

1
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технологии строительного производства

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Учебно-методическое пособие
к проведению практических занятий и
выполнению раздела дипломного проекта
«Охрана труда»
для студентов строительных, технических
и экономических специальностей

Брест 2010

УДК 331.45/(07)
ББК 65.9 (Бел) 248я7
И62

Рецензент: начальник отдела стройтреста №8 *Ребров Г.Е.*

Чернюк В.П., Щербач В.П., Пчёлин В.Н. и др.

И62 Инженерные решения задач по охране труда. Учебно-методическое пособие. – Брест: Издательство БрГТУ, 2010

ISBN 978-985-493-147-0

В пособии приведены технические решения задач по охране труда, касающиеся разделов производственной санитарии, гигиены труда, электробезопасности и техники безопасности. 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 задач.

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

13 рис., 36 табл., 12 задач, 9 библ.

УДК 331.45/(07)
ББК 65.9 (Бел) 248я7

ISBN 978-985-493-147-0

© Коллектив авторов, 2010
© Из-во БрГТУ, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ САНИТАРИИ И ГИГИЕНЫ ТРУДА.....	5
1.1. Производственная пыль и её воздействие на человека.....	5
1.1.1. Гигиенические критерии оценки условий труда при воздействии аэрозолей преимущественно фиброгенного действия.....	5
1.2. Автомобильная дорога и атмосфера.....	8
1.2.1. Загазованность окружающей среды. Методика расчета загазованности воздуха окисью углерода.....	8
1.3. Автомобильная дорога и транспорт.....	12
1.3.1. Транспортный шум и его влияние на окружающую среду. Методика расчета транспортного шума.....	12
1.4. Освещение производственных помещений.....	15
1.4.1. Расчет параметров искусственного освещения строительных площадок и помещений.....	15
1.4.2. площадок и помещений.....	15
А. Прожекторное освещение строительных площадок.....	15
Б. Светотехнический расчет электрического освещения помещения методом коэффициентного использования.....	18
2. ОСНОВЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ.....	23
2.1. Безопасность такелажных работ.....	23
2.1.1. Определение расчетных параметров стропов и чалочных канатов.....	23
2.2. Безопасность труда при разработке котлованов и траншей.....	27
2.2.1. Определение допустимой крутизны откосов котлованов и тран- шей.....	27
2.3. Обеспечение устойчивости строительных кранов.....	31
2.3.1. Основы безопасности работы строительных кранов.....	31
2.3.2. Расчет устойчивости самоходного стрелового крана.....	35
2.3.3. Расчет устойчивости башенного крана.....	40
2.4. Электробезопасность.....	46
2.4.1. Расчет защитного заземления электроустановок.....	48
2.4.2. Расчет зануления заземления электроустановок.....	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62
ЛИТЕРАТУРА.....	63

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 травмируются, из них около 200 человек погибают, а свыше 800 получают тяжелые травмы, которые влекут за собой потерю работоспособности и инвалидность. В неблагоприятных условиях РБ в среднем трудятся около 30% работающих, а в отдельных отраслях их доля еще выше: в нефтехимической – 53%, черной металлургии – 51%, электроэнергетике – 49%, лесозаготовительной – 47%, строительстве – 45%, текстильной – 43%. Неудовлетворительные условия труда являются причиной высоко-го 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 уч. 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. 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 издан в СССР в 1985 году тиражом 76 тыс. экз., что явно недостаточно. 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 < 1 мг/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, является 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 переносом значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующих 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 (экстримальные) – 4 класс, характеризует уровень производственных факторов, воздействие которых в рабочей смене или её части создаёт угрозу для жизни, имеет риск развитие 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):

<u>от уровней шума, локальной и общей вибрации, уровней инфра- и ультразвука на рабочем месте (имеется соответствующая таблица)</u>	(4)
<u>по показателям микроклимата (t, V, W воздуха и др.)</u>	-----//----- (5)
<u>от параметров световой среды (КЕО, Е, Р и т.д.)</u>	-----//----- (6)
<u>от действия ионизирующих излучений (электромагнитное поле)</u>	—//— (7)
<u>при действии неионизирующих излучений (лазерное, ультрафиолетовое)</u>	—//— (8)
<u>по показателям тяжести трудового процесса</u>	-----//----- (9)
<u>по показателям напряженности трудового процесса</u>	-----//----- (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 (объём 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:

- Определим фактическую пылевую нагрузку за 7 лет:

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

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

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

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

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

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

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

в) Рассчитываем величину превышения КПН:

$\text{ПН/КПН} = 36456/24304 = 1.5$, 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):

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

д) Определяем допустимый стаж работы в данных условиях:

$$T = \frac{\text{КПН}_{\text{факт}}}{\text{К} \cdot N \cdot Q} = \frac{86800}{3 \cdot 248 \cdot 7} = 16.7 \text{ лет.}$$

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, капролактан, 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 40 ч в неделю на протяжении всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья и не отразится на последующих поколениях, 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

Средняя смертельная доза при введении в желудок – доза вещества, вызывающего гибель 50% животных (летальная доза ЛД₅₀) при однократном введении в желудок, мг/кг.

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

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

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 воздействие 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:

$$CO_0 = (7.33 + 0.26 \cdot N_{np}) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (1.1)$$

где $N_{np} = \alpha N$ – приведенная перспективная часовая интенсивность дви-

жения (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 $\leq 10\%$ $K_2 = 1.0$, 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 2000 г. $K_3 = 1.11$; на 2010 $K_3 = 1.06$).

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

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 расстояние l , составит:

$$CO_1 = 0.5 \cdot CO_0 - 0.1 \cdot l, \quad (1.2)$$

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

Пример 1.2

Определить расчетный уровень концентрации окиси углерода CO ($\text{мг}/\text{м}^3$) 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	В пределах города		На дорожной сети
		Существующее положение	Перспектива	
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.

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 $(0.712+0.761)\text{г}/\text{см}^3$.
Плотность дизтоплива $(0.831+0.861)\text{г}/\text{см}^3$.

Следовательно, $V_{cp}=40$ км/ч.

Таким образом: $K_1 = 0.94$ (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 $N_{np}=\alpha \cdot N=0.1 \cdot 2000=200$ ав.т/час.

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

$$CO_0=(7.33+0.026 \cdot 200) \cdot 0.94 \cdot 1.02 \cdot 1.06=12.72 \text{ мг/м}^3.$$

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 12.73/3=4.2 раза.

Следовательно, необходимо спроектировать и рассчитать предохранительные мероприятия, типа 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 внимание оказывает 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; метеоусловия; наличие и конструкция противозумовых сооружений.

Прогнозирование уровня шума транспортного средства (потока) на расстоянии 7 м 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:

$$L_7 = 46 + 11.8 \lg N_{пр} + \sum D, \quad (1.3)$$

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

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

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

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;

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

Пример 1.3

Определить расчетный уровень шума транспортного потока на расстоянии 7 м 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):

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

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 $D_n = -1 \cdot \frac{60 - 57}{10} = -0.3$; $D_v = 0$ (скорость потока автомобилей согласно табл. 1.7 составляет 40 км/ч); $D_i = 1$ дБА (продольный уклон участка дороги равен 20%); $D_{пр} = 0$ (трамвайная линия отсутствует), а сумма поправок по формуле (1.4) равна:

$$\sum D = -0.3 + 0 + 1 + 0 = 0.7.$$

По формуле (1.3) шумность транспортного потока:

$$L_7 = 46 + 11.8 \lg 200 + 0.7 = 73.9.$$

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 территорий	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, спальня 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 гостиниц 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 освещённости, 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 изолукс или по методу веера прожекторов.

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

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

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 освещённость 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_n – 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 Таблица1.9.

Угол наклона прожекторов Q, град.	Угол между оптическими осями прожекторов, т, град.	Угол рассеивания света по горизонтали 2β _г , град.	Угол рассеивания света по вертикали 2β _в , 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 мини-мально допустимого расстояния между опорами $a=(5+7)h$. Оптимальнее же расстояние рекомендуется принимать $a=(6+15)h$.

Количество прожекторных опор определяется по выражению (1.7):

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

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:

$$K_{пр} = \frac{N}{n_{опм}}. \quad (1.8)$$

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 $E_n = 2$ 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):

$$N = \sqrt{\frac{70000}{300}} = 15.27.$$

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.

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

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

$$n_{\text{опм}} = \frac{6}{1} = 6 \text{ прожекторов.}$$

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

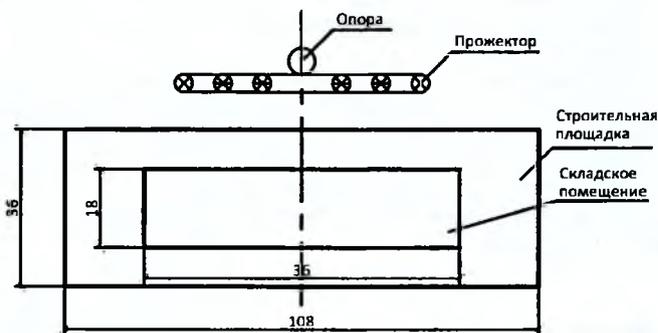


Рисунок 1.1 – Схема прожекторного освещения строительной площадки

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 зачётной книжки)	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Размеры помещения а×с, м	12×54	18×60	24×66	27×72	30×78	33×54	36×60	40×66	44×72	48×78
Размеры строительной площадки L×b, м	36×108	42×120	48×132	54×144	60×156	66×108	72×120	80×132	88×144	96×154
Вид освещения	Общее	Рабочее	Охранное и дежурное	Общее	Рабочее	Охранное и дежурное	Общее	Рабочее	Охранное и дежурное	Общее
Нормируемая освещённость, 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 освещённость 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:

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

где E_n – нормируемая освещённость, лк;

A – освещаемая площадь, м²;

K – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещённости, равный 1.3+1.7;

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

Z – так же коэффициент минимальной освещённости, определяемый из соотношения:

$$Z = \frac{E_{cp}}{E_{min}}$$

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_1 – 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 строительных 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 окрасках 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.

Основные типы источников света и осветительные приборы, рекомендуемые для использования в строительстве, приведены в табл. 1.11.

Таблица 1.11 – Типы источников света и осветительных приборов

Место работы	Вид освещения	Ширина строительной площадки, м	Тип осветительного прибора
Производство наружных СМР	Общее равномерное	<20 <150 <150 – 300 >300	Светильник ЛН То же, ДРЛ Пржекторы ЛН, ДРЛ, ДРН Светильники ДКсТ, ДНаТ
Производство внутренних СМР	Общее равномерное. Общее локализованное	<15 м от производства работ	Светильники ЛН Светильники ДРЛ Пржекторы ДРЛ, ЛН
Производство наружных и внутренних СМР	Местное	—//—	Инвентарные стойки со светильниками и прожекторами ЛН, переносные светильники ЛН с $V=42$ в
Производство ЖБИ, стройматериалов в заводских условиях	Общее равномерное и локализованное	—	Светильники ЛЛ (ЛН, ДРЛ)

Примечание. ЛН – лампа накаливания; ЛЛ – люминисцентная лампа; ДРЛ – дуговая ртутная лампа высокого давления; ДРН – дуговая ртутная лампа с йодидами; ДКсТ – дуговая ксеноновая лампа высокого давления; ДНаТ – то же, натриевая.

Технические данные ламп накаливания и дуговых ртутных ламп приведены в табл. 1.12, 1.13.

Таблица 1.12 – Технические данные ламп накаливания общего назначения

Мощность, Вт	Тип лампы	Световой поток ламп, лм, при V=220 в	Мощность, Вт	Тип лампы	Световой поток ламп, 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
Пржекторы 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, ф=30°, 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
	100	170×332	15	1.7
	500	372×540	30	3.9
С дуговой ртутной лампой ДРЛ «Астра – 3» РСР01×125/ДОЗ-07	125	310×340	30	7
	250	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:

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

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 (здесь не приводится из-за громоздкости) находим среднее значение η в зависимости от i : $\eta=48.5\%$ при $\Phi_c=75\%$.

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 составляют:

$$1.3\% = \frac{9 \cdot 105 - 932.1}{932.1} \cdot 100 ; \text{ и } 1.8\% = \frac{5 \cdot 220 - 932.1}{932.1} \cdot 100$$

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

Для рассматриваемого случая наибольшая высота подвески светильника $h=2.1$ 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 $l=\lambda \times h=1.6 \times 2.1=3.4$ м.

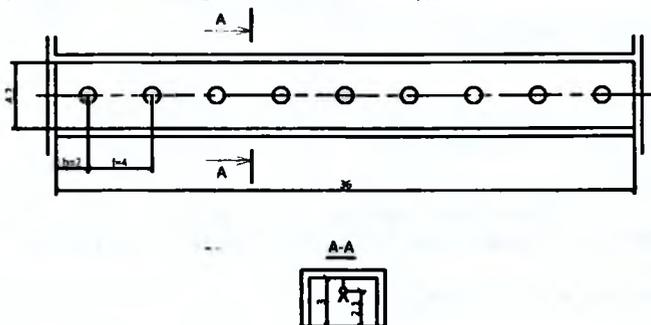


Рисунок 1.2 – Схема расположения светильников в коридоре

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

Типовая кривая силы света	Энергетически выгодное λ_0	Экономически выгодное λ_1	Коэффициент 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 $l=4$ м, $b=2$ м (рис.1.2)

Варианты других примеров соответствуют последней цифре шифра зачетной книжки и 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 а×в, 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, съёмные грузозахватные приспособления, клещевые захваты, зажимные устройства и др. 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 стропы

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

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

Q - вес поднимаемого груза, Н;

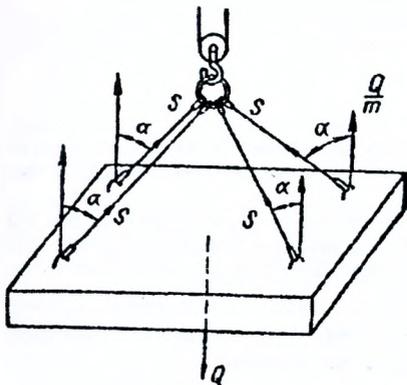


Рисунок 2.3 – Схема для расчета усилий в ветвях стропы

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

α, град	0	15	30	45	60
К, 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 K₃- 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 ≥ 1,5	5,0
для полотнячатых стропов с соотношением сторон:	
3,5-6	5,5
>6	5,0
для расчалок, оттяжек, тяг при соотношении D ₂ /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 + 50т при соотношении D/d:	
3-16	5,0
> 16	4,0
Грузоподъемностью Q = 50 + 10т при соотношении D/d:	
3-16	4,0
> 16	3,5

Продолжение таблицы 2.2

грузоподъемностью Q >100т при соотношении D/d: 3-16 > 16	3,5 3,0
--	------------

Примечания:

1. D - диаметр ролика; d - диаметр каната; D_з - диаметр захватного устройства (элемента, огибаемого стропом, расчалкой, крепящим канатом); d_с - диаметр витого стропа.
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_з =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_з =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 1600 МПа, 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 примеров решения 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 _с , 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 стропа 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-дорожных 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, причем 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)

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

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

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

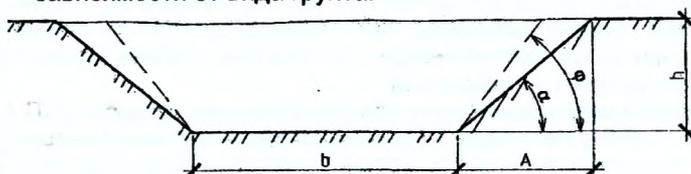
Коэффициент заложения откоса m равен и не должен превышать значений, приведенных в табл. 2.5.

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

Устойчивость откосов сыпучих пород определяется коэффициентом η :

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

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 откосов; 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, облеженный весом вытесненной воды;

δ - объемный вес воды;

n - пористость грунта.

Для однородных связных грунтов предельная высота откоса опре-

деляется по формуле (2.7):
$$h = \frac{2c \cdot \sin \alpha \cdot \cos \varphi}{m \cdot \sin^2 \frac{\alpha - \varphi}{2}}, \quad (2.7)$$

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 $\operatorname{tg} \alpha = 45^\circ$. 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 $\alpha = \operatorname{arctg} 0.83 = 40^\circ$.

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

Выемки с вертикальными стенками устраивают при рытье котлованов и траншей без креплений в нескальных 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 расчётным 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.

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 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.

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 границе призмы обрушения на основе формулы (рис 2.5):

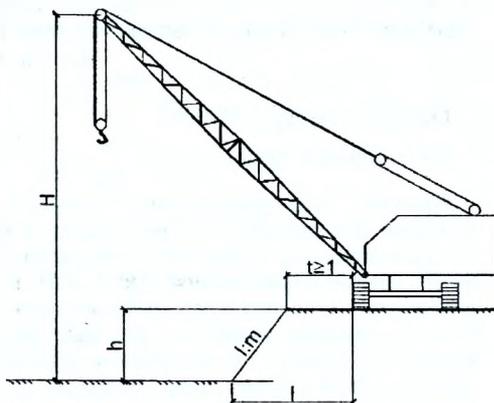
$$\ell = 1.2 \cdot m \cdot h + 1, \quad (2.8)$$

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 $l=5.3\text{ м}$.
2. По табл. 2.5 установим значение $m=0.85$.
3. Вычислим допустимое расстояние по формуле (2.8) оценки возможного положения призмы обрушения
$$\ell = 1.2 \cdot 0.85 \cdot 5 + 1 = 6.1 \text{ м}.$$
4. Принимаем в проекте $\ell = 6.1 \text{ м}$, 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, надёжность 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 надёжность, 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, крена 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 от 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 оградительные 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 выхода 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», подвергают 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 перебазировки 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 имеетя 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 стрелы 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:

$$M_n = M_b^* - M_y - M_{uc} - M_u - M_v, \quad (2.11)$$

где M_b^* – восстанавливающий момент от действия собственного веса крана:

$$M_b^* = G(v+c) \cos \alpha, \quad (2.12)$$

где G – вес крана, Н;

c – расстояние от оси вращения крана до его центра тяжести, $c=0.5$ 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 $h = 1.5 \pm 2.0$ м;

$M_{цс}$ – момент от действия центробежных сил:

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

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+30 см):

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

где $h_{эл}$ – 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:

$$M_w = M_{wк} + M_{wг} = W \cdot \rho + W_1 \cdot \rho_1, \quad (2.17)$$

где $M_{wк}$ и $M_{wг}$ – 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.

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

$$W_1 = q_H^c \cdot F_1; \quad (2.19)$$

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 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, м^2 .

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):

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

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

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

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

$C = 1.49$; $F_1 = l \times h = 6.3 \times 0.2 = 1.26 \text{ м}^2$ – площадь груза.

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

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

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

$F = q \cdot p = 4 \cdot 2.5 = 10 \text{ м}^2$ – осредненная площадь крана к ветру;

$m = 4 \text{ м}$ – средняя ширина крана к ветру;

$n = 2.5 \text{ м}$ – осредненная высота крана со стороны ветра.

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

$$M_B = M_{Bк} + M_{Bг} = W \cdot p + W_1 \cdot p_1 = 3240 \cdot 2.5 + 506 \cdot 5 = 8100 + 2530 = 10630 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где $p = h = 2.5 \text{ м}$ – высота приложения ветровой нагрузки к крану;

$p_1 = h_1 = 5 \text{ м}$ – высота приложения ветровой нагрузки к грузу.

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

$$M_s = M_{sк} + M_{sг} = W \cdot \rho + W_1 \cdot \rho_1 = 3240 \cdot 2.5 + 506 \cdot 2530 = 10630 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где $Q = 12000 \text{ Н}$ – вес груза;

$V = 1.5 \text{ м/с}$ – скорость подъема (опускания) груза;

$g = 9.81 \text{ м/с}^2$;

$t = 3 \text{ с}$ – время торможения;

$a = 6.8 \text{ м}$ – вылет крюка;

$b = 1.1 \text{ м}$ – половина колеи крана.

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

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

где $n = 1 \text{ об/мин}$ – частота вращения крана;

$H = 5 \cdot 0.25 \cdot 0.2/2 = 4.65 \text{ м}$ – высота от оголовка стрелы до центра тяжести груза;

$h_{zn} = 0.2 \text{ м}$ – 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):

$\sin \alpha = \sin 3^\circ = 0.06$; $\cos \alpha = \cos 3^\circ = 0.996$ – 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):

$$M_n = M'_B - M_y - M_{ум} - M_n - M_B = 160000 - 15000 - 467 - 3486 - 10630 = 134170 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

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 $1.15 \cdot 68400 = 78660 < 134170$.

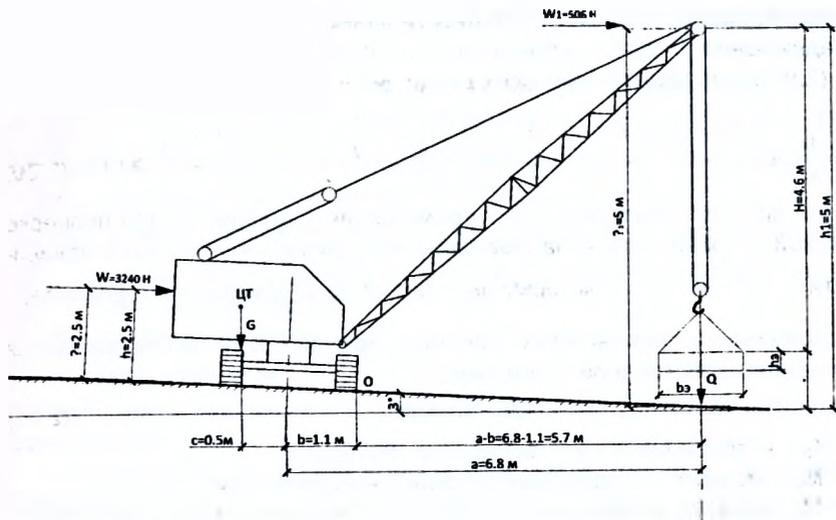


Рисунок 2.6 – Расчетная схема к определению устойчивости крана

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

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 $l \times b \times h$	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, t	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, m	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, m	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 опирывания b, m	1.1	1.2	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
Вес крана G, t	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 грузовой устойчивости крана, не предназначенного для передвижения с грузом, определяют по формуле, полученной из условия (2.9) после подстановки всех входящих в него составляющих:

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

Если кран предназначен для перемещения с грузом, то при проверке грузовой устойчивости в направлении его движения учитывают зависимости $\frac{G \cdot V_1 \cdot h_1}{g \cdot t_1}$ и $\frac{G \cdot V_1 \cdot h}{g \cdot t_1}$, 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.

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 палиспастом 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 грузов 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; $\rho=10$ м; $W_1=4.34$ кН; $n=0.2$ м⁻¹; $h=20$ м; $H=20$ м; $\alpha=2^\circ$; $b=1.75$ м; $a=20$ м; $h_1=10$ м; $\rho_1=20$ м.

При этом $W_1=402.3 \cdot 10.8=4344.8$ Н ($K=1.0$; $C=1.49$; $g_0=270$ Па;

$$q_n^c = 402.3 \text{ Па}; F_1=1.8 \times 6=10.8 \text{ м}^2$$

$$W=81 \cdot 30=2430 \text{ Н} (K=1.0; C=0.3; g_0=270 \text{ Па}; q_n^c = 81 \text{ Па};$$

$$F_1=1.5 \times 20=30 \text{ м}^2)$$

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

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

$$= 1.5 > 1.15$$

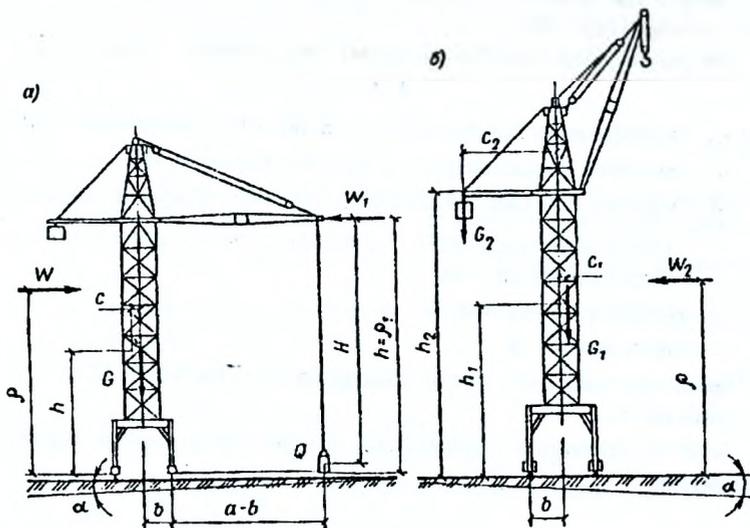


Рисунок 2.7 – Расчетная схема устойчивости башенного крана с грузом (а) и без груза (б)

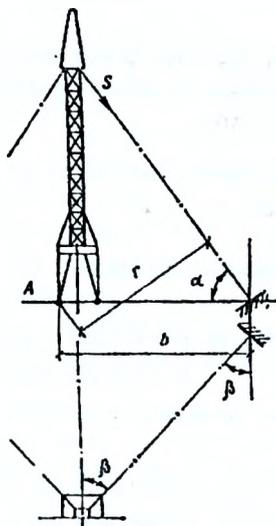


Рисунок 2.8 – Расчетная схема усилий в растяжках крана

II 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:

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

где K_n - коэффициент перегрузки;

K_{yp} - коэффициент условий работ;

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

$M_{yг}$ - 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 – малозэтажное 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:

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

где M_{si}^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:

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

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 $K_{вз}$

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_{O3} – коэффициент, учитывающий особенности работы элемента конструкции или части металлоконструкций. При $K_{об} = 0.90$ (II класс ответственности крана и 1 класс ответственности элемента) $K_{O3} = 1$.

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:

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

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

b_r – расстояние от точки подвеса грузовой 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:

$$K_2 = \sqrt{M_{sq}^2 + M_{swk}^2 + M_{swr}^2 + M_{sd}^2} / M_o^n, \quad (2.31)$$

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

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

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

Рисунок 2.9 – Схема определения устойчивости башенного крана

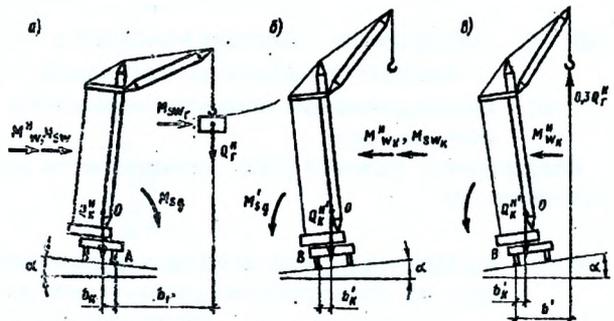


Таблица 2.13 – Значения коэффициента режима работы крана K_3

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

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

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

Таблица 2.14 – Значения коэффициента пульсации ветра m_n

$H, м$	0 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 – 60	60 – 70	70 – 80
m_n	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 T .

Таблица 2.15 – Значения коэффициента динамичности ε

$T, с$	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

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

Таблица 2.16 – Значения периода свободных колебаний T

Наибольший вылет крюка $L_k, м$	При высоте расположения опорного шарнира стрелы над фундаментом $H, м$							
	<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	-	-	-

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

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

$$M_{\text{ид}} = 0.2 \cdot \frac{Q_K^H + Q_G^H \cdot h_G}{Q_K^H \cdot b_K - Q_G^H \cdot b_G} \cdot [Q_G^H V_G^2 + (Q_K^H + Q_G^H) \cdot V_K^2], \quad (2.33)$$

где V_G 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 – электроприёмники, 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 теплическое (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 внешне поражения тела человека в виде электрических и токовых ожогов I-IV степеней тяжести, дуговых ожогов III-IV степеней тяжести, электрометаллизации кожи, механическим повреждениям, 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 тела 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 напряжение 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:

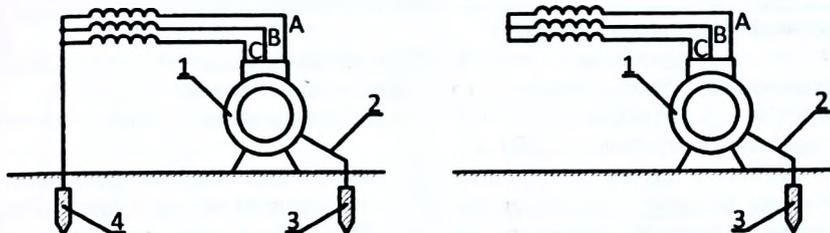
$$I_4 = \frac{I_3 \cdot R_3}{R_r} = \frac{40}{1000} = 0.04 \text{ А},$$

где $R_r = 1000$ 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.



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

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.

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:

$$R_{30} = \frac{\rho_p}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + 0.5 \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right), \quad (2.34)$$

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;

$h_0 = 0.5 + 0.7$ 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:

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

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

Фактическое количество вертикальных стержней будет равно:

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

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_ϕ дробное число, его необходимо округлить до меньшего числа в меньшую сторону.

Определяем суммарное сопротивление заземлителя из n_ϕ вертикальных стержней:

$$R_3 = \frac{R_{30}}{n_\phi \eta_{c\phi}}, \quad (2.39)$$

где $\eta_{c\phi}$ – фактический коэффициент использования заземлителей, повторно взятый из табл. 2.17 по n_ϕ .

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

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

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

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

Сопротивление 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 l – ширина полосы, принимается равной 0.03+0.05 м;

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

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

Определяем общее сопротивление грунтового заземлителя:

$$R_{общ} = \frac{R_3 \cdot R_{no}}{R_{no} \cdot \eta_{no} + R_{no} \cdot \eta_{c\phi} \cdot n_\phi} \quad (2.42)$$

где η_{no} – коэффициент использования горизонтальной соединительной полосы, принимаемый по табл. 2.18.

Таблица 2.18 – Коэффициент использования $\eta_{г,о}$ 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):

$$R_{з0} = 0.366 \frac{200}{5} \left(\ln \frac{2.5}{0.038} + 0.5 \ln \frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5} \right) = 98.44 \text{ Ом,}$$

где $l=5$ м;

$$d=0.095 \cdot b=0.095 \cdot 40=38 \text{ мм}=0.038 \text{ м;}$$

$$h=0.5+0.5 \cdot 5=3.0 \text{ м.}$$

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

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

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

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

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):

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

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:

$$l_n = 1.05 \cdot (32 - 1) \cdot 3 \cdot 5 = 488.25 \text{ м.}$$

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

$$R_{no} = 0.366 \cdot \frac{200}{488.25} \cdot \ln \frac{2 \cdot 488.25^2}{0.03 \cdot 0.5} \approx 2.60 \text{ м,}$$

где $b=0.03 \text{ м;}$

$h_n=0.5 \text{ м.}$

В результате $R_{no} < R_g = 4 \text{ Ом}$ и расчет можно было бы прекратить.

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

$$R_{общ} = \frac{4.16 \cdot 2.6}{4.16 \cdot 0.68 + 2.6 \cdot 0.74 \cdot 32} = 0.17 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом,}$$

где $\eta_{no}=0.68$ – коэффициент использования горизонтальной соединительной полосы при $a/l=3.0$ и $\eta_g=20$ (32) шт.

Вывод: в результате расчетов установлено, что сопротивление контура заземления $R_{no} < R_g = 4 \text{ Ом}$ согласно ПУЭ. Расчетная схема заземления приведена на рис. 2.11.

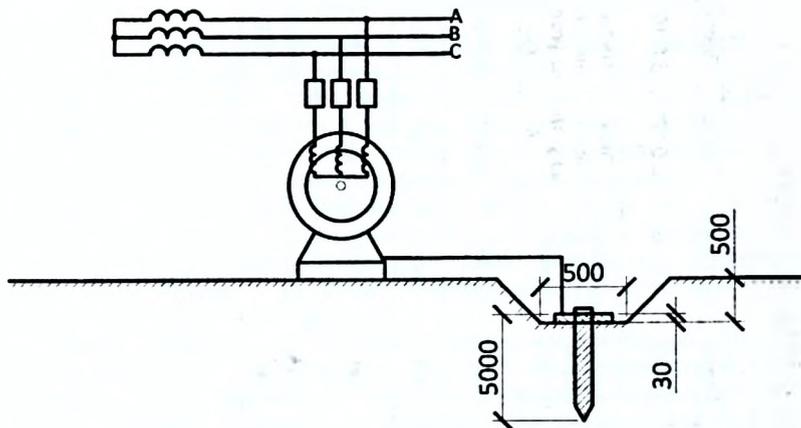


Рисунок 2.11 – Расчетная схема заземления электроустановки

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	Суглинок	Супесь	Песок	Чернозем	Торф	Глина	Торф	Суглинок	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	стержневой из труб	стержневой из труб	стержневой из уголков	стержневой из уголков	стержневой из труб	стержневой из труб	стержневой из уголков	стержневой из уголков	стержневой из труб	стержневой из труб
Диаметр труб или размер полка уголка	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	2×l	3×l	3×l	L	L	2×l	3×l	3×l	2×l	2×l
Способ размещения заземлителей	по контуру	по контуру	в ряд	по контуру	в ряд	в ряд	в ряд	по контуру	в ряд	по контуру

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).

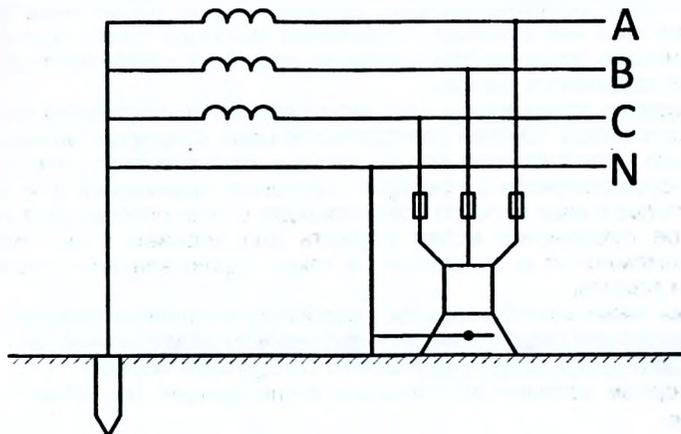


Рисунок 2.12 – Схема защитного зануления оборудования

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 $V \sim$ тока $>42В$ и $V -$ тока $>110В$;
 - при любом напряжении \sim и $-$ 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 также 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:

$$I_{\text{нз}} \geq 3 \cdot I_{\text{нз.ном}}^H; I_{\text{нз}} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_n}, \quad (2.43)$$

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).

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	-	-

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

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

l_n – длина петли фаза-ноль, км.

Значения r_ϕ , r_H , X_ϕ и X_H для стальных проводников приведены в табл. 2.20.

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 Y	Треугольником Δ		Звездой Y	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 + 10 кВ

4. По справочным данным находим основные технические характеристики электродвигателей N, Cos α, $I_{пуск}^{эл.дв.} / I_H$ (табл. 2.22).

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

Тип	Мощность, кВт	Cos α	$I_{пуск}^{эл.дв.} / I_H$	Тип	Мощность, кВт	Cos α	$I_{пуск}^{эл.дв.} / I_H$
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

5. Определяем номинальный ток электродвигателя:

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

где P – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

U_n – номинальное напряжение, В;

cos α – коэффициент мощности.

6. Рассчитываем пусковой ток двигателя:

$$I_{эл.дв.}^{пуск} = \frac{I_{эл.дв.}^{пуск}}{I_H} \cdot I_{эл.дв.}^H. \quad (2.47)$$

7. Определяем номинальный ток плавкой вставки

$$I_{п.вст.}^H = \frac{I_{эл.дв.}^{пуск.}}{\alpha}, \quad (2.48)$$

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 $I_{кз}^H \geq 3 \cdot I_{п.вст.}^H$ (2.43), а по $I_{п.вст.}^H$ по табл. 2.23 подбираем тип стандартного предохранителя.

Так как ток $I_{кз}$ 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 $I_{п.вст.}^H$ стандартных предохранителей для сетей напряжением $V=220$ и $V=380В$

Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки $I_{п.вст.}^H, А$	Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки $I_{п.вст.}^H, А$
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 м, площадь 160 м^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

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

где $P=10$ кВт, $\cos \alpha=0,9$ согласно табл. 2.22, а $\frac{I_{эл.дв.}^{пуск.}}{I_H} = 7.5$.

2. По формуле (2.47) определяем пусковой ток электродвигателя

$$I_{эл.дв.}^{пуск.} = 7.5 \cdot 17.1 = 128.2.$$

3. По формуле (2.48) определяем ток плавкой вставки

$$I_{пл.вст}^H = \frac{128.2}{2} = 64.1 \text{ А, где } \alpha=2.$$

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

$$I_{кз} \geq 3 \cdot I_{пл.вст}^H = 3 \cdot 64.1 = 192.3.$$

5. Рассчитываем плотность тока

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

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:

$r_n / x_n = 1.83/1.08 \text{ Ом/км}$ - нулевого провода,

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

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

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

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

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

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

9. По формуле (2.43) определяем ток короткого замыкания

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

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

10. Определяем пусковой ток электродвигателя по формуле (2.47)

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

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

$$I_{пл.вст}^H = \frac{128.2}{2} = 64.1 \text{ А, где } \alpha = 2.$$

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

$$I_{кз} = 462 > 3 \cdot I_{пл.вст}^H = 3 \cdot 64.1 = 192.3 \text{ А.}$$

Таблица 2.24 – Таблица вариантов решения задач

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тип электродвигателя	4А7 1В2	4А8 0А2	4А8 0В2	4А9 0Л2	4А1 002	4А1 32М2	4А1 602	4А1 80S2	4А2 00М2	4А2 20Л2
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- ми- ние- вый 50;14	Алю- ми- ние- вый 150;16	Алю- ми- ние- вый 200;12	Алю- ми- ние- вый 250;10	Алю- ми- ние- 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, λ					Треугольник, Δ				
Мощность трансформатора, кВА	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	160

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, транспорта и производства строительных материалов и конструкций, в части производственной санитарии и гигиены труда, техники безопасности и электробезопасности. Даны теоретическая интерпретация и практические решения 12 задач в данном направлении для студентов строительного, технического и экономического профилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Челноков, А.А. Ющенко, Л.Ф. Охрана труда: учебн. пособие. 4-е изд., испр. и доп. – Минск: Высш. Шк., 2009. – 464с.
2. Библиотека журнала «Ахова працы», №1, 2004.
3. Санитарные правила и нормы. СанПин 11-6-02 РБ.
4. Инженерные решения по охране труда в строительстве / Орлов Г.Г. [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». – М.: Высш. Школа, 1986. - 311с.
6. Пчелинцев, В.А. Охрана труда в строительстве: учебн. для строит. вузов и фак. – М.: Высшая школа, 1991. - 272 с.
7. Золотницкий, Н.Д., Пчелинцев, В.А. Охрана труда в строительстве: учебник для вузов / под ред. Н.Д. Золотницкого. - М.: Высш. школа, 1978. - 408с.
8. СНиП III-4-80* Правила производства и приемка работ. Техника безопасности в строительстве. Строительное производство. – М.: Стройиздат, 1981. - 255с.
9. ТКП 45-1.03-44-2006(02250). Безопасность труда в строительстве. Строительное производство. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2007. – 33с.

Учебное издание

Составители:

*Чернюк Владимир петрович
Щербач Валерий Петрович
Семенюк Сергей Михайлович
Пчелин Вячеслав Николаевич
Юськович Виталий Иванович
Юськович Георгий Иванович*

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Учебно-методическое пособие
к проведению практических занятий и
выполнению раздела дипломного проекта
«Охрана труда»
для студентов строительных, технических
и экономических специальностей

Ответственный за выпуск: Чернюк В.П.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.

Корректор: Никитчик Е.В.

ISBN 978-985-493-147-0



9 789854 931470

Лицензия № 02330/0549435 от 8.04.2009 г.
Подписано к печати 24.02.2010 г. Формат 60x84 ¹/₁₆
Бумага «Снегурочка». Гарнитура Arial.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 4,0. Заказ № 206.
Тираж 100 экз. Отпечатано на ризографе
учреждения образования «Брестский
государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.