четырех опасных факторов атмосферного электричества.

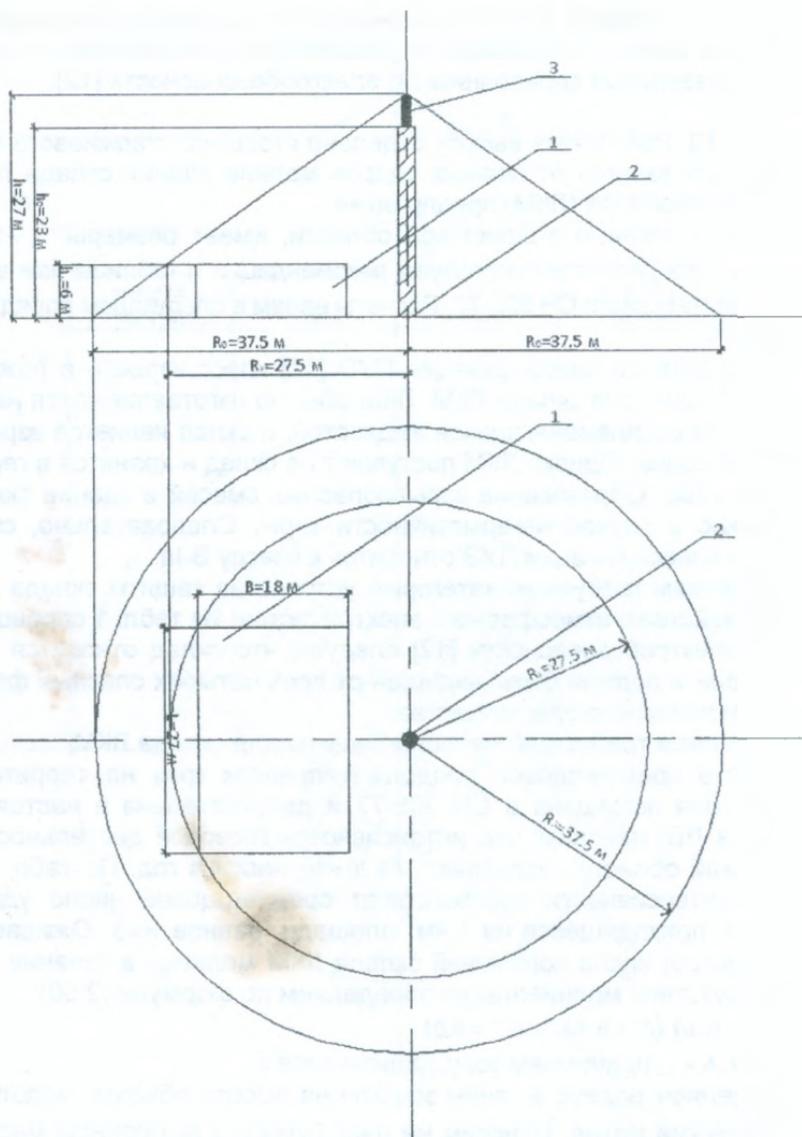
3. Определяем требуемый тип зоны защиты для склада ЛКМ.

По карте среднегодовой продолжительности гроз на территории СССР (она помещена в СН 305-77 и действительна в настоящее время в РБ) находим, что интенсивность грозовой деятельности в Брестской области составляет $\zeta = 20 + 40$ часов в год. По табл. 2.30 такой интенсивности соответствует среднегодовое число ударов молнии, приходящееся на 1 км^2 площади, равное $n = 3$. Ожидаемое (возможное) число поражений склада ЛКМ молнией в течение года при отсутствии молниеотвода определяем по формуле (2.50):

$$N = (18 + 6 \cdot 6) \cdot (27 + 6 \cdot 6) \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 0.01.$$

Так как $N < 1$, принимаем зону защиты типа Б.

4. Определяем радиус R_x зоны защиты на высоте объекта, используя графический метод. Наносим на лист бумаги в выбранном масштабе план склада ЛКМ (вид сверху) – рис. 2.16. Выбираем и наносим на схему точку установки молниеотвода (для объекта II категории расстояние между молниеотводом и защищаемым объектом не нормируется). Считая эту точку центром, описываем радиусом R_x такую окружность, чтобы защищаемый объект (склад ЛКМ) вписался в нее. Снимаем со схемы значение радиуса $R_x = 27.5 \text{ м}$.



- 1 – защищаемый объект;
 2 – место установки молниеотвода;
 3 – молниеотвод

Рисунок 2.16 – К расчету зоны защиты и высоты отдельно стоящего стержневого молниеотвода

5. Определяем геометрические размеры зоны защиты для склада ЛКМ типа Б по формуле (2.54):

$$h = \frac{R_x + 1.63 \cdot h_x}{1.5} = \frac{27.5 + 1.63 \cdot 6}{1.5} \approx 25 \text{ м}.$$

$$h_0 = 0.92 \cdot h = 0.92 \cdot 25 = 23 \text{ м}.$$

$$R_0 = 1.5 \cdot h = 1.5 \cdot 25 = 37.5 \text{ м}.$$

$$R_x = 1.5 \cdot \left(25 - \frac{6}{0.92} \right) = 27.7 \text{ м}.$$

6. Строим на схеме (рис. 2.16) зону защиты и проверяем вписываемость объекта здания склада ЛКМ в зону защиты по высоте.

2.4.5. Защита от электромагнитных полей

В настоящее время во всех отраслях промышленности, образования и науки, в быту широко используется электромагнитная энергия. По происхождению электромагнитное излучение (ЭМИ) и электромагнитный фон, создаваемый им, могут быть природными и техногенными.

К природным электромагнитным полям (ЭМП) относятся квазистатические электрические и магнитные поля Земли, радиоизлучение Солнца и галактик, атмосферные разряды (молнии).

Техногенные ЭМИ могут быть как производственными, так и бытовыми. Известно, что мировые энергоресурсы каждые 10 лет удваиваются, а доля ЭМП в электрэнергетике утраивается. Производственными источниками ЭМП в строительстве являются ЛЭП, печи, применяемые для индукционного нагрева металлов и полупроводников, электросварка, устройства диэлектрического нагрева, используемые для сварки синтетических материалов, прессования синтетических порошков и т.д. В производстве строительных материалов и изделий это могут быть установки электротермии, работающие на принципе индукционного нагрева материалов (изделий), электромагнитные камеры (тупиковые и проходные МР-313, МР-323, СТ-1), приборы для контроля качества ЖБИ, определения защитного слоя бетона, глубины залегания и расположения стержней арматуры, приборы неразрушающего контроля качества (магнитные толщиномеры ИЗС-3, ИЗС-7 и др., электромагнитные искатели арматуры ИА-4, ИА-15М и др.).

Мощными источниками ЭМП диапазона радиочастот являются телевизионные и радиолокационные станции, антенны радиосвязи, предающие радиочастоты всех частот, воздушные ЛЭП и подстанции, создающие поля частотой 50 Гц, превышающие в несколько раз уровни магнитного поля Земли.

В электротехнике ЭМП создают электроприборы, радио- и телеприемники, компьютеры, ЭВМ и др.

Дополняет ЭМИ бытовой электромагнитный фон, который обусловлен работой бытовых электроприборов (холодильников, телевизоров), микроволновых печей, радиотелефонов, компьютеров и т.д.

Биологическое действие ЭМИ зависит от частоты, интенсивности и длительности воздействия, электрического и магнитного составляющего поля. Поглощаемая энергия ЭМИ вызывает нагрев тканей, помутнение хрусталика и облучение глаз, оказывает неблагоприятное воздействие на центральную нервную систему, вызывает нарушения в действии сердечно-сосудистой системы, обмену веществ.

В производственных условиях на работающих оказывает воздействие ЭМИ широкого спектра. В зависимости от диапазона волн различают:

- ЭМИ радиочастот ($10^7 - 10^4$ м);
- инфракрасное излучение ($<10^{-4} - 7.5 \cdot 10^{-7}$ м);
- видимую область ($7.5 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-4}$ м);
- ультрафиолетовое излучение ($<4 \cdot 10^{-4} - 10^{-9}$ м);
- рентгеновское излучение ($<10^{-9}$ м).

Существует и электротехническая шкала источников ЭМИ:

- низкочастотные – НЧ (0 - 60) Гц;
- среднечастотные – СЧ (60 Гц – 10 кГц);
- высокочастотные – ВЧ (10 кГц – 300 МГц);
- сверхвысокочастотные – СВЧ (300 МГц – 300 ГГц).

По виду воздействия различают изолированное (от одного источника), сочетанное (от двух и более источников одного частотного диапазона), смешанное (от двух и более источников разных частотных диапазонов) и комбинированное (в случае одновременного действия какого-либо другого неблагоприятного фактора) ЭМИ.

По времени воздействия в общем случае для единичного источника ЭМИ можно выделить два основных варианта облучения: непрерывное стационарное и прерывистое.

Отношение облучаемого лица к источнику облучения ЭМИ может быть профессиональным, т.е. обусловленным выполнением производственных операций, и непрофессиональным.

В радиационной системе различают общее (воздействию ЭМИ подвергается все тело) и локальное (местное) облучение.

Влияние ЭМП на организм зависит от таких физических параметров, как длина волны, интенсивность облучения, режим облучения (непрерывный, прерывистый), а также от продолжительности воздействия на организм, сочетания воздействия с другими производственными факторами (повышенная температура воздуха, наличие рентгеновского излучения, повышенного уровня шума, вибрации и др.). Наиболее биологически активен диапазон СВЧ, менее – УВЧ, затем – ВЧ (длинные и средние волны), т.е. с уменьшением длины волны биологическая активность ЭМИ всегда возрастает. ЭМИ оказывает воздействие на физико-химические процессы в биосистемах, создает напряжение на субмолекулярном и молекулярном уровнях. Установлено, что действие радиотелефона на область головы пользователя способствует развитию умеренно выраженной брадикардии и ряда других болезней.

Нормируемыми параметрами переменного магнитного поля являются напряженность электрического (Э) и магнитного (Н) полей.

Напряженность E электрического поля в данной точке представляет собой физическую величину, численно равную силе, действующей на единичный положительный заряд, помещенный в этом поле, измеряется в $B/м$ или $H/к$. Электрическое поле, в котором напряженность одинакова во всех точках, называется однородным.

Магнитная индукция (плотность магнитного потока) H – это физическая величина, численно равная силе, с которой магнитное поле действует на проводник единичной длины, расположенный перпендикулярно к силовым линиям магнитного поля, при токе в проводнике, равном единице силы тока, измеряется в $Tл$ ($1Tл = 1H/A \cdot м$).

Кроме индукции, магнитное поле характеризуется напряженностью H ($A/м$) и магнитным потоком, который представляет собой число силовых линий, проходящих через перпендикулярно расположенную к ним площадку, измеряется в $Bб$ ($1Bб = 1Tл/м^2$).

По ГОСТ 12.1.006 допустимые уровни ЭМП радиочастот оцениваются показателями интенсивности поля и создаваемой им энергетической нагрузкой.

В диапазоне частот 60 кГц – 300 МГц интенсивность ЭМП характеризуется напряженностью электрического E и магнитного H полей. Энергетическая нагрузка ЭН представляет собой произведение квадрата напряженности поля на время его воздействия. Электрическая нагрузка, создаваемая соответственно электрическим и магнитным полем, равна

$$\mathcal{E}H_E = E^2 \cdot T, \quad (2.55)$$

$$\mathcal{E}H_H = H^2 \cdot T. \quad (2.56)$$

В диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц интенсивность ЭМП характеризуется поверхностной плотностью потока энергии ППЭ, поэтому энергетическая нагрузка будет представлять собой

$$\mathcal{E}H_{ППЭ} = ППЭ \cdot T. \quad (2.57)$$

Предельно допустимые значения E и H в диапазоне частот 30 кГц – 300 МГц на рабочих местах персонала определяются исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формулам:

$$E_{пд} = \sqrt{\mathcal{E}H_{E_{пд}}/T}, \quad (2.58)$$

$$H_{пд} = \sqrt{\mathcal{E}H_{H_{пд}}/T}, \quad (2.59)$$

где $E_{пд}$ и $H_{пд}$ – предельно допустимые значения напряженности электрического ($B/м$) и магнитного ($A/м$) полей;

T – время воздействия, ч.;

$\mathcal{E}H_{E_{пд}}$ и $\mathcal{E}H_{H_{пд}}$ – предельно допустимые значения энергетической нагрузки в течение рабочего дня, $(B/м)^2 \cdot ч$ и $(A/м)^2 \cdot ч$.

Одновременное воздействие электрического и магнитного полей в диапазоне частот от 0.06 до 3 МГц допустимо при условии

$$\mathcal{E}N_E / \mathcal{E}N_{E_{\text{нд}}} + \mathcal{E}N_H / \mathcal{E}N_{H_{\text{нд}}} \leq 1, \quad (2.60)$$

где $\mathcal{E}N_E$ и $\mathcal{E}N_H$ - энергетические нагрузки, характеризующие воздействие электрического и магнитного полей.

Предельно допустимые значения ППЭ ЭМП в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц определяются исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени действия по формуле:

$$\text{ППЭ}_{\text{плд}} = K \cdot \mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_{\text{плд}}} / T, \quad (2.61)$$

где $\text{ППЭ}_{\text{плд}}$ - предельно допустимое значение плотности потока энергии, $\text{Вт}/\text{м}^2$ ($\text{МВт}/\text{см}^2$, $\text{мкВт}/\text{см}^2$);

$\mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_{\text{нд}}}$ - предельно допустимая величина энергетической нагрузки, равная $2 \cdot \text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ ($200 \cdot \text{мкВт} \cdot \text{ч}/\text{см}^2$);

K - коэффициент ослабления биологической эффективности, равный: 1 - для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн; 10 - для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения и сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50;

T - время пребывания в зоне облучения за рабочую смену, ч.

Во всех случаях максимальное значение $\text{ППЭ}_{\text{плд}}$ не должно превышать $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ($1000 \text{ мкВт}/\text{см}^2$).

Предельно допустимые уровни напряженности и магнитной индукции постоянного магнитного поля нормируются СанПиН 9-85-98 (табл. 2.31).

Таблица 2.31 – Предельно допустимые уровни напряженности и магнитной индукции постоянного магнитного поля при непрерывном действии

Время воздействия за рабочий день, ч	Общее воздействие (все тело)		Локальное воздействие (конечности)	
	Напряженность, $\text{А}/\text{м}$	Магнитная индукция, мкТл	Напряженность, $\text{А}/\text{м}$	Магнитная индукция, мкТл
8	80.0	100.0	800.0	1000.0
1	400.0	500.0	1600.0	2000.0

Нормируются также уровни напряженности и магнитной индукции переменного магнитного поля при импульсном (прерывном) действии магнитного поля (СанПиН 2.2.4.11-25-2003).

Предельно допустимые значения энергетической нагрузки $\mathcal{E}N_{E_{\text{нд}}}$ и $\mathcal{E}N_{H_{\text{нд}}}$ в течение рабочего дня представлены в табл. 2.32.

Таблица 2.32 – Предельно допустимые значения энергетической нагрузки в течение рабочего дня

Параметр	Предельные значения в диапазоне частот, МГц		
	0.03 – 3.0	3.0 – 30	30 – 300
$\mathcal{E}N_{E_{\text{нд}}}, (\text{Вт}/\text{м})^2 \cdot \text{ч}$	20000	7000	800
$\mathcal{E}N_{H_{\text{нд}}}, (\text{А}/\text{м})^2 \cdot \text{ч}$	200	-	-

Для жилой территории предельно допустимые уровни (ПДУ) распространяются на диапазон частот 30 кГц – 300 ГГц.

ПДУ ЭМП для населения при круглосуточном непрерывном излучении в диапазоне частот 30 кГц – 300 ГГц указаны в табл. 2.33.

Таблица 2.33 – Предельно допустимые уровни (ПДУ) для населения при круглосуточном излучении

№ диапазона	Частоты	Длина волны	ПДУ
5	30 – 300 кГц	10 – 1 км	25 Вт/м
6	0.3 – 3 МГц	1 – 0.1 км	15 Вт/м
7	3 – 30 МГц	100 – 10 м	10 Вт/м
8	30 – 300 МГц	10 – 1 м	3 Вт/м
9	3 – 3000 МГц	1 – 0.1 м	10 мкВт/см ²
10	3 – 30 ГГц	10 – 1 см	10 мкВт/см ²

Примечание: уровни ЭМП в 9 – 10, а также 11 диапазонах при импульсном излучении на жилой территории, в районах действующих, проектируемых и реконструируемых РЛС, определены СанПиН 2.2.4.11-25-2003.

Длина волны ЭМП, излучаемой источником, позволяет выбрать соответствующий прибор контроля ЭМИ. Для низкочастотных источников ЭМП (НЧ, ВЧ, УВЧ - диапазоны) необходимо использовать приборы, измеряющие электрическую и магнитную составляющие ЭМП; для СВЧ – диапазона – приборы, позволяющие измерять плотность потока энергии.

Основными техническими параметрами приборов являются: диапазон частот, на который рассчитан измеритель, оснащенные антеннами; пределы измерений энергетических параметров ЭМП; основная погрешность измерений, обычно выраженная в децибелах.

В зависимости от условий воздействия ЭМП, характера и места нахождения источника излучения могут использоваться следующие методы и средства защиты: экранирование установки (источника ЭМП); защита рабочего места от излучения; удаление рабочего места от источника ЭМП на безопасное расстояние (защита расстоянием); рациональная планировка помещения; установление оптимальных режимов работы обслуживающего персонала (защита временем); снижение интенсивности излучения непосредственно в источнике; применение средств индивидуальной защиты; применение блокировок и предупреждающей сигнализации (световой, звуковой).

Защита временем используется в тех случаях, когда отсутствует реальная возможность снизить ЭМП до предельно допустимого уровня. Допустимое время облучения t можно найти из выражения:

$$6.42 = \text{ППМ} \cdot th \cdot (0.05 \cdot \tau)^{1.2}, \quad (2.62)$$

где ППМ – плотность потока мощности электромагнитной волны, Вт/см^2 ;

$th \cdot (0.05 \cdot \tau)^{1.2}$ - гиперболический тангенс.

Защита расстоянием используется в тех случаях, когда невозможно снизить интенсивность облучения другими методами и сокращением времени облучения.

Для диапазона длинных, средних, коротких и ультракоротких волн расстояние можно определить по формуле:

$$R = \sqrt{30 \cdot P \cdot G \cdot E_{\text{доп}}}, \quad (2.63)$$

где P - средняя выходная мощность, Вт;

G - коэффициент направленности антенны;

$E_{\text{доп}}$ - допустимая напряженность электрического поля.

Для волн СВЧ – диапазона R , соответствующее $\Pi\Pi\Pi_{\text{доп}}$, находят из выражения:

$$R = \sqrt{P \cdot G \cdot 4 \cdot \pi \cdot \Pi\Pi\Pi_{\text{доп}}}. \quad (2.64)$$

Этот метод является наиболее эффективным, так как может использоваться для защиты работающих в производственных условиях и населения в селитебной зоне.

Снижение интенсивности излучения непосредственно в источнике является универсальным методом и достигается прежде всего заменой источника на менее мощный, а также регулировкой генератора. Можно использовать специальные устройства – аттенюаторы (ослабители), которые поглощают, отражают или ослабляют передаваемую энергию на пути от генератора к потребителю и т.д.

Для использования метода экранирования источника учитывают характер и мощность источника излучения, его рабочую частоту, особенности технологического процесса. Для разработки экранов используют такие явления, как поглощение ЭМИ и его отражение от материала экранов. Поглощение ЭМИ обуславливается тепловыми потерями в толще материала и зависит от его электромагнитных свойств (электрической проводимости, магнитной проницаемости и т.п.). Отражение связано с различием электромагнитных свойств воздуха или другой среды, в которой распространяется ЭМП, и материала экрана.

Для изготовления экранов применяют либо тонкие металлические (сталь, алюминий, медь, сплавы) листы, либо металлические сетки. При этом экраны должны тщательно заземляться.

Металлические экраны практически непроницаемы для ЭМП радиочастотного диапазона за счет их отражающей и поглощающей способности. Экраны с низким коэффициентом отражения являются поглощающими.

Резиновые коврики типа ВКФ, ВГФ и другие представляют собой пресованные листы резины специального состава с коническими, сплошными или полыми шинами.

Поглощающие экраны должны обладать минимальной величиной отражения ЭМИ в широком диапазоне частот, большой величиной затухания проникающего в материал ЭМИ и не должны менять поляризацию отраженных колебаний.

Защита рабочего места от излучения достигается локализацией ЭМП в помещении. Для того и используются электрогерметичные помещения, аппаратные и кабины, представляющие собой замкнутые электромагнитные экраны. В таких помещениях экранируются стены, потолок, пол, оконные и дверные проемы и вентиляционные системы.

Помещения, в которых предполагается проводить локализацию ЭМП, необходимо обустривать так, чтобы при включении последних на полную мощность их излучение практически не проходило через ограждения (стены, перекрытия, оконные и дверные проемы, пол) помещения.

Кроме того, для ослабления ЭМИ необходимо подбирать и соответствующие материалы (табл. 2.34).

Таблица 2.34 – Ослабление ЭМИ строительными конструкциями

Материал и элементы конструкции	Ослабление потока мощности, дБ, при длине волны ЭМИ, λ	
	$\lambda=3$ см	$\lambda=10$ см
Кирпичная стена, 70 см	21	16
Междуэтажное перекрытие	22	2
Оштукатуренная стена здания	12	8
Окна с двойными рамами	18	7

При защите помещений от внешних ЭМИ применяются оклеивание стен специальными металлическими обоями, сетка на окнах, специальные металлизированные шторы и т.п.

В качестве экранирующего материала для световых проемов, приборных панелей, смотровых окон используют оптически прозрачное стекло, покрытое полупроводниковым диоксидом олова. Световые проемы или смотровые окна на более низких частотах могут также экранироваться металлической сеткой.

Согласно СанПиН 9-85-98 источники магнитного поля, расположенные в общих производственных помещениях, должны выделяться в отдельные участки на расстоянии 1.5÷2 м друг от друга. Пульты управления источниками магнитного поля должны быть вынесены за пределы зоны поля с напряженностью 8.0кА/м (10 МТл).

Основными видами средств коллективной защиты работающих от воздействия электрического поля токов промышленной частоты являются экранирующие устройства. Они могут быть стационарными и переносными.

Стационарные экранирующие устройства представляют собой составную часть электроустановки и предназначены для защиты персонала в открытых распределительных устройствах и воздушных линиях электропередач. Конструктивно они изготавливаются в виде козырьков, навесов и перегородок из металлических канатов, прутков, сеток.

Переносные экранирующие устройства – это переносимые или перевозимые изделия в виде замкнутых конструкций из металлических сеток.

Наряду со стационарными и переносными экранирующими устройствами используются и индивидуальные экранирующие комплекты, в которые входят спецодежда, спецобувь, средства защиты головы, рук, лица. Они предназначены для защиты персонала от воздействия электрического поля, напряженность которых не превышает 60 кВ/м, создаваемого электроустановками напряжением 400, 500, 750 В и частотой 50 Гц.

Средства индивидуальной защиты от воздействия ЭМИ должны использоваться только в аварийных режимах либо при проведении кратковременных работ.

В качестве таких средств используются очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани. Для защиты тела применяют комбинезоны, халаты и капюшоны. Их обычно изготавливают из трех слоев ткани. Внутренний и наружный слои делают из хлопчатобумажной ткани (диагональ, ситец), а средний (защитный) слой – из радиотехнической ткани, имеющей проводящую сетку.

Радиозащитные очки изготавливают из стекла, покрытого полупроводниковым диоксидом олова.

К организационным мероприятиям относятся: выполнение требований к персоналу (возраст, пол, медицинское освидетельствование, обучение, проверка знаний, инструктажи и т.п.); рациональное расположение источников ЭМИ; рациональные режимы работы оборудования и персонала; применение средств предупреждающей сигнализации (световой, звуковой, знаковой и др.).

Для предупреждения профессиональных заболеваний лиц, работающих в условиях ЭМИ, применяются такие меры, как предварительный (для поступающих на работу) и периодический (не реже одного раза в год) медицинские осмотры, а также ряд мер, способствующих повышению устойчивости организма к действию ЭМИ.

К мероприятиям, способствующим повышению резисторности организма к ЭМП, могут быть отнесены регулярные физические упражнения, рационализация времени труда и отдыха, а также использование лекарственных препаратов и общеукрепляющих витаминных комплексов.

Для измерения параметров ЭВП применяют приборы ИЭМП – 1, ИЭМП – 2, ПО – 1, П2 – 2 и др. Напряженность магнитного поля промышленной частоты измеряют в зоне нахождения оператора: в горизонтальной плоскости – через каждые 10+20 см; в вертикальной – на уровне пола (настила) и на высоте 0.5; 1; 1.5 и 2м от него, а также на уровне электродов, токоподводящих элементов и обрабатываемых изделий.

Пример 2.11. Оценить с точки зрения условий труда уровень ЭМИ частотой 460МГц, если плотность потока энергии (ППЭ), измеренная на рабочем месте регулировщика радиоаппаратуры, равна 0.3Вт/м², а время, в течение которого регулировщик подвергается облучению, составляет за смену 4ч.

Решение. 1. Оценка уровня ППЭ электромагнитного поля, воздействующего на регулировщика во время работы, осуществляется его сравнением с предельно допустимым уровнем (ППЭ_{пд}) по формуле (2.61):

$$ППЭ_{пд} = K \cdot \frac{ЭН_{пд}}{T},$$

где $ЭН_{пд}$ - предельно допустимая величина энергетической нагрузки, равная 2Вт·ч/м² (200мкВ·ч/см²) согласно общим указаниям;

$K=1$ - коэффициент ослабления биологической эффективности для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн; $K=10$ - для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1Гц и скважностью не менее 50. В данном случае выбираем $K=1$;

$T=4ч$ - время пребывания персонала в зоне облучения за рабочую смену.

Подставляем данные в формулу для расчета $ППЭ_{пл}$, после чего получим:

$$ППЭ_{пл} = 1 \cdot \frac{2}{4} = 0.5 \text{ Вт/м}^2.$$

2. Сравним уровень измеренной ППЭ на рабочем месте с $ППЭ_{пл}$:
 $ППЭ = 0.3 \text{ Вт/м}^2 < ППЭ_{пл} = 0.5 \text{ Вт/м}^2$, что позволяет сделать вывод о том, что работа регулировщика в данных условиях, с точки зрения вредности ЭМП, допустима.

Пример 2.12. Оценить уровень электромагнитных излучений на рабочем месте оператора ПЭВМ при суммарной продолжительности его работы не менее 5ч за смену, если суммарная напряженность электрической составляющей поля от строчного генератора ($f=31\text{кГц}$) на расстоянии 30 см от экрана дисплея составила 140Вт/м . Сделать вывод о необходимости принятия мер защиты или ее отсутствии.

Решение. 1. Известно, что оценка ЭМП в диапазоне от 30кГц до 300МГц осуществляется сравнением напряженности электрической или магнитной составляющей с предельно допустимым уровнем, который определяется по формуле (2.58):

$$E_{пл} = \sqrt{\Delta H_{E_{пл}} / T},$$

где $\Delta H_{E_{пл}}$ - предельно допустимое значение энергетической нагрузки в течение рабочего дня. Согласно СанПиН 2.2.4.11-85-2003 в диапазоне частот ($0.03 - 3.0$)МГц оно устанавливается равным $20 \cdot 10^3 (\text{Вт/м}^2) \cdot t$ (табл. 2.32);

$T = 5\text{ч}$ - продолжительность облучения в смену.

Подставив эти значения в формулу для $E_{пл}$, получим:

$$E_{пл} = \sqrt{\frac{20 \cdot 10^3}{5}} = 63 \text{ Вт/м}.$$

2. Измеренное значение E на рабочем месте оператора, согласно условиям задачи, равно 140 Вт/м , из чего следует, что фактическое значение уровня поля превышает допустимое более чем в $140/63=2.2$ раза.

Следовательно, необходима защита оператора (например, временем). Допустимое время работы оператора в смену составит:

$$T = \frac{\Delta H_{E_{пл}}}{E^2} = \frac{20 \cdot 10^3}{140^2} = 1 \text{ час}.$$

Пример 2.13. На каком расстоянии от сканирующей антенны РЛС может находиться персонал в течение всего рабочего дня (6 час), не подвергая свое здоровье опасности, если мощность РЛС равна 1.25кВт .

Решение. 1. Указанное в задаче расстояние можно определить из формулы расчета плотности потока энергии ППЭ в зависимости от расстояния, т.е.

$$ППЭ_r = \frac{P_{изл}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

2. Так как по условиям задачи требуется найти минимальное расстояние от источника, то подставив в формулу вместо ППЭ предельно допустимую плотность потока энергии $ППЭ_{\text{пд}}$, которая определяется как

$$ППЭ_{\text{пд}} = K \cdot \frac{\mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_{\text{пд}}}}{T},$$

$$\text{найдем } r_{\text{пд}} = \sqrt{\frac{P_{\text{ист}}}{4 \cdot \pi \cdot ППЭ_{\text{пд}}}} = \sqrt{\frac{P_{\text{ист}} \cdot T}{4 \cdot \pi \cdot K \cdot \mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_{\text{пд}}}}},$$

где $K=10$, так как источником излучения является РЛС со сканирующей антенной;

$\mathcal{E}N_{\text{ППЭ}_{\text{пд}}} = 2 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$ - допустимая энергетическая нагрузка согласно общим указаниям.

Подставив все известные данные в формулу $r_{\text{пд}}$, получим значение

$$r_{\text{пд}} = \sqrt{\frac{1250 \cdot 6}{4 \cdot 3.14 \cdot 10 \cdot 2}} \approx 5.5 \text{ м}.$$

Примеры расчета других задач, а также методики их расчета (защитного экрана, уровня ЭМП в жилой зоне, уровня ЭМИ и др.) с расчетными формулами приведены, например, в [10].

2.5. Безопасность эксплуатации сосудов, аппаратов, систем и оборудования, работающих под давлением

2.5.1. Расчет безопасности сосудов, работающих под давлением

На предприятиях различных отраслей промышленности широко используются сосуды и аппараты, коммуникации, работающие под давлением.

Сосудами называются герметически закрытые емкости, предназначенные для ведения химических, тепловых и других технологических процессов, а также для хранения и транспортировки газообразных, жидких и других веществ.

Особую опасность представляют собой сосуды, находящиеся под избыточным давлением, так как в процессе их взрыва при химическом или физическом превращении вещества выделяется огромное количество энергии. При взрывах сосудов под давлением развивающиеся большие мощности могут привести к значительным разрушениям зданий и сооружений, человеческим жертвам, авариям транспортных и нефтегазовых систем, дамб, плотин и другим нежелательным последствиям, экологическим катастрофам.

При взрыве парового котла давление резко снижается до атмосферного, и находящаяся в нем вода мгновенно испаряется. Объем пара примерно в 700 превосходит объем испарившейся воды.

Особенно опасны взрывы сосудов, содержащих горючую среду – нефть, газ, так как осколки резервуаров даже большой массы (до нескольких тонн) разлетаются на расстояния до нескольких сот метров и при падении на

здания, технологическое оборудование, емкости вызывают разрушения, новые очаги пожаров, гибель людей. При взрывах на трубопроводе Мессолях – Норильск диаметром 1440мм в 70-х годах прошлого века разлет осколков (авторские исследования) достигал нескольких сот метров вдоль и поперек трубопровода (неоднократно при каждой новой аварии).

Наиболее частыми причинами аварий и взрывов сосудов, работающих под давлением, являются: несоответствие конструкций максимально допустимому давлению и температуре; превышение давления сверх предельного; потеря механической прочности аппарата (коррозия, внутренние дефекты металла, внутренние перегревы); несоответствие установленного режима работы; недостаточная квалификация обслуживающего персонала; некачественное проектирование и строительство сооружений; отсутствие технического надзора; халатность исполнителей и др.

В связи с опасностью такого оборудования его изготовление и эксплуатация регламентируются Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, которые распространяются на следующие сосуды, емкости и аппараты, наиболее опасные по последствиям взрывов:

- сосуды, работающие под давлением воды с температурой выше 115°C или другой жидкости с температурой, превышающей температуру кипения при давлении 0.07МПа, без учета гидростатического давления;
- сосуды, работающие под давлением пара или газа свыше 0.07МПа;
- баллоны для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворимых газов под давлением свыше 0.07МПа;
- цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжатых и сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50°C превышает давление 0.07МПа;
- цистерны и сосуды для той же цели, в которых давление выше 0.07МПа создается периодически для их опорожнения;
- барокамеры.

Сосуды, работающие под давлением, делятся на стационарные и передвижные.

К стационарным относятся постоянно установленные сосуды, предназначенные для эксплуатации в одном определенном месте (автоклавы, газгольдеры, резервуары, колонны, реакторы, аппараты и т.п.).

Передвижные (нестационарные) – это сосуды, предназначенные для временного использования в различных местах или во время их перемещения (баллоны, цистерны, бочки).

Для исключения возможности образования смеси «горючее-окислитель» вследствие заполнения емкостей рабочим телом, для которого они не предназначены, широко используют сигнальную окраску баллонов и цистерн:

- кислород (сжатый, предельное рабочее давление $P=15.1\text{МПа}$, температура T при предельном рабочем давлении $P\ T=20^\circ\text{C}$) – цвет окраски – голубой;
- сжатый воздух ($P=15.1\text{МПа}$, $T=20^\circ\text{C}$) – черный;
- ацетилен (растворимый, $P=3.1\text{МПа}$, $T=20^\circ\text{C}$) – белый;
- азот – черный;
- аммиак – желтый;
- водород – зеленый;
- пропан – бутан – красный и т.д.

Кроме того, делаются предостерегающие надписи и наносятся отличительные полосы. Например: «Аммиак – ядовитый сжиженный газ» (цвет надписи – зеленый, полосы – желтые) или (на кислородных баллонах) «Опасно» (цвет надписи – черный, полосы – голубые).

Каждый сосуд, работающий под давлением, поставляется заказчику с паспортом установленной формы, к которому прикладывается инструкция по его монтажу и эксплуатации. На каждом сосуде должна быть прикреплена табличка со следующими данными: товарный знак или наименование изготовителя; наименование и обозначение сосуда; порядковый № сосуда по системе нумерации завода-изготовителя; расчетное давление, МПа; пробное давление, МПа; допустимая максимальная и (или) минимальная рабочая температура стенки, °С; масса сосуда, кг.

Принимаемые заводами-наполнителями от потребителей баллоны для сжатых газов должны иметь остаточное давление $P=0.05-0.1$ МПа.

Газо- и трубопроводы также должны иметь сигнальную окраску, которая производится в зависимости от вида рабочего тела:

вода – зеленый; пар – красный; воздух – синий; газы горючие и негорючие – желтый; кислоты – оранжевый; щелочи – фиолетовый; жидкости горючие и негорючие – коричневый; прочие вещества – серый.

Для выделения вида опасности применяются предупреждающие (сигнальные) цветные кольца: красного цвета – для транспортировки взрывоопасных, огнеопасных, легковоспламеняющихся веществ; зеленого – безопасных или нейтральных; желтого – токсичных веществ.

Применяются также предупреждающие знаки, маркировочные щитки и надписи на трубопроводах, например, цифровое обозначение вещества, слово «вакуум» или стрелки для указания направления движения жидкости. Имеются также и другие системы и способы выявления опасности, например, одоризация и т.д.

Требования безопасности сосудов, работающих под давлением, касаются проектирования, изготовления и их эксплуатации, в том числе: к конструкции и материалам; к надежности и безопасности эксплуатации; к заземлению, механическому и электрическому оборудованию; к контролю качества сварных соединений; к механическим испытаниям; к изготовлению, реконструкции, монтажу, ремонту, наладке и ремонту; к запорной и запорно-регулирующей арматуре и др.

Требования к стационарным сосудам, работающим под давлением, сводятся к установке, регистрации и техническому их освидетельствованию, включая монтаж, размещение, регистрацию; осмотры (внутренний и наружный) и их периодичность; гидравлические испытания; футеровку, изоляцию и другие виды защиты от коррозии; надзор.

Наибольшее число аварий приходится на передвижные сосуды, работающие под избыточным давлением. Основными причинами их аварий являются: ошибки и неточности, допущенные при их изготовлении (дефекты сварных швов, резьбы вентиля и горловины баллона); низкое качество или осадок пористой массы в ацетиленовых баллонах; превышение давления

вследствие заполнения сжиженными газами сверх установленной нормы; нагревание баллонов под воздействием солнечных лучей, открытого огня, нагревательных приборов, чрезмерно быстрого заполнения газом; нарушение правил безопасности при хранении и транспортировке баллонов (падение и удары о твердые предметы, быстрый отвод газа, попадание масла в выходное отверстие вентиля кислородных баллонов); отсутствие четкой окраски и маркировки баллонов и др.

Задачи по расчету сосудов, работающих под давлением, могут быть самыми разнообразными, однако решение их всех основано на законах и формулах теплотехники и теплофизики. Приведем некоторые из них.

Пример 2.14.

Компрессор дает воздух под давлением $P_2 = 800 \text{ кПа}$ при начальном давлении сжимаемого воздуха $P_1 = 98 \text{ кПа}$ и температуре $T_1 = 288^\circ \text{ К}$. В компрессоре применяется компрессорное масло 12 (М) с температурой вспышки не ниже 216° К .

Определить температуру сжатого воздуха T_2 и сделать заключение о возможности эксплуатации компрессора без или с охлаждением.

Решение.

1. Процессы сжатия газов подчинены закону, выраженному уравнением политропы $PV = \text{const}$, которое означает, что с увеличением степени сжатия первоначального объема газа этот объем уменьшается, а давление и температура соответственно увеличиваются. При этом конечная температура сжимаемого воздуха определяется по формуле:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} = 288 \cdot \left(\frac{800}{98} \right)^{\frac{1.41-1}{1.41}} = 518^\circ \text{ К} = 245^\circ \text{ С}, \quad (2.65)$$

где $m = 1.41$ - показатель политропы для воздуха.

2. По полученным данным сопоставляем температуры сжатого воздуха $T_2 = 245^\circ \text{ С}$ и вспышки масла $T = 216^\circ \text{ С}$, из чего видно, что $T_2 > T$.
3. Делаем заключение о необходимости эксплуатации компрессора с охлаждением, например, воздушным.

Пример 2.15.

Воздухосборник компрессора имеет объем $V = 3.5 \text{ м}^3$ и рассчитан на давление $P_2 = 800 \text{ кПа}$.

Определить опасность взрыва этого воздухосборника, принимая время действия взрыва $t = 0.1 \text{ с}$.

Решение.

1. Считая процесс взрыва воздухосборника адиабатическим, работу можно определить по формуле [1]:

$$A = \frac{V \cdot P_2}{m-1} \cdot \left[1.0 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right] = \frac{3.5 \cdot 800}{1.41-1} \cdot \left[1 - \left(\frac{800}{98} \right)^{\frac{1.41-1}{1.41}} \right] = 3141.5 \text{ Дж} \quad (2.66)$$

2. Мощность взрыва (энергия сжатой среды) можно определить из выражения:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{3141.5}{0.1} = 31415 \text{ Вт} = 31.4 \text{ кВт}. \quad (2.67)$$

Судя по мощности взрыва N , можно сделать вывод об опасности взрыва воздухосборника.

Пример 2.16.

Произошел взрыв баллона с ацетиленом. Толщина стенок баллона $S = 4 \text{ мм}$, внутренний диаметр $D_B = 200 \text{ мм}$, длина $l = 42 \text{ см}$, материал стенок – сталь Ст.20 с допустимым сопротивлением стали на растяжение $[\sigma]_p = 1600 \text{ кг/см}^2$.

Определить: при каком давлении произошел взрыв баллона с ацетиленом?

Решение.

1. Из прочностных расчетов известно, что толщина стенок баллона S и давление P , при котором произошел взрыв, связаны между собой соотношением:

$$S = \frac{P \cdot D_B}{2 \cdot [\sigma]_p \cdot \varphi \cdot l} + C, \quad (2.68)$$

где φ - коэффициент прочности, принимаемый равным для бесшовных труб $\varphi = 1$;

C - прибавка на минусовые допуски стали ($C = 0.3 \text{ мм}$);

$S = 0.004 \text{ м}$; $[\sigma]_p = 1600 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; $D_B = 0.2 \text{ м}$; $l = 0.42 \text{ м}$.

2. Из формулы (2.68) определяем давление баллона P , при котором произошел взрыв

$$P = \frac{S - C}{D_B} \cdot 2 \cdot [\sigma]_p \cdot \varphi \cdot l = \frac{0.004 - 0.0003}{0.2} \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 0.42 = \frac{0.0037}{0.2} \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 10^5 \cdot 0.42 = 24.86 \cdot 10^5 \text{ Па} = 2486 \text{ кПа} = 24.86 \text{ кг/см}^2.$$

3. Делаем вывод о том, что взрыв баллона с ацетиленом произошел при давлении около 25 атм.

2.6. Защита от вибрации

2.6.1. Воздействие вибрации на организм человека.

Расчет виброизоляции фундамента

В промышленности строительных деталей и железобетонных конструкций вибрация используется при формировании, виброуплотнении, прессовании, вибротранспортировке и т.п.

По способу передачи на человека различают общую и локальную вибрации. Общая вибрация передается через опорные поверхности стоящего или сидящего человека, локальная – через руки. По направлению вибрация может воздействовать на человека по одной или нескольким

координатным осям. По источнику возникновения общая вибрация подразделяется на: транспортную, которая возникает в результате движения машин по местности; транспортно-технологическую, которая возникает при движении машин, выполняющих технологические операции в производственном помещении или на специально подготовленных площадках; технологическую, возникающую при работе стационарных машин, и которая передается на рабочие места, не имеющие источников вибрации. Общая вибрация возникает при формовке ЖБИ на заводах поточно-конвейерной и агрегатной технологии. Источниками вибрации являются виброплатформы, виброплощадки, формовочные машины, бетоноукладчики. Последние в агрегатных заводах с вибратором-побудителем создают значительную вибрацию в полосе частот 32-250 Гц, превышающую допустимые значения до 10 раз. Она передается на пол, сиденье машиниста, рулевое управление. На конвейерных заводах и бетоноукладчиках с вращающейся лентой вибрация, передаваемая на пол и пол бетоноукладчика, превышает допустимые значения в 2-4 раза. Максимальные уровни виброскорости формовочных машин имеют место в полосе 45-90 Гц. Значительной вибрации подвергаются формовщики на заводах поточно-конвейерной технологии, при ручном разравнивании бетонной смеси. Вибрация на основных типах мостовых кранов характеризуется широкополосным спектром с максимальным уровнем виброскорости в диапазоне частот 4-16 Гц. Вибрация на сиденьях машиниста и полу кабины превышает нормативные уровни на частотах 8-16 Гц. К числу наиболее потенциально опасных в вибрационном отношении видов оборудования относятся ручные машины, особенно ударного действия, электрические пневматические вибраторы (глубинные и поверхностные), напольный производственный транспорт, вибрация которых превышает допустимый уровень в 2-4 раза. К виброопасному оборудованию относятся также пневматические и электрические гайковерты, трамбовки, ручные дисковые пилы и др.

Общая вибрация вызывает сотрясение всего организма. Действие местных вибраций не ограничивается органами, находящимися в соприкосновении с вибрирующими деталями машин, они оказывают влияние на центральную нервную систему и через нее рефлекторно воздействуют на другие органы человека. Под воздействием вибрации наибольшие изменения происходят в нервной и сердечно-сосудистой системах. Неблагоприятное воздействие вибрации сказывается в виде утомления, головной боли, болей в суставах кистей рук и пальцев, повышенной раздражительности.

Общая вибрация вызывает в организме человека более выраженные и стойкие изменения, чем местная. При долгой работе на вибрационном оборудовании может развиваться «вибрационная болезнь», характеризующаяся нарушением жизнедеятельности наиболее жизненно важных органов и систем человека: нервной, сердечно-сосудистой, опорно-двигательного аппарата. Большое число поломок и аварий в промышленности является результатом недопустимых параметров вибрации.

Классификация, гигиенические нормы вибрации, требования к вибрационным параметрам производственного оборудования содержатся в ГОСТ 12.1.012 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования». Нормируемыми параметрами вибрации являются: среднеквадратичные значения виброскорости (в м/с) и логарифмические уровни (в дБ) октавных частот 1; 2; 4; 8; 16; 31.5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц.

Особенности воздействия вибрации определяются частотным спектром в параметрах вибрации. Тело человека может рассматриваться как сочетание масс с упругими связями.

Для находящегося на вибрирующей поверхности человека имеется два резонансных пика на частотах 5+12 и 17+25 Гц, для сидящего – 4-6 Гц, для головы – 20-30 Гц.

Вибрация, действующая на человека, нормируется в каждой октавной полосе, различна для общей и локальной вибрации, с учетом свойств источника её возникновения.

К виброопасным профессиям относятся: машинист бетоноукладчика, резчик бетонных и железобетонных изделий, оператор кассетной установки, формовщик и расформовщик ЖБИ и конструкций и др.

Уменьшение вредного воздействия вибрации на работающих может происходить при выполнении следующих технологических мероприятий:

- снижение параметров вибрации в самом источнике (воздействие на источник побуждения, отстройка от режима резонанса, динамическое гашение вибрации, балансировка, своевременный ремонт и др.);
- снижение параметров вибрации на путях её перемещения от источника (установка оборудования на виброгасящие фундаменты, виброизоляция, применение индивидуальных средств защиты).

Кроме того, уменьшение вредного воздействия вибрации на человека достигается применением комплекса санитарно-гигиенических, организационных и лечебно-профилактических мероприятий.

Из перечисленных мер виброизоляция является наиболее доступным и достаточно эффективным способом защиты рабочих мест, оборудования и строительных конструкций от вибрации, вызываемых работой машин и механизмов. Этот способ защиты заключается в уменьшении передачи колебаний от источника возбуждений защищаемому объекту при помощи виброизоляторов, размещаемых между ними. Виброизоляция представляет собой упругие элементы, так называемые амортизаторы вибрации, размещаемые между вибрирующей машиной и её основанием.

Виброизоляция используется при виброзащите от действия напольных и ручных механизмов. Компрессоры, насосы, вентиляторы, станки должны устанавливаться на амортизаторы или упругие основания в виде элементов массы или вязкоупорного слоя. Для снижения интенсивности вибрации необходимо, чтобы масса фундамента была в 3-5 раз больше массы агрегата. В качестве виброизоляторов используют резиновые, пружинные или комбинированные опоры различных конструкций.

Виброгашение – это снижение уровня вибрации объекта путем введения в колебательную систему дополнительных реактивных сопротивлений. В частности, для предотвращения общей вибрации вибромашины и оборудование устанавливают на самостоятельные виброгасящие фундаменты, массу которых рассчитывают таким образом, чтобы амплитуда их колебаний не превышала 0.1 – 0.2 мм, а вероятность появления резонансных колебаний была бы минимальной.

Эффект вибродемпфирования – превращение энергии механических колебаний в другие виды энергии, чаще всего в тепловую. Для этого в конструкциях деталей, через которые передается вибрация, применяют материалы с большим внутренним трением (специальные магниевые сплавы, пластмасса, резина, демпфирующие покрытия и др.).

Компенсацией вибрации называют уменьшение амплитуды вибрации при сложении колебательных процессов, находящихся в противофазе, т.е. сдвинутых по фазе на 180° .

При параметрах вибрации выше допустимых предусматривается применение индивидуальных средств защиты: для рук – рукавиц и перчаток, для ног – виброзащитной обуви.

Согласно ГОСТ общая вибрация подразделяется на категории: 1, 2, 3, 3а, 3б, 3в, 3г.

В промышленности строительных материалов к категории 1 относится транспортная вибрация, воздействующая на операторов (водителей) на тракторах, грузовых автомобилях, строительно-дорожных машинах и при их движении; к категории 2 – транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на операторов на экскаваторах, кранах, бетоноукладчиках, напольном производственном транспорте и др.; к категории 3 – технологическая вибрация; 3а – вибрация в производственных помещениях предприятий, ЦУПах; 3б, 3в – на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещениях, где нет генерирующих вибрацию машин; 3г – в заводоуправлениях, лабораториях, конторских помещениях, вычислительных центрах и других помещениях для работников умственного труда.

Допустимые значения виброскорости в октавных полосах частот 2-1000 Гц для общей и местной вибраций представлены в табл. 2.35.

В промышленности стройматериалов допустимые виброскорости в октавных полосах частот для общей вибрации категории 3а и локальной вибрации при действии воздействия 8 ч приведены в таблице 2.36.

Допустимые значения виброскорости для общей вибрации категории 3в определяются умножением данных табл. 2.36 на коэффициент 0.4, а для категории 3г – на 0.14: уровни виброскорости должны быть уменьшены соответственно на 8 и 17дБ.

Таблица 2.35 – Нормативные значения виброскорости по ГОСТ 12.1.012

Виды вибрации	Направление нормирования	Среднеквадратичное значение виброскорости, м/с·10 ⁻² – не более									
		Логарифмический уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах при среднегеометрических частотах, Гц									
		2	4	8	16	31.5	63	125	500	1000	
Общая	По оси Z	7.1	2.5	1.3	1.1	1.1	1.1				
		123	114	107	107	107	107				
Транспортная	X и Y	3.5	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2				
		117	116	116	116	116	116				
Технологическая	X, Y, Z	1.3	0.45	0.22	0.2	0.2	0.2				
		108	99	93	92	92	92				
Транспортно-технологическая	X и Y	3.5	1.3	0.63	0.56	0.56	0.56				
		117	108	102	101	101	101				
Местная	X, Y, Z	-	5.0	5.0	3.5	2.5	1.8	1.8	1.9	0.85	
			120	120	117	114	111	108	105	102	

Таблица 2.36 – Допустимые значения виброскорости в промышленности строительных материалов

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	Общая вибрация по X, Y, Z		Локальная вибрация руки вперед (X), вниз (Y), вбок (Z)	
	м/с·10 ⁻²	дБ	м/с·10 ⁻²	дБ
2	1.3	108	-	-
4	0.4	99	-	-
8	0.22	93	2.8	115
16; 31.5; 63	0.20	92	1.4	109
125; 250; 500; 1000	-	-	1.4	109

Если фактическое время действия вибрации в течение рабочего дня меньше 8ч и не предусмотрены ежечасные перерывы, то допустимые значения виброскорости и виброускорения $U_t = U_{480} \cdot \sqrt{480/t}$, где U_{480} - допустимое значение виброскорости для 8ч (480 мин), а t - фактическое время действия вибрации, мин.

Для уменьшения колебаний строительных конструкций и расположенных на них рабочих мест машины, возбуждающие динамические нагрузки, устанавливают на массивные фундаменты. Массу фундамента подбирают таким образом, чтобы колебания подошвы фундамента не превышали (по виброперемещению) установленных для данной частоты величин.

Расчет фундамента под виброплощадки сводится:

к проверке амплитуд виброперемещения вынужденных колебаний фундамента;

к определению давлений, передаваемых фундаментами на грунт (табл. 2.37, 2.38);

к проверке собственной частоты колебаний фундамента, которая должна отличаться от частоты внутренних колебаний не менее чем в 1.5 раза.

Таблица 2.37 – Основные характеристики грунтов

Нормативное давление R на основание условного фундамента, $1 \cdot 10^5$ Па	Коэффициент упругого равномерного сжатия C_z , Н/см ³
1	20
2	40
3	50
4	60
5	70

Нормативная динамическая нагрузка N от виброплощадки, возбуждаемая механическими вибраторами с вращающимися эксцентричными массами (дебалансами), определяется как центробежная сила

$$N = m \cdot \omega^2 \cdot r, \quad (2.69)$$

где m - масса вращающейся части машины (дебалана), кг;

ω - круговая частота вращения вала машины, с⁻¹;

r - эксцентриситет вращающихся масс, см.

Табл. 2.38 – Допустимые нормативные давления на грунт R

Грунт		R, $1 \cdot 10^5$, Па
Пески	независимо от влажности: крупные	3.5 – 4.5
	средней крупности	2.5 – 3.5
Пески	мелкие: маловлажные	2 – 3
	насыщенные водой	2.5 – 1.5
Пески	пылеватые: маловлажные	2 – 2.5
	очень влажные	1.5 – 2
	насыщенные водой	10 – 15
Супеси	при коэффициенте пористости K: 0.5	3
	0.7	2
Суглинки	при коэффициенте пористости K: 0.5	2.5 – 3
	0.7	1.8 – 2.5
	1	1 – 2

При использовании дебалансных вибраторов нормативную динамическую нагрузку определяют по формуле:

$$N = \sum_{i=1}^n (M_x \cdot \omega^2) / q, \quad (2.70)$$

где $M_x = m \cdot r$ - кинетический момент одного вибратора, Н см;

q - ускорение свободного падения, см/с²;

Пример 2.17. Рассчитать виброгасящее основание под виброплощадку. Максимальная грузоподъемность площадки 5т, габариты 6269×1780×1020 мм, вес общий 74200 Н, в том числе подвижных частей $Q_{пч} = 62780$ Н, мощность привода 28 кВт, частота вращения 3000 мин⁻¹, максимальный кинетический момент дебалансов $M = 2900$ Н·см, амплитуда виброперемещения стола 0.4 мм, частота вибрирования $f = 50$ Гц.

Фундамент устанавливается на суглинок средней пористости с допустимым нормативным давлением $R=3 \cdot 10^5$ Па.

Виброплощадка двухвальная, нормативная возмущающая сила действует в вертикальном направлении. Виброизоляция выполняется в виде 8 цилиндрических стальных пружин.

Решение.

1. Определяем динамическую нагрузку N , возбуждаемую дебалансными виброплощадки, для чего находим:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 6.28 \cdot 50 = 314 \text{ c}^{-1},$$

$$N = M_K \cdot \omega^2 / g = 2900 \cdot 314^2 / 980 = 291760 \text{ H}.$$

2. Предполагаем, что виброплощадка опирается на фундамент через стальные пружинные амортизаторы, дающие под действием подвижных (подрессоренных) частей установки статическую осадку $\lambda_{cm} = 0.5 \text{ см}$. Схема установки виброплощадки на фундамент показана на рис.2.17.

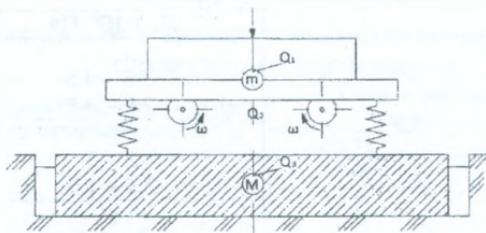


Рисунок 2.17 – Схема установки динамически уравновешенной машины на виброгасящий фундамент

3. Суммарная жесткость всех амортизаторов равна

$$K = Q_{mv} / \lambda_{cm} = 62780 / 0.5 = 125560 \text{ H/см}.$$

4. Рассчитываем собственную круговую частоту вертикальных колебаний подрессоренных частей виброплощадки ω_0 и массу подвижных частей виброплощадки m_{nv}

$$\omega_0 = \sqrt{K/m_{nv}} = \sqrt{125560/64} = 44.2 \text{ c}^{-1},$$

$$m_{nv} = Q_{nv} / g = 62780 / 980 = 64 \text{ H} \cdot \text{c}^2 / \text{см}.$$

5. Определяем нормативную динамическую нагрузку, передающуюся на фундамент

$$N_{\phi} = \frac{N}{(\omega/\omega_0)^2 - 1} = \frac{291760}{(314/44.2)^2 - 1} = 5906 \text{ H}.$$

6. Исходя из известного опыта проектирования фундаментов под машины с динамическими нагрузками, конструктивно принимаем площадь F_{ϕ} и высоту фундамента так, чтобы вес фундамента примерно в 2 раза был больше общего веса виброплощадки:

$$Q_{\phi} = 140000 \text{ H}; \quad F_{\phi} = 640 \times 180 = 115200 \text{ см}^2.$$

Масса фундамента

$$m_{\phi} = Q_{\phi} / g = 140000 / 980 = 142 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{см} = 142 \text{ кг}$$

7. Рассчитываем коэффициент жесткости естественного основания при ранее выбранном грунте: суглинке средней пористости с допускаемым нормативным давлением $R = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $C_z = 50 \text{ Н/см}^2$ (табл. 2.37, 2.38):

$$K_z = F_{\phi} \cdot C_z = 115200 \cdot 50 = 576 \cdot 10^4 \text{ Н/см}^2 = 576 \text{ Па}.$$

8. Определяем круговую частоту собственных вертикальных колебаний фундамента:

$$\omega_{\phi} = \sqrt{\frac{K_z}{m_{\phi}}} = \sqrt{\frac{5760000}{142}} = 201 \text{ с}^{-1}.$$

9. Рассчитываем амплитуду перемещения фундамента под действием динамической силы

$$a_{\phi} = \frac{N_{\phi}}{K_z \cdot \left(\frac{\omega^2}{\omega_0^2} - 1 \right)} = \frac{5906}{5760000 \cdot \left(\frac{314^2}{201^2} - 1 \right)} = 0.0007 \text{ см} = 0.007 \text{ мм}.$$

Допустимое значение амплитуды виброперемещения при частоте 50 Гц $a = 0.009 \text{ мм}$ (табл. 2.39), поэтому $a_{\phi} < a$, что допустимо.

Таблица 2.39 – Допустимые значения амплитуды виброперемещения

Частота гармонической составляющей, Гц	Амплитуда виброперемещения, мм	
	На постоянных рабочих местах в производственных помещениях	В производственных помещениях без вибрирующих машин
2	1.4	0.57
4	0.25	0.1
8	0.063	0.025
16	0.0282	0.0112
31.5	0.0141	0.0056
63	0.0072	0.0028

3. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

3.1. Общие сведения о горении

Горение – это интенсивные окислительные реакции, которые сопровождаются выделением теплоты, дыма и свечением. Горение может возникнуть только при наличии трех условий: присутствии горючего вещества, окислителя и источника (импульса) воспламенения.

Горючие вещества – любые органические вещества и материалы, многие металлы в свободном виде, некоторые минералы, сера, оксид углерода, водород, фосфор и т.д.

В качестве окислителя может быть не только кислород, но и многие химические соединения – бертолетова соль, перхлораты, нитросоединения, пероксид натрия, азотная кислота, озон, хлор и др.

Импульсами воспламенения могут быть открытые и светящиеся источники – пламя, раскаленные поверхности, лучистая энергия, искры, а также скрытые (светящиеся) – трение, удар, адиабатическое сжатие, экзотермическая реакция и т.д. Например, температура пламени спички составляет 750–860 °С, тления сигареты – 700–750, пламени древесной лучины – 850–1000 °С.

В некоторых случаях при горении конденсированных систем (твердых, жидких веществ или их смесей) пламя может и не возникать, т.е. происходит беспламенное горение или тление.

Пожар представляет собой неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб и создающее опасность для жизни и здоровья людей.

Для того чтобы прервать горение, необходимо нарушить условия его возникновения и поддержания. Для этого используют нарушение двух основных условий устойчивого состояния горения – понижение температуры и режим движения газов.

В зависимости от агрегатного состояния исходного вещества и продуктов горения различают гомогенное, гетерогенное горение и горение взрывчатых веществ.

При гомогенном горении исходные вещества и продукты горения находятся в одинаковом агрегатном состоянии. Это:

- горение газовых смесей (природного газа, водорода, оксида углерода и других веществ с окислителем – обычно кислородом воздуха);
- горение негазифицирующихся конденсированных веществ (например, термитов – смеси алюминия с оксидами различных металлов);
- изотермическое горение – распространение цепной разветвленной реакции в газовой смеси без значительного разогрева.

При гетерогенном горении исходные вещества, например, твердое или жидкое горючее и газообразный окислитель, находятся в разных агрегатных состояниях. К такому горению относится сжигание жидкого топлива в топках, двигателях внутреннего сгорания, горение угля и т.д.

Горение взрывчатых веществ сопровождается переходом вещества из конденсированного в газовое состояние. При этом на поверхности раздела фаз происходит сложный физико-химический процесс, при котором выделяются теплота и горючие газы, догорающие при некотором удалении от зоны горения.

Движение пламени по газовой смеси называется распространением пламени. В зависимости от скорости распространения пламени горение может быть диффузионным (несколько метров в секунду) и детонационным (тысячи метров в секунду).

При горении химически неоднородных горючих систем (горючее вещество и воздух не перемешаны и имеют поверхности раздела – твердые материалы и жидкости, струи паров и газов, поступающих в воздух) время диффузии кислорода к горючему веществу несоизмеримо больше времени, необходимого для протекания химической реакции. В данном случае процесс протекает в диффузной области, и такое горение называют диффузионным. Все пожары представляют собой диффузионное горение.

Если время физической стадии перемешивания горючих веществ с окислителями несоизмеримо меньше времени протекания самой химической реакции, то такой процесс горения называют кинетическим, и он может протекать в виде взрыва.

Если продолжительность химической реакции соизмерима со временем физической стадии, то горение протекает в промежуточной области. Пространство, в котором сгорают пары и газы, называют пламенем или факелом.

Для дефлакционного горения характерна передача теплоты от слоя к слою, а пламя, возникающее в нагретой с активными радикалами и продуктами реакции смеси, перемещается в направлении исходной горючей смеси. Это объясняется тем, что пламя выделяет непрерывный поток теплоты и химически активных частиц, в результате чего фронт пламени перемещается в сторону горючей смеси.

Скорость горения горючих веществ в смеси с воздухом составляет для предельных углеводородов $0,32 \pm 0,4$ м/с, водорода – 2,7 м/с. При таких скоростях распространения пламени образование ударной волны перед фронтом пламени не происходит. Зато, при достижении скоростей распространения пламени порядка десятков и сотен метров в секунду, но менее скорости распространения звука в данной среде (300–320 м/с), происходит взрывное горение.

Взрыв по ГОСТ 12.1.010 – быстрое превращение вещества (взрывное горение), сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить работу.

При взрывном горении продукты горения могут нагреваться до 3000°C , а давление в закрытых системах увеличивается до 0,6–0,9 МПа.

В условиях промышленного производства под взрывом понимают быстрое неуправляемое высвобождение энергии, способное вызвать ударную волну, движущуюся на некотором расстоянии от источника, а им может

быть как химический, так и физический процесс. В реальных условиях зачастую происходят локальные взрывы (хлопки), сопровождающиеся сильным звуковым эффектом, создающие повышенное избыточное давление и в определенных условиях оказывающие разрушающее действие.

К наибольшему разрушающему эффекту приводят локальные взрывы, характеризующиеся высокими скоростями распространения пламени при относительно небольшой массе горючего вещества. Взрыв может быть вызван детонацией взрывчатого вещества, быстрым сгоранием облака газов, внезапным разрушением сосуда со сжатым газом или перегретой жидкостью, смешиванием перегретых твердых веществ (расплавов) с холодными жидкостями и т.д.

Источниками химического взрыва являются быстропротекающие экзотермические реакции взаимодействия горючих веществ с окислителями или термические разложения нестабильных соединений.

Взрыв, как правило, сопровождается возникновением ударной волны, т.е. интенсивным ростом давления в окружающем пространстве. Ударная волна обладает разрушительной способностью, если избыточное давление в ней превышает 15 кПа. Скорость ее распространения в газовой среде сопоставима со скоростью звука – 330 м/с. Разрушающее давление порядка 30 кПа достигается при скорости распространения пламени 150-200 м/с. При определенных условиях взрывное горение может перейти в детонационный процесс, при котором скорость распространения пламени превышает скорость звука и достигает 1–5 км/с.

Детонация – это процесс химического превращения системы окислитель-восстановитель, представляющий совокупность ударной волны, распространяющейся с постоянной скоростью, превышающей скорость звука, и следующей за фронтом зоны химических превращений исходных веществ. Последняя подпитывает ударную волну, не давая ей затухнуть. Пиковое давление при детонации достигает 200 кПа, в то время, как здания разрушаются при давлениях 25-30 кПа при наружных и 20-25 кПа – при внутренних взрывах.

При детонационном режиме горения паровоздушной смеси большая часть энергии взрыва переходит в ударную волну, в то время как при взрывном горении она составляет около 30%.

В результате взаимодействия горючего вещества с окислителем образуются продукты сгорания, состав которых зависит от исходных веществ и условий горения. При полном сгорании органических соединений образуются, как правило, углекислый газ, диоксид серы, вода, азот; неорганических – оксиды. Состав продуктов неполного сгорания горючих веществ сложен и разнообразен. Это могут быть такие горючие вещества, как сажа, водород, углекислый газ, метан; атомарный водород и кислород; различные радикалы – OH, CH, CO и др. Продуктами неполного сгорания могут также быть более сложные вещества – оксиды азота, спирты, альдегиды и множество других вредных и опасных веществ.

3.2. Основные показатели пожаровзрывоопасности веществ и материалов

Пожаровзрывоопасность веществ и материалов – совокупность свойств, характеризующих их способность к возникновению и распространению их горения. Следствием горения может быть пожар или взрыв.

Пожаровзрывоопасность производств определяют показателями пожаровзрывоопасности веществ и материалов и их агрегатным состоянием. При определении пожаровзрывоопасности веществ и материалов различают: газы; жидкости и твердые плавящиеся вещества; твердые вещества и материалы и их смеси; пыли.

Показатели пожаровзрывоопасности выбираются в зависимости от их агрегатного состояния [1]. Также допускается использование других показателей, более детально характеризующих пожаровзрывоопасность веществ и материалов. К показателям их пожаровзрывоопасности относятся: группа горючести, температуры воспламенения, самовоспламенения, нижний и верхний концентрационный пределы распространения пламени (воспламенения), условия теплового самовозгорания и др.

По горючести вещества и материалы подразделяются на 3 группы:

1) негорючие (несгораемые) – вещества и материалы, не способные к горению в воздухе. К ним относятся все естественные и искусственные неорганические материалы, материалы, применяемые в строительстве, гипсовые и гипсоволокнистые плиты и т.п. Негорючие материалы могут быть пожароопасными (например, окислители; вещества, выделяющие горючие продукты при взаимодействии с водой – щелочные металлы и т.п.);

2) трудногорючие (трудносгораемые) – вещества и материалы, которые горят от источника зажигания, но не способны гореть самостоятельно после его удаления. К ним относятся материалы, состоящие из сгораемых и не сгораемых составляющих (асфальтовый бетон, минераловатные плиты на битумной связке, цементный фибролит, полимерные материалы, пенопласты и др.);

3) горючие (сгораемые) – вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления. К ним относятся все органические материалы.

Из группы горючих веществ и материалов выделяют легковоспламеняющиеся, которые способны воспламеняться от кратковременного (до 30 с) воздействия источника зажигания с низкой энергией (пламя спички, искра, тлеющая сигарета и т.п.).

К легковоспламеняющимся относят жидкости (ЛВЖ) с температурой вспышки $T_{вс} < 61^{\circ}\text{C}$ в закрытом тигле или 66°C в открытом тигле и жидкости с $T_{вс} > 61^{\circ}\text{C}$ (ГЖ). Для ЛВЖ температура воспламенения обычно на $1-5^{\circ}\text{C}$ выше $T_{вс}$, а в соответствии с ГОСТ 12.1.017 в зависимости от $T_{вс}$ ЛВЖ подразделяются на три разряда.

Постоянно опасные – это горючие жидкости с $T_{вс} = 18-23^{\circ}\text{C}$ в закрытом тигле или $T_{вс} = 13-18^{\circ}\text{C}$ – в открытом. К ним относятся бензин, толуол, этиловый спирт, этилацетат и др.

Опасные при повышенной температуре – это горючие жидкости с $T_{вс}=23-61\text{ }^{\circ}\text{C}$ в закрытом тигле. Сюда относятся хлорбензин, скипидар, уайт-спирит и др.

В соответствии с ГОСТ 12.1.044 температурой вспышки называется наименьшая температура конденсированного вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания; устойчивое горение при этом не возникает.

$T_{вс}$ используют для оценки воспламеняемости жидкости, а также при разработке мероприятий для обеспечения пожаро- и взрывоопасности ведения технологических операций. Температура вспышки жидкостей, принадлежащих к одному классу (жидкие углеводороды, спирты и др.) закономерно изменяется в гомологическом ряду, повышаясь с увеличением молекулярной массы, температурой кипения и плотности.

$T_{вс}$ определяют экспериментально или расчетным путем. Для экспериментального определения $T_{вс}$ заданную массу жидкости (вещества) нагревают с определенной скоростью, периодически зажигая выделяющиеся пары и визуалью оценивая результаты зажигания.

Ориентировочно расчет $T_{вс}$ производится по правилу Орманда и Гровене: $T_{вс}=T_{кип} * m$, где $T_{кип}$ – температура кипения, $^{\circ}\text{C}$; m – коэффициент, равный 0,736.

Температурой воспламенения называется наименьшее значение температуры жидкости, при которой испарение ее таково, что после зажигания внешним источником возникает самостоятельное пламенное горение.

Температурой самовоспламенения называют самую низкую температуру вещества, при которой в условиях специальных испытаний происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающихся горением.

Горючие материалы могут загореться также вследствие резкого увеличения скорости экзотермических реакций, сопровождающихся выделением теплоты. Такой процесс называется самовозгоранием. Самовозгорание в зависимости от причины, его вызвавшей, бывает химическое, микробиологическое, тепловое. Химическое имеет место при действии на вещества кислорода воздуха, а также при взаимодействии веществ. Самовозгораются промасленная ветошь, пакля, вследствие окисления масла, с выделением теплоты. Микробиологическое самовозгорание обусловлено жизнедеятельностью микроорганизмов (например, в древесных опилках, торфе). Тепловое самовозгорание возникает вследствие самонагрева, обусловленного процессами окисления, разложения и под действием внешнего нагрева.

Минимально взрывоопасное содержание кислорода (окислителя) – такая его концентрация в горючей смеси, ниже которой воспламенение и горение смеси становится невозможным при любой концентрации горючего в смеси, разбавленной данным флегматизатором.

Степень пожаровзрывоопасности горючих газов определяется также концентрационными пределами (нижним и верхним).

Нижний концентрационный предел распространения пламени – это минимальное содержание горючего в среде, при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания.

Аналогично, верхний концентрационный предел определяется максимальным содержанием горючего в среде.

Пыль, состоящая из мельчайших частиц горючих веществ, находясь в воздухе во взвешенном состоянии, при определенных концентрациях становится взрывоопасной. Пыли, в зависимости от значения нижнего предела воспламенения, подразделяют на взрыво- и пожароопасные. К взрывоопасным относят пыли с нижним пределом воспламенения до 65 г/м^3 (например, алюминиевая пудра – 40 г/м^3), к пожароопасным – выше 65 г/м^3 (например, древесная пыль).

Склонность к взрыву и детонации – чувствительность к механическому воздействию (удару или трению).

Взрывоопасной средой являются: смеси веществ (газов, паров, пылей) с воздухом и другими окислителями (кислород, озон, хлор, окислы азота и др.), способные к взрывчатому превращению, а также индивидуальные, склонные к взрывчатому разложению (ацетилен, озон, гидразин, аммиачная селитра и др.).

Основными параметрами, характеризующими опасность взрыва, являются:

– максимальное давление взрыва – наибольшее давление, возникающее при дефлаграционном взрыве газо-, паро- или пылевоздушной смеси в замкнутом сосуде при начальном давлении смеси $103,1 \text{ кПа}$;

– скорость нарастания давления при взрыве – это производная давления взрыва по времени на восходящем участке зависимости давления газо-, паро-, пылевоздушной смеси в замкнутом сосуде во времени;

– минимальная энергия зажигания (W) – наименьшее значение энергии электрического разряда, способного воспламенить наиболее легко воспламеняющуюся смесь газа, пара или пыли с воздухом. Для ориентировочного расчета W (МДж) применяется формула $E_{\text{min}}=0.04d^2k_p$, где d – критический зазор, величину которого можно получить расчетным путем или на основе справочных данных, мм.

Для оценки пожароопасности газо- и паровоздушных смесей используют понятие критического зазора (диаметра). С этим понятием связано также определение категории взрывоопасной смеси, которая характеризует способность газопаровоздушной смеси передавать взрыв газа через узкие щели и фланцевые зазоры.

В соответствии с ГОСТ 12.1.011 взрывоопасные смеси газов и паров подразделяются на категории взрывоопасности в зависимости от величины безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ) и значения соотношения минимального тока воспламенения испытуемого газа или пара к минимальному току воспламенения метана (МТВ).

БЭМЗ – это экспериментальный максимальный зазор, через который не происходит передача взрыва из оболочки в окружающую среду при любой концентрации воздуха.

Установлены два вида взрывоопасных смесей: I – метан на подземных горных работах; II – газы и пары за исключением I.

В зависимости от значений БЭМЗ и МТВ газы и пары подразделяются на 3 категории (II А, II В, III С) и 6 групп (Т1–Т6) взрывоопасных смесей. В связи со спецификой данного вида взрывоопасных смесей их категорирование в зависимости от величины БЭМЗ и МТВ и группирование в зависимости от температуры самовоспламенения приведено в [1].

3.3. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

В соответствии с Нормами пожарной безопасности РБ НПБ 5-2005 помещения и здания подразделяются по взрывопожарной и пожарной опасности на категории А, Б, В1, В2, В3, В4, Г1, Г2 и Д (табл. 3.1).

Указанные категории применяют для установления нормативных требований по обеспечению взрывопожарной и пожарной безопасности помещений и зданий в отношении планировки и застройки, этажности, площадей, размещения помещений, конструктивных решений, инженерного оборудования.

Категории взрывоопасной и пожарной опасности помещений и зданий определяются для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода, исходя из вида находящегося в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, особенностей технологического процесса.

Для характеристики условий, в которых работают установки, и правильного выбора электрооборудования ПУЭ установлены классификации взрывоопасных и пожароопасных зон, учитывающие наличие горючих газов, ЛВЖ, взрывоопасных пылей, горючих материалов и ГЖ, расположение зоны (внутри или вне помещения), режим работы оборудования (нормальный или аварийный) и т.д.

Пожароопасной зоной считается пространство внутри или вне помещения, в пределах которого постоянно или периодически образуются горючие вещества. Установлено четыре класса пожароопасных зон: П-I, П-II, П-IIa, П-III.

Взрывоопасной зоной считается пространство внутри или вне помещения, в пределах которого возможно выделение газов, паров ЛВЖ, взрывоопасных пылей, способных образовать при нормальном технологическом процессе или его нарушениях (авариях) взрывоопасные смеси, достаточные для взрыва. Установлено 6 классов взрывоопасных зон: ВI, ВIa, ВIб, ВIг, ВIи, ВIиa.

Класс ВI - зоны производственных помещений, в которых выделяются ГТ и пары ЛВЖ, в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при загрузке и разгрузке технологических аппаратов, хранении и перетягивании ЛВЖ, находящихся в открытых сосудах и т.д.

Класс В1а - зоны производственных помещений, в которых взрывоопасная концентрация газов и паров возможна только в результате аварии или неисправностей.

Класс В1б – те же зоны, что и в классе В1а, но отличающиеся:

– ГГ обладает высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (>15%) и резким запахом при ПДК;

– помещения производств, связанных с обращением водорода, в которых исключается образование взрывоопасной смеси в объеме более 5% свободного объема помещения, имеют взрывоопасную среду только в верхней части помещения;

– зоны помещения с имеющимися ГГ и ЛВЖ в недостаточных количествах, в которых исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения, в них работа производится без применения открытого пламени.

Зоны не относятся к взрывоопасным, если работы с ГГ и ЛВЖ производятся в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами.

Класс В1г – пространство у наружных установок надземных и подземных резервуаров, содержащих ГГ или ЛВЖ, эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтеловушек, у предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических процессов.

Класс В11 - зоны производственных помещений, в которых возможно образование взрывоопасных концентраций пылей или волокон с воздухом при нормальных режимах работы.

Класс В11-а - зоны, аналогичные зонам класса В11, в которых взрывоопасные концентрации пылей и волокон могут образовываться только в результате аварий и неисправностей.

Типовые характеристики производств на предприятиях сборного железобетона согласно Нормам технологического проектирования даны в табл. 3.2.

Зоны класса П-I – это зоны, расположенные в помещениях, в которых общаются ГЖ с $T_{вс} > 61^{\circ}\text{C}$.

Зоны класса П-IIа – зоны, расположенные в помещениях, в которых общаются твердые горючие вещества.

Зоны класса В-Iа – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей. К зонам класса В-Iб относятся помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения; они имеют взрывоопасную зону только в верхней части помещения.

Взрывоопасной зона условно принимается от отметки 0,75 общей высоты помещения, считая от уровня пола, но не выше кранового пути (зарядные станции тяговых и стартерных аккумуляторных батарей, помещения электролиза воды и др.).

Определение пожарной категории В1–В4 помещения или его участков определяется путем сравнения максимального значения удельной временной пожарной нагрузки с табличными величинами (табл. 3.3).

Категории наружных установок по пожарной опасности определяются также по НПБ 5–2005.

Правильный выбор помещений, зданий и наружных установок имеет первостепенное значение при проектировании и эксплуатации объектов, связанных с обращением огнеопасных жидкостей, так как позволяет определить основные требования к генеральному плану, конструкции производственных зданий и расположению в них оборудования, к вентиляции, исполнению электрооборудования и др. В итоге это дает возможность установить оптимальные соотношения между безопасностью производства и размером капитальных вложений на строительство и эксплуатацию объектов.

Таблица 3.1 – Категории помещений по взрывоопасной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А – взрывопожароопасная	Горючие газы (ГГ), ЛВЖ с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать 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 воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б – взрывопожароопасная	Горючие пыли или волокна, ЛВЖ с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости (ГЖ) в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1–В4 – пожароопасные	ЛВЖ, ГЖ 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 взрываться и гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б
Г1	ГГ, ЛВЖ, ГЖ, твердые горючие вещества и материалы, используемые в качестве топлива
Г2	Негорючие вещества и материалы в горячем раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистой теплоты, искр или пламени
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

Таблица 3.2 – Категорирование предприятий сборного железобетона и классификация зон

Наименование цеха, участка, отделения	Категория производства	Класс зоны
Формовочные цехи, в том числе цехи, использующие для тепловой обработки продукты сгорания природного газа	Д	-
Арматурные цехи:		
– участок правки, гибки, резки	Д	-
– участок сварки сеток, каркасов на одно- и многоточечных установках	Г	-
Отделения изготовления закладных деталей:		
– дуговая сварка, сварка под слоем флюса	Г	-
– отделение дробеструйное	Г	-
– отделение металлизации (в кабинах)	Г	-
Бетоносмесительные цехи	Д	-
в том числе отделение приготовления смазки для форм	В	П-I
Склады цемента, заполнителей, готовой продукции, отделения приготовления химических добавок	Д	-
Склады эмульсола	В	П-I
Ремонтно-механические цехи, в том числе: сушильно-пропиточное отделение	А или Б (в зависимости от температуры вспышки паров)	В-Ia или П-I
кузнечно-сварочный участок	Г	-
ремонтно-строительный участок	В	П-IIa
Зарядные станции:		
– зарядное отделение	А	В-Iб
– щелочная, агрегатная	Д	-
Материально-технические склады	В	П-IIa
В том числе склады нефтепродуктов	А, Б или В (в зависимости от температуры вспышки паров)	В-Ia или П-I
Помещение газораспределительного пункта	А	В-Ia

Таблица 3.3 – Распределение помещений на категории В1–В4

Категория	Удельная пожарная нагрузка q на участке, М Дж/м ²
В1	>2200
В2	1400–2200
В3	180–1400
В4	<180

3.4. Огнестойкость строительных конструкций и зданий

Огнестойкость – способность зданий, сооружений и строительных конструкций сохранять свои функции при пожаре (СТБ 11.1.03–94). Огнестойкость строительных конструкций характеризуется пределом огнестойкости.

Предел огнестойкости – показатель огнестойкости конструкции, определяемый временем от начала стандартного огневого испытания до наступления одного из нормируемых для данной конструкции предельных состояний по огнестойкости.

Предельное состояние конструкции по огнестойкости – состояние конструкции при котором она утрачивает способность сохранять одну из своих противопожарных функций. Нормируются следующие предельные состояния:

– потеря несущей способности (R) вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций. К несущим конструкциям относятся элементы здания, обеспечивающие его общую устойчивость и геометрическую неизменяемость при пожаре;

– потеря целостности (E) в результате образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя;

– потеря теплоизолирующей способности (J) вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем на 140 °С, в отдельной точке на 180 °С, либо достижение температуры 220 °С.

Для нормирования пределов огнестойкости несущих и ограждающих конструкций по ГОСТ 30247.1 используют следующие предельные состояния:

– для колонн, балок, ферм, арок и рам – только по R;

– для наружных несущих стен и покрытий – по R и E;

– для наружных ненесущих стен – по E;

– для ненесущих внутренних стен и перегородок – по E и J;

– для несущих внутренних стен и противопожарных преград – по R, E, J.

Обозначение предела огнестойкости строительной конструкции состоит из основных обозначений, нормируемых для данной конструкции предельных состояний, – цифры, соответствующей времени достижения в минутах одного из этих состояний (первого по времени), например:

R120 – предел огнестойкости 120 мин. – по потере несущей способности;

RE60 – предел огнестойкости 60 мин. – по потере несущей способности и по потере целостности, независимо от того, какое из двух предельных состояний наступит ранее;

REJ30 – предел огнестойкости 30 мин. – по потере несущей способности, потере целостности и теплоизолирующей способности, независимо от того, какое из трех предельных состояний наступит ранее.

Если для конструкции нормируются (или устанавливаются) различные пределы огнестойкости по различным предельным состояниям, обозначение предела огнестойкости состоит из двух или трех частей, разделенных между собой наклонной чертой. Например: R120/EJ60 – предел огнестойкости 120 мин. – по потере целостности или теплоизолирующей способности, независимо от того, какое из двух последних предельных состояний наступит ранее.

По пожарной опасности строительные конструкции подразделяются на 4 класса: КО – непожароопасные; К1 – малопожароопасные; К2 – умеренно пожароопасные; К3 – пожароопасные.

Класс пожарной опасности представляет собой классификационную характеристику пожарной опасности конструкций и определяется по результатам стандартных испытаний.

Огнестойкость зданий или их частей, выделенных противопожарными стенами 1-го типа (пожарных отсеков), характеризуется степенью огнестойкости.

Степень огнестойкости здания – классификационная характеристика объекта, определяемая показателями огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций.

Нормирование зданий и сооружений по степеням огнестойкости необходимо для обеспечения требований системы противопожарной защиты и части ограничения пожара за пределы очага и обеспечения коллективной защиты людей и материальных ценностей в зданиях и сооружениях.

С этой целью здания по функциональному назначению подразделяются на следующие классы: Ф1 – здания для постоянного и временного проживания; Ф2 – зрелищные и культурно-просветительские учреждения; Ф3 – предприятия по обслуживанию населения; Ф4 – учебные заведения, научные и проектные организации; Ф5 – производственные и складские здания, сооружения и помещения (Ф5.1 – производственные здания и сооружения, производственные и лабораторные помещения, мастерские; Ф5.2 – складские здания и сооружения, стоянки для автомобилей без технического обслуживания и ремонта, книгохранилища, архивы, складские помещения; Ф5.3 – сельскохозяйственные здания; Ф5.4 – административные и бытовые здания предприятий).

В соответствии с СНБ 2.02.01–98 здания делятся на 8 степеней огнестойкости в зависимости от значений пределов огнестойкости и классов пожарной опасности основных строительных конструкций (табл. 3.4).

3.5. Объемно–планировочные решения при проектировании производственных зданий и хранении веществ и материалов с учетом противопожарных требований

Для ограничения распространения пожара из одной части здания в другую и уменьшения возможностей площади горения устраивают противопожарные преграды в виде противопожарных стен, перегородок, перекрытий, зон, вставок, дверей, окон. Все они относятся к общим приемам и предназначены для ограничения объемного распространения пожара из одного помещения в смежные по всей высоте здания, из одного этажа в следующий или из одного помещения в другое в пределах этажа.

К местным противопожарными преградам относят такие, которые ограничивают линейное распространение пожара: по поверхности конструкций, по ее пустотам, по разлитой жидкости и другим материалам. Они представляют собой гребни, козырьки, бортики и т.д.

Проемами в противопожарных перегородках, стенах могут быть тамбуры, шлюзы, двери, ворота, люки, проходы, эвакуационные пути, выходы и т.д.

Требования к общим и местным противопожарным преградам и проемам предъявляются особые, т.к. они предназначены для спасения жизни людей

в случае возникновения пожара, и они подробно изложены в [1] и нормативных документах ТКП 45–2.02.92–2007 «Ограничение распространения пожара в зданиях и сооружениях. Объемно-планировочные и конструктивные решения. Строительные нормы проектирования» и ТКП 45–2.02–34–2006 «Здания и сооружения. Отсеки пожарные. Нормы проектирования».

Таблица 3.4 – Пределы огнестойкости и классы пожарной опасности строительных конструкций

Степень огнестойкости	Предел огнестойкости и класс пожарной опасности строительных конструкций							
	Несущие элементы здания	Самонесущие стены	Наружные несущие стены	Перекрытия	Элементы бесчердачных покрытий		Лестничные клетки	
					Настилы	Фермы, балки, прогоны	Внутренние стены	Марши и площадки лестниц
I	R120-K0	RE90-K0	E60-K0	REI90-K0	RE30-K0	R30-K0	REI120-K0	R60-K0
II	R120-K0	RE75-K0	E30-K0	REI60-K0	RE30-K0	R30-K0	REI120-K0	R60-K0
III	R90-K0	RE75-K0	E30-K0	REI60-K0	RE30-K0	R30-K0	REI105-K0	R45-K0
IV	R60-K0	RE45-K0	E30-K1	REI45-K0	RE15-K1	R15-K1	REI90-K0	R45-K0
V	R45-K1	RE30-K1	E15-K2	REI45-K1	RE15-K1	R15-K1	REI60-K0	R45-K0
VI	R30-K2	RE15-K2	E15-K2	REI30-K2	RE15-K1	R15-K1	REI45-K0	R30-K1
VII	R15-K3	RE15-K3	E15-K3	REI15-K3	RE10-K3	R15-K3	REI30-K1	R15-K2
VIII	Н.Н.-К3	Н.Н.-К3	Н.Н.-К3	Н.Н.-К3	Н.Н.-К3	Н.Н.-К3	Н.Н.-К1	Н.Н.-К2

Примечания: 1. К несущим элементам здания относятся: несущие стены, колонны, балки перекрытий, ригели, фермы, элементы арок и рам, диафрагмы жесткости, а также другие конструкции (за исключением самонесущих стен) и связи, обеспечивающие общую устойчивость и геометрическую изменчивость здания.

2. В зданиях всех степеней огнестойкости требования по пределам огнестойкости внутренних несущих стен и перегородок, заполнения проемов в строительных конструкциях (дверей, ворот, окон, люков, а также фонарей), не предъявляются, за исключением специально оговоренных случаев, и на степень огнестойкости здания не влияют.

Крупные промышленные предприятия, как правило, имеют большое складское хозяйство для хранения сырьевых, вспомогательных, хозяйственных, строительных и других материалов, а также готовой продукции, полупродуктов, горючего, масла, тары и т.п.

Перечисленные материалы по внешним признакам можно разделить на следующие группы: штучные (тарные), сыпучие, жидкие, газообразные.

Особое внимание следует уделять складам материалов, из которых при загрузке, выгрузке, транспортировании могут выделяться в воздух токсичные, агрессивные, коррозионно-активные и горючие компоненты, пыль и т.п.

В связи с высокой потенциальной пожарной опасностью складского хозяйства ППБ 1.01–94 установлены многие требования в части погрузо-разгрузочных работ, складирования веществ и материалов, планировки помещений, хранения горючих, химических и токсичных веществ, ЛВЖ, ГЖ, ГГ, растаивания продукции и др. [1].

В соответствии с ПУЭ в пожароопасных зонах, как правило, используется электрооборудование закрытого типа, внутренняя полость которого отделена от внешней среды оболочкой. Аппаратура управления и защиты, светильники применяются в пыленепроницаемом исполнении. Вся электропроводка обеспечивается надежной изоляцией.

Во взрывоопасных зонах и наружных установках необходимо использовать взрывозащищенное электрооборудование, изготовленное в соответствии с ГОСТ 30852.0–2002. Согласно ему, все электрооборудование по степени его надежности при установленных нормативными документами условиях подразделяется на три уровня взрывозащиты:

2 уровень – повышенной надежности против взрыва, в котором взрывозащита обеспечена только при нормальном режиме работы;

1 уровень – взрывобезопасный, в котором взрывозащита обеспечивается как при нормальном режиме работы, так и при признанных вероятных повреждениях, кроме повреждений средств взрывозащиты;

0 уровень – особо взрывобезопасный, в котором по отношению к взрывобезопасному приняты дополнительные средства взрывозащиты.

Для обеспечения необходимого уровня взрывозащиты в оборудовании используют специальные виды взрывозащиты, под которыми понимают конструктивные средства и меры, обеспечивающие невозможность окружающей взрывоопасной среды от электрических искр, дуг, пламени, нагретых частей. Виды взрывозащиты обозначаются латинскими буквами (d, i, ia, e, p, o, n, m, g, s) и предназначены для защиты от различных опасных факторов взрывов.

В зависимости от области применения взрывозащищенное электрооборудование делится на две группы: I – предназначено для шахт и подземных выработок, II – для производственных помещений и наружных установок. Электрооборудование типов d и i подразделяется на подгруппы (II A, II B, II E) в зависимости от величины щелевого зазора (БЭМЗ).

Для ограничения нагрева внутренних и наружных частей взрывозащищенного электрооборудования установлены его температурные классы, равные нижней температуре самовоспламенения соответствующей группы смесей ($T_1 < 450^\circ\text{C}$, $T_2 - 300$, $T_3 - 200$, $T_4 - 135$, $T_5 - 100$ и $T_6 - 80^\circ\text{C}$).

Маркировка взрывозащищенного электрооборудования выполняется в форме прямоугольника в виде цельного, не разделенного на части знака.

Например: 2ExIIAT3, где 2 означает уровень взрывозащиты, Ex – указывает на соответствие ГОСТ, d – вид взрывозащиты, IIA – категория взрывоопасной смеси, T3 – температурный класс защиты.

При выборе электрооборудования для взрывоопасных зон необходимо:

- 1) установить класс взрывоопасной зоны на основе анализа веществ и материалов, свойств окружающей среды (B-I, B-Ia, B-Ib, B-Ig, B-II, B-IIa согласно общим указаниям или по табл. 3.2);
- 2) определить категорию (IIA, IIB, IIC) и группу (T1-T6) взрывоопасной смеси согласно [1];
- 3) согласно ПУЭ выбрать требуемое исполнение электрооборудования;
- 4) по справочнику найти конкретный тип (марку) электрооборудования.

В соответствии с ПУЭ необходимо принять соответствующий уровень и степень защиты электрооборудования.

Во взрывоопасных зонах электрооборудование и приборы могут использоваться лишь при условии, что уровень их взрывозащиты и степень защиты оболочки соответствуют аналогичным параметрам электрических машин.

Пусковую аппаратуру в классах зон VI, VII необходимо выносить за пределы помещений и снабжать их устройствами дистанционного управления. Провода следует прокладывать внутри стальных труб или использовать бронированный кабель. То же относится и к светильникам специального назначения. Светильники общего назначения допускается применять при освещении: через неоткрывающиеся окна, через защитные стекла или стеклянные кожухи, через специальные ниши с двойным остеклением, через фонари специального типа, с помощью щелевых световодов и в других случаях.

В пожароопасных зонах ПI, ПII должны применяться закрытые светильники с соответствующими степенями защиты. В зонах классов П-IIa, П-III степень защиты с любым источником света должна быть не ниже IP 23.

Соответствующие требования предъявляются к электропроводке и переносным светильникам в пожаро- и взрывоопасных зонах.

3.6. Количественная оценка взрывоопасности технологических объектов

Важнейшей характеристикой энергии взрывов на взрывоопасных технологических объектах является энергетический потенциал (суммарное энерговыделение), который используется в качестве количественного показателя уровня возможных разрушений.

Различают общий энергетический потенциал взрывоопасности технологического блока E (КДж), стадии, объекта и относительный (Q_v).

Общий энергетический потенциал взрывоопасности – это показатель степени и масштабов разрушений взрыва, характеризующихся цельной энергией адиабатического расширения парогазовой среды, полного сгорания имеющихся и образующихся из жидкостей паров (газов) за счет внутренней и внешней (окружающей среды) энергий при аварийном раскрытии технологической системы (блока).

Химико-технологическая система – это совокупность взаимосвязанных технологическими потоками и действующих как одно целое аппаратов, в которых осуществляется определенная последовательность технологических операций.

Технологический блок представляет собой аппарат или их группу (с минимальным числом), которые в заданное время могут быть отключены (изолированы) от технологической системы без опасных изменений в смежной аппаратуре или системе.

Относительный энергетический потенциал взрывоопасности Q_v является показателем степени и масштабов разрушений взрыва парогазовой среды в технологическом блоке при условии расхода общего энергетического потенциала технологического блока E непосредственно на формирование ударной волны. Он равен: $Q_v = \frac{\sqrt{E}}{16.534}$.

Общая масса горючих паров (газов) взрывоопасного парового облака m (кг) может быть определена из соотношения: $m = E/4,6 \cdot 10^4$.

Категории взрывоопасности устанавливаются по Q_v и m , т.е. массе горючего вещества, приведенной к единой энергии сгорания 46000 кДж/кг, равной удельной теплоте сгорания большинства углеводородов.

Категории взрывоопасности технологических объектов определяются в зависимости от величин относительного энергетического потенциала Q_v и приведенной массы взрывоопасных сред по табл. 3.5.

Проматомнадзор РБ регистрирует взрывоопасные производства и объекты, имеющие в своем составе взрывоопасные технологические блоки с $Q_v > 9$, а также блоки с $Q_v > 6$, если в них обращаются вещества 1 и 2 классов опасности или вещества остронаправленного действия 3 и 4 классов опасности, а также осуществляют за ними специальный госнадзор.

Таблица 3.5 – Характеристика категорий взрывоопасности технологических объектов

Категория взрывоопасности	Q_v	m , кг
I	>37	>5000
II	27-37	2000-5000
III	<27	<2000

Для оценки разрушительности взрывов, вызванных различными взрывчатыми веществами и средами, широко используется метод адекватности. По этому методу степень разрушения объектов характеризуется тротиловым эквивалентом, т.е. количеством тротила, необходимого для получения данного уровня разрушений.

При взрывах конденсированных взрывчатых веществ на образование ударной воздушной волны расходуется практически вся энергия взрыва (>90%), в то время как максимально возможный КПД взрыва парового газа составляет около 40%, а остальные расходуются на нагревание продуктов реакции и воздуха в ударной волне.

Разрушающую способность взрыва характеризуют избыточным давлением, действующим на объект. Различают шесть категорий повреждений:

- A – полное разрушение здания, избыточное давление $P=70$ кПа;
- B – тяжелые повреждения, здание подлежит сносу, $P=33$ кПа;
- C – средние повреждения, возможно восстановление здания, $P=25$ кПа;
- D – разбито 90% остекления, $P=4$ кПа;
- E – разбито 50 % остекления, $P=0,2$ кПа;
- F – разбито 5 % остекления, $P=0,005$ кПа.

По значениям E и производным значениям Q_v и m можно определить условный радиус полного разрушения объекта, но расчет является ориентировочным и может применяться при выборе основных мероприятий и направлений организационно-технического характера. Также можно рассчитать тротиловый эквивалент взрыва парогазовой среды и конденсированных взрывчатых веществ, а также определить зону избыточного давления, которой считается площадь с границей, определяемой радиусом R , центром которой (местом отсчета) является рассматриваемый технологический блок. Границы каждой зоны (а всего их имеется пять) характеризуются значениями избыточных давлений по фронту ударной волны [1].

3.7. Средства тушения пожаров и пожарная сигнализация

Согласно ГОСТ 12.1.033 локализация пожара – это действия, направленные на предотвращение возможности дальнейшего распространения горения и создание условий для его успешной ликвидации имеющимися силами и средствами.

Ликвидация пожара – это действия, направленные на окончательное прекращение горения, а также на исключение возможности его повторного возгорания. Успех локализации и ликвидации пожара зависит от наличия соответствующих средств пожарной связи и сигнализации для вызова пожарной помощи и умения их оперативно использовать.

Для тушения пожара необходимо:

- охладить зону горения ниже температуры самовоспламенения или понизить температуру горючего вещества ниже температуры воспламенения;
- разбавить реагирующие вещества негорючими веществами;
- изолировать горючие вещества от зоны горения.

Тушение пожара представляет собой процесс воздействия сил и средств, а также использования методов и приемов для его ликвидации. При тушении пожаров широкое применение находят такие вещества, как вода, ее пары, а также другие жидкости, газы, порошки некоторых веществ, обладающих наиболее эффективным огнетушащим действием.

Огнетушащее вещество должно обладать физико-химическими свойствами, позволяющими создавать условия для прекращения горения. Такие вещества могут быть в твердом, жидком или газообразном состоянии.

Вода является наиболее дешевым и распространенным средством тушения пожаров. Она обладает высокой теплоемкостью, теплотой парообразования (2258 Дж/г), повышенной термостойкостью (>1700 °С), низкой температурой испарения (100 °С), большим увеличением объема при парообразовании (1 кг воды = 1700 л пара). Воду для тушения пожаров применяют везде, кроме тушения установок и оборудования, находящихся под электрическим напряжением, в связи с ее высокой электропроводностью.

Подача воды к очагу горения может быть в виде:

- сплошной (компактной) струи из лафетных стволов с насадками $\varnothing 28-50$ мм или из ручных пожарных стволов с насадками $\varnothing 13-25$ мм, передвижных пожарных автонасосов или мотопомп, забирающих воду из гидрантов,

- распыленной струи с размером капель воды < 100 мкм;
- тонкодисперсной струи с размером капель воды < 100 мкм, полученной из стационарных или переносных распылителей;
- растворов, содержащих 0,2-2,0 % массы смачивателей для снижения поверхностного натяжения;
- водобромэтиловой эмульсии, содержащей 90 % массы воды и 10 % бромистого этила.

Область применения воды в виде струи, растворов и эмульсии в настоящее время определена, а технология пожаротушения отработана и изложена в [1].

Химические и воздушно-механические пены для тушения пожаров получили широкое применение. Химическую пену получают смешением пенопорошков с водой в пеногенераторах. Струя воды под давлением увлекает из бункера пенопорошок, смешивается с ним, и полученная пена подается к очагу пожара. Воздушно-механическая пена представляет собой смесь воздуха, воды и пенообразователя.

Чаще всего используются углеводородные и фторсодержащие пенообразователи – «Барьер пленкообразующий», «Барьер 612», ТЭАС, ПО-6, ОСТ и др. Огнетушащие свойства пены определяются ее устойчивостью, кратностью, биоразлагаемостью и смачивающей способностью.

Устойчивость пены – это ее способность к сохранению первоначальных свойств.

Кратность пены – отношение объема пены к объему первоначального раствора.

Биоразлагаемость – способность поверхностно-активных веществ разлагаться под действием микрофлоры водоемов и почв.

Смачивающая способность – способность рабочего раствора пенообразователя смачивать твердые материалы.

Применяют два вида устойчивых огнетушащих пен: воздушно-механическую и химическую. Воздушно-механическая пена представляет собой механическую смесь воздуха, воды и поверхностно-активного вещества (пенообразователя). Ее получают в пенокамерах. Химическая пена образуется при взаимодействии карбоната или бикарбоната натрия или других солей с кислотой в присутствии пенообразователя в пеногенераторах с применением пенопорошка.

Инертные газы и пар также применяют для тушения пожаров, чаще всего взрывоопасных. При передаче инертных газов (диоксида углерода, углекислоты, азота, аргона и др.); водяного пара в зону горения снижается концентрация окислителя и процесс горения прекращается. Широко применяют диоксид углерода в сжиженном состоянии в баллонах под давлением 7МПа. При выходе из баллона в результате резкого снижения давления он охлаждается и превращается в снегообразную массу. Водяной пар применяют в основном для тушения пожаров в помещениях, азот – при тушении веществ, горящих пламенем; диоксид углерода – для объемного тушения пожаров (на складах, ЛВЖ, аккумуляторных станциях и т.д.).

Галогенуглеводороды представляют собой газы, или легкоиспаряющиеся жидкости (фреон, хладон, хлорбромметан, бромистый этил и др.), которые применяют в огнетушащих составах. Хладоны (за рубежом – галлоны) в нашей стране классифицируются так: первая цифра – число атомов углерода минус «единица», вторая – число атомов углерода плюс «единица», третья – число атомов фтора. Бром характеризуется буквой «В» и цифрой по числу атомов, число атомов определяется по свободным связям.

Наиболее распространены: трифторбромметан (хладон 13В1), дифторхлорбромметан (хладон 12В1) – газы; дибромтетрафторэтан (хладон 114В2), дибромдифторметан (хладон 12В2) – тяжелые жидкости с запахом. При введении в зону горения таких составов происходит подавление (торможение) процесса горения. Их применение эффективно при тушении горючих веществ в закрытых объемах.

Твердые и комбинированные огнетушащие вещества в виде порошков применяют для тушения небольших загораний, а также при невозможности применения и отсутствии других средств. К ним относятся песок, пошаш, квасцы, сухая земля и другие специальные составы. Огнетушащее действие порошков состоит в изоляции зоны горения. Как правило, специальные порошковые составы (ПСБ, ПС, П-1А, СИ, ПФ) выбрасывают в очаг пожара сжатым азотом или воздухом.

Первичные средства тушения пожара – это внутренние пожарные краны, огнетушители, песок, одеяла и кошма, лопаты и совки, багры и топоры и т.д. Широко применяются ручные и стационарные огнетушители. Химические пенные (первые – ОХП-10, последующие – ОП-14, ОП – 9 ММ и др.); воздушно-пенные (ОВП-50, ОВП-100, ОВПС-250А, ОВПУ-250, где цифра обозначает продолжительность действия в секундах); газовые-углекислотные (ручные ОУ-2, ОУ-3, ОУ-5, ОУ-8, ОУ-10, где цифра обозначает емкость баллона в литрах и передвижные (ОУ-20, ОУ-40, ОУ-80), аэрозольные (ОА-1, ОА-3), углекислотно-бромэтиловые (ОУБ-3), порошковые (ОПУ-2-01, ОП-2М, ОП-5Ф, ОППС-100) и большое количество наименований и разновидностей других).

К автоматическим стационарным системам пожаротушения относятся установки, в которых все элементы смонтированы и находятся постоянно в готовности к действию. На практике наиболее широко используются установки водяного пожаротушения (спринклерные и дренчерные), быстродействующие установки пожаротушения локального действия, установки пожаротушения распыленной и мелкодисперсной водой, установки поверхностного, объемного, газового, порошкового, пенного и водопенного действия [1, 13].

Охранно-пожарная сигнализация, извещающая органы пожарной охраны предприятия о месте возникновения пожара, бывает автоматического и ручного действия. Один из основных видов – телефонная связь.

Автоматическая пожарная сигнализация по исполнению бывает лучевой, где каждый извещатель соединен с приемной станцией, и шлейфовой, где извещатели последовательно соединены со станциями (по 50 на станцию). Извещатели бывают ручными и автоматическими – тепловые, дымовые, световые и комбинированные, где каждый извещатель настроен на свой вид пожарного воздействия. В сигнализации ручного действия применяют кнопочные извещатели.

Пример 3.1. Определить требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций стен, колонн, перекрытий, покрытий и перегородок производственного здания, относимого по пожарной безопасности к категории В (табл. 3.6).

Таблица 3.6 – Исходные данные для решения вариантов задачи

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Площадь противопожарных отсеков $F_{отс}$, м ²	1000	4000	3000	2000	6000	4000	6000	4000	3000	5000
Гарантированный расход воды, Q , л/с	180	200	160	220	180	200	220	160	180	180
Интенсивность подачи воды J , л/м ² с	0,1	0,08	0,2	0,1	0,08	0,15	0,15	0,1	0,08	0,2
Площадь поверхности горения, %	100	80	40	80	60	100	90	80	100	100

Примечание:

1. Удельная масса горючих веществ $M=75\text{кг/м}^2$.
2. Массовая скорость выгорания веществ $m=50\text{ кг/м}^2\cdot\text{ч}$.
3. Время до начала тушения пожара привозной техникой $\Delta t = 20$ мин., а при наличии стационарных установок ручного действия $\Delta t=10$ мин.

Задача. 1. Определить нормативное время тушения пожара.

2. Определить эффективную площадь тушения.

3. Определить требуемые пределы огнестойкости конструкций для случаев подачи средств тушения привозной техникой и стационарными средствами.

Исходные данные: здание многоэтажное, площадь пожарных отсеков $F_{отс}=5000\text{ м}^2$. Гарантированный исход воды для целей пожаротушения $Q=200\text{ л/с}$. Интенсивность подачи воды $J=0,08\text{ л/м}^2\text{ с}$. Площадь поверхности горения равна площади отсека. Удельная масса горючих веществ $M=75\text{ кг/м}^2$. Массовая скорость выгорания веществ $m=50\text{ кг/м}^2\text{ г}$. Время до начала тушения привозной техникой $\Delta t=20$ мин., при наличии стационарных систем $\Delta t=10$ мин.

Решение.

1. Определяем нормативное время тушения пожара по формуле:

$$t_n = \frac{5.2}{(J - 0.05)^{0.578}} = \frac{5.2}{(0.08 - 0.05)^{0.578}} = 9.3 \text{ мин.}$$

2. Определяем эффективную площадь тушения

$$f = \frac{Q}{J} = \frac{200}{0.08} = 2500 \text{ м}^2.$$

Как видим, $F_{гор} = F_{отс} = 5000\text{ м}^2 > f = 2500\text{ м}^2$.

3. Определяем требуемые пределы огнестойкости для случая подачи средств огнетушения привозной техникой:

– стен и колонн

$$P_{np} = K_0 \cdot \left(\frac{F_{згп} \cdot J \cdot t_n}{Q} + \Delta t \right) = 2 \cdot \left(\frac{5000 \cdot 0.08 \cdot 9.3}{200} + 20 \right) = 44.5 \text{ мин};$$

– перекрытий и покрытий:

$$P_{np} = 1 \cdot \left(\frac{5000 \cdot 0.08 \cdot 9.3}{200} + 20 \right) = 22.5 \text{ мин};$$

– перегородок:

$$P_{np} = 0.5 \cdot \left(\frac{5000 \cdot 0.08 \cdot 9.3}{200} + 20 \right) = 11.5 \text{ мин};$$

где $K_0 = 2; 1; 0,5$ - коэффициент весомости конструкций.

4. Определяем требуемые пределы огнестойкости для случая подачи средств тушения стационарными системами:

– стен и колонн:

$$P_{np} = 2 \cdot \left(\frac{5000 \cdot 0.08 \cdot 9.3}{200} + 10 \right) = 24.5 \text{ мин};$$

– перекрытий и покрытий:

$$P_{np} = 1 \cdot \left(\frac{5000 \cdot 0.08 \cdot 9.3}{2000} + 10 \right) = 12.2 \text{ мин};$$

– перегородок:

$$P_{np} = 0.5 \cdot \left(\frac{5000 \cdot 0.08 \cdot 9.3}{200} + 10 \right) = 6.1 \text{ мин}.$$

5. Определяем продолжительность пожара при свободном горении:

$$T = \frac{M}{m} = \frac{75}{50} = 1.5 \text{ часа}.$$

Вывод. Результаты решения примера показывают, что предел огнестойкости стен, колонн, перекрытий и покрытий, перегородок, предусмотренный нормами, меньше свободной продолжительности пожара. Это подтверждает целесообразность применения систем пожаротушения.

Пример 3.2. Расчитать установку для тушения пожара углекислотой в помещении завода категории А (табл. 3.7, вариант 1).

Исходные данные: расчетный объем защищаемого объекта $M_p=450 \text{ м}^3$. Коэффициент утечки газа $K_u=1,0$. Длина трубопровода $L=75 \text{ м}$. Категория помещения по взрывопожароопасности – А. Вместимость баллона с газом $V_b=40 \text{ л}$. Диаметр трубопровода – $D=26 \text{ мм}$.

Решение.

1. Определяем количество огнетушащего газового состава, который при расчете и проектировании газовых установок определяют по формуле:

$$Q_c = C_c \cdot M_n \cdot K_y + C_0 = 0.678 \cdot 450 \cdot 1.0 + 0.2 = 305.3 \text{ кг},$$

где C_c – огнетушащая концентрация газового состава, в производственных помещениях категории В для тушения пожаров двуокислого углерода $C_c = 0.637 \text{ кг/м}^3$, категорий А и Б – $C_c = 0.678 \text{ кг/м}^3$; $C_0 = 0.2 \text{ кг}$ – количество газового состава, остающегося в установке.

2. Требуемое число рабочих баллонов с углекислотой вычисляют из выражения:

$$N_6 = \frac{Q_c}{V_6 \cdot \rho \cdot \alpha_n} = \frac{305.3}{40 \cdot 0.925 \cdot 0.9} = 9.2 \text{ шт.}$$

Принимаем $N_6 = 10 \text{ шт.}$,

где $\rho = 0.925 \text{ кг/л}$ – плотность углекислоты;

$\alpha_n = 0.9-1.0$ – коэффициент наполнения баллонов.

Таблица 3.7 – Исходные данные для решения задачи

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расчетный объем защищаемого здания $M_n, \text{ м}^3$	450	600	900	750	500	850	750	850	900	550
Коэффициент утечки газа K_y , ед.	1,0	1,5	1,1	1,4	2,0	1,8	1,2	1,5	1,2	1,5
Длина трубопровода, $L, \text{ м}$	75	40	25	60	90	100	65	45	90	80
Категория помещения по взрывопожаро опасности	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А
Вместимость баллона $V_6, \text{ л}$	40	36	33	30	27	25	40	36	33	30
Диаметр трубопровода $D, \text{ мм}$	26	40	52	67	67	52	40	28	26	40

Примечания: 1. K_y – коэффициент, учитывающий особенности процесса газообмена, утечку углекислоты через неплотности и проемы защищаемого объекта. 2. L – длина трубопровода до места тушения, загорания.

3. Число резервных баллонов принимается равным числу рабочих баллонов: $N_p = N_6 = 10 \text{ шт.}$

4. Пропускная способность трубопровода углекислоты может быть проверена по формуле:

$$Q = \sqrt{(P_1 \cdot P_2) / 2AL} = \sqrt{(4.9 \cdot 10^3 \cdot 2900) / (2 \cdot 0.306 \cdot 75 \cdot 10^6)} = 1.8 \text{ кг/с},$$

где P_1 и P_2 – давление газового состава в начале и конце трубопровода, $P_1 = 49 \times 10^3 \text{ кг/м}^2$, $P_2 = 2900 \text{ кг/м}^2$;

A – удельное сопротивление трубопровода, зависимое от его диаметра: при $D=26$ мм – $A=0,306 \times 10^6$ с²/м⁵,
при $D=40$ мм – $A=0,0312 \times 10^6$ с²/м⁵,
при $D=52$ мм – $A=0,0078 \times 10^6$ с²/м⁵,
при $D=67$ мм – $A=0,00202 \times 10^6$ с²/м⁵.

Вывод: Пропускная способность трубопровода $Q=1,8$ кг/с обеспечит заполнение установки для тушения пожара за $t=Qr/Q=305,3/1,8=170$ с = 2,83 мин., что является достаточным временем для ликвидации пожара по сравнению с предыдущим примером.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важнейший социальный эффект реализации мер по охране труда – это сохранение жизни и здоровья работающих. Наряду с этим охрана труда имеет и большое экономическое значение. Состояние безопасности и условий труда оказывает свое воздействие на период профессиональной активности трудящихся, производительность труда, потери, связанные с травматизмом и заболеваемостью на производстве, затраты на льготы и компенсации по условиям труда.

Немаловажное значение в этом направлении имеет изучение курса «Охрана труда» на лекциях и практическое решение инженерных задач по охране труда при проведении практических занятий и выполнении лабораторных работ, в процессе обучения и дипломирования.

Настоящее учебно-методическое пособие посвящено практическому решению инженерных задач по охране труда в области строительства, машиностроения, промышленной электроники и вычислительной техники, транспорта и производства строительных материалов и конструкций, в части производственной санитарии и гигиены труда, техники безопасности, электробезопасности, пожаробезопасности. Даны теоретическая интерпретация и практические решения 24 задач в данном направлении для студентов строительного, технического и экономического профилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Челноков, А.А. Охрана труда: учебн. пособие / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. – 4-е изд., испр. и доп. – Мн.: Высш. школа, 2009. – 464 с.
2. Библиотека журнала «Ахова працы». – 2004. – №1.
3. Санитарные правила и нормы. СанПиН 11-6-02 РБ.
4. Инженерные решения по охране труда в строительстве / Г.Г. Орлов [и др.]; под ред. Г.Г. Орлова. – М.: Стройиздат, 1985. – 278с.
5. Пчелинцев, В.А. Охрана труда в производстве строительных изделий и конструкций: учебн. для студ., обучающихся по спец. «Производство строит. изделий и конструкций» / В.А. Пчелинцев [и др.]. – М.: Высш. школа, 1986., - 311с.
6. Пчелинцев, В.А. Охрана труда в строительстве: учебн. для строит. вузов и фак. – М.: Высш. школа, 1991. – 272с.
7. Золотницкий, Н.Д. Охрана труда в строительстве: учебник для вузов / Н.Д. Золотницкий, В.А. Пчелинцев; под ред. Н.Д. Золотницкого. – М.: Высш. школа, 1978. – 408с.
8. Безопасность труда в строительстве. Общие требования: ТКП 45-1.03-40-2006(02250). – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2007. – 45с.
9. Безопасность труда в строительстве. Строительное производство: ТКП 45-1.03-44-2006(02250). – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2007. – 33с.
10. Михнюк, Т.Ф. Охрана труда и экологическая безопасность. Задачи и расчеты: учебное пособие. – Мн.: Дизайн ПРО, 2004. – 96с.
11. Правила устройства электроустановок: действие правил в энергетике РБ, утв. Приказом №380 от 28.02.2005 г. – 6-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Дизайн ПРО, 2007. – 720 с.: ил.
12. Справочник по электробезопасности. – 2-е изд., перераб. и доп. // Ахова працы. – 2007. – № 12.
13. Алексанян, А.Г. Охрана труда: учебн. для строит. техникумов по спец. ПСиК / А.Г. Алексанян, Я.Е. Быстрицкий. – М.: Высш. школа, 1989. – 143с.
14. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность: ТР 2009/013/ВУ. – Минск: Госстандарт, 2010. – 22с.
15. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территориях жилой застройки: СанПин 2.2.4/2.1.8.10–32–2002.
16. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04–153–2009. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2009.
17. Гигиеническая классификация условий труда: СанПин 13-2–2007, утверждены постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 20.12.2007, № 176.
18. Гигиеническая оценка характера трудовой деятельности по показателям тяжести и напряженности труда: Инструкция 2.2.7.11–11–200–2003.

19. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий: СанПин 2.2.4/2.1.8.10-33-2002, утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 31.12.2002, №159.
20. Вяльцев, А.В. Практикум по безопасности жизнедеятельности / А.В. Вяльцев, Г.В. Казьмина; под общ. ред. профессора А.В. Фролова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009.

Учебное издание

Составители:

*Чернюк Владимир Петрович
Щербач Валерий Петрович
Семенюк Сергей Михайлович
Пчелин Вячеслав Николаевич
Юськович Виталий Иванович
Юськович Георгий Иванович
Тимошук Валерий Анатольевич*

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Учебно-методическое пособие
к проведению практических занятий и
выполнению раздела дипломного проекта
«Охрана труда»
для студентов строительных, технических
и экономических специальностей

2-е издание, исправленное, переработанное и дополненное

Ответственный за выпуск: Чернюк В.П.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.

Корректор: Никитчик Е.В.

ISBN 978-985-493-192-0



Подписано к печати 4.01.2011 г. Бумага «Снегурочка».
Формат 60x84 ¹/₁₆. Гарнитура «Arial».
Усл. п. л. 7,0. Уч.-изд. л. 7,5. Тираж 100 экз.
Заказ № 401. Отпечатано на ризографе учреждения
образования «Брестский государственный
технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.
Лицензия № 02330/0549435 от 8.04.2009 г.