ВВЕДЕНИЕ

В процессе изучения дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» на третьем курсе студенты выполняют одну контрольную работу. Основная цель -является выработка приемов и навыков решения контрольных задач из разных областей безопасности жизнедеятельности, позволяющих проверить степень усвоения основных разделов теоретического курса, помогающих в дальнейшем студентам решать инженерные задачи.

В задании приведены примеры решения типовых задач, непосредственно связанных с безопасностью производимых работ на предприятиях железнодорожного транспорта. При этом в пособии отражены практически все основные разделы дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» в соответствии с типовой программой курса.

Общие требования к оформлению контрольных работ

При оформлении контрольных работ условия задач в контрольных работах переписываются полностью, без сокращений.

Решения задач должны сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями с обязательным использованием рисунков, выполненных чертежными инструментами.

Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставляются поля и интервалы между задачами (не менее 5 см).

В конце каждой контрольной работы необходимо указать, каким учебным пособием пользовался студент (название учебного пособия, автор, год издания).

Решение задач рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1. Ввести буквенные обозначения всех используемых физических величин.
2. Под рубрикой «Дано» кратко записать условие задачи с переводом значений всех величин в систему единиц СИ.
3. Сделать (если это необходимо) чертеж, поясняющий содержание задачи и ход решения.
4. Сформулировать законы, на которых базируется решение задачи, и обосновать возможность их использования.
5. На основе сформулированных законов и различных нормативов составить уравнение или систему уравнений, решая которую можно найти искомые величины.

6. Решить уравнение и получить в общем виде расчетную формулу, в левой части которой стоит искомая величина, а в правой - величины, данные в условии задачи.

7. Проверить единицы измерения полученных величин по расчетной формуле и тем самым подтвердить ее правильность.

8. Произвести вычисления. Для этого необходимо все значения величин в единицах СИ подставить в расчетную формулу и выполнить вычисления (с точностью не более 2-3 значащих цифр).

9. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти.

Выполненные контрольные работы сдаются на рецензию преподавателю не позднее, чем за одну неделю до экзамена.

После рецензирования вносятся исправления в решение задач в соответствии с замечаниями преподавателя. Исправленные решения помещаются в конце тетради с контрольными работами, которые сдаются на повторную рецензию.

Зачет по каждой контрольной работе принимается преподавателем в процессе собеседования по правильно решенной и прорецензированной контрольной работе.

Контрольные работы выполняются в тетради, на обложке которой приводятся сведения о студенте (фамилия, имя, отчество, факультет, шифр, номер специальности), а также номер контрольной работы, номер варианта и номера всех задач контрольной работы.

Номер темы выбирается по таблице 1 по пересечению строчки, определяемой последней цифрой шифра студента, и столбца, определяемого предпоследней цифрой шифра

Например: шифр студента 314 -ЭК-3683, строчка -3, столбец - 8, номер контрольной работы - 8.

ЗАДАЧИ РЕШАЮТСЯ БЛОКАМИ. В КАЖДОМ БЛОКЕ СТУДЕНТ РЕШАЕТ ПО 1-й ЗАДАЧЕ СВОЕГО ВАРИАНТА

Таблица 1

ч р а ш	предпоследняя цифра шифра студента

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	5	6	1	11	6	1	5	6	1
1	2	4	7	2	12	7	2	4	7	2
2	3	3	8	3	13	8	3	3	8	3
3	4	2	9	4	14	9	4	2	9	4
4	5	1	10	5	15	10	5	1	10	5
5	6	15	11	6	1	11	6	15	11	6
6	7	14	12	7	2	12	7	14	12	7
7	8	13	13	8	3	13	8	13	13	8
8	9	12	14	9	4	14	9	12	14	9
9	10	11	15	10	5	15	10	11	15	10

ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

1 ЗАЩИТА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

В атмосферу выбрасывается значительное количество загрязняющих веществ в процессе работы автомобильного и железнодорожного транспорта, предприятий, заводов. Анализ источников вредных выбросов показывает, что от металло- и деревообрабатывающих станков в атмосферу поступает в основном абразивная, металлическая и древесная пыль. При сжигании топлива различными видами транспорта, отопительными и энергетическими предприятиями в атмосферу выбрасываются продукты неполного сгорания топлива (окись углерода, сажа), оксиды азота, сернистый ангидрид.

В качестве одной из мер по защите атмосферы можно отметить регламентирование эмиссии загрязняющих веществ. Для каждого источника вредных выбросов устанавливается предельно допустимый выброс (ПДВ). Расчет нормативов ПДВ загрязняющих веществ в атмосферу производится на основании фонового загрязнения и условий рассеивания вредных примесей. Загрязнение атмосферы выбросами от различных видов транспорта и предприятий определяется расчетным путем на основании данных об объеме работ и количестве расходуемого сырья. В целях рационального природопользования, снижения уровня загрязнений атмосферного воздуха от антропогенных источников на предприятиях дополнительно применяют очистку выбросов от вредных веществ.

Примеры решения задач

Задача 1.1. Определить валовой выброс оксида углерода, оксидов азота, оксидов серы и твердых частиц при сжигании 845 т/год высокосернистого мазута в камерной топке котельной. Котельная вырабатывает 6 тонн пара в час и оборудована центробежным скруббером ЦС-ВТИ.

Решение. Валовой выброс твердых частиц $M_т$, т/год, в воздушный бассейн определяем по формуле

$$M_т = \frac{q_т}{100} m \chi \left(1 - \frac{\eta_т}{100}\right), \quad (1.1)$$

где $q_т$ – зольность топлива, % (табл. 1.1); m – количество израсходованного топлива за год, т; c – безразмерный коэффициент (табл. 1.2); h $_т$ – эффективность золоулавливателей, % (табл. 1.3);

$$M_т = \frac{0{,}1}{100} \cdot 845 \cdot 0{,}01(1 - 90/100) = 0{,}000845 \ \text{т/год}$$

Валовой выброс оксида углерода, т/год, рассчитываем по формуле

$$M_{CO} = C_{CO} \, m \, (1 - q_1/100) \cdot 10^{-3}, \quad (1.2)$$

где C_{CO} – выход окиси углерода при сжигании топлива, кг/т, кг/тыс. м^3; m – количество израсходованного топлива, т/год, тыс. м^3/год; q_1 – потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания, % (табл. 1.4).

Таблица 1.1 – Характеристика топлив (при нормальных условиях)

Наименование топлива	$q_т$, %	$S^г$, %	$Q_i^г$,МДж/кг
Угли			
Донецкий бассейн	28,0	3,5	18,50
Днепровский бассейн	31,0	4,4	6,45
Подмосковный бассейн	39,0	4,2	9,88
Экибастузский бассейн	32,6	0,7	18,94
Кузнецкий бассейн	13,2	0,4	22,93
Канско-Ачинский бассейн	6,7	0,2	15,54
Горючие сланцы			
Эстонсланец	50,5	1,6	11,34
Ленинградсланец	54,2	1,5	9,50
Торф:			
Росторф в целом	12,5	0,3	8,12
Другие виды топлива			
Мазут малосернистый	0,1	0,5	40,30
Мазут сернистый	0,1	1,9	39,85
Мазут высокосернистый	0,1	4,1	38,89
Дизельное топливо	0,025	0,3	42,75
Солярное масло	0,02	0,3	42,46
Природный газ из газопроводов			
Саратов–Москва	–	–	35,80
Саратов–Горький	–	–	36,10
Ставрополь–Москва	–	–	36,00
Серпухов–Ленинград	–	–	37,43
Брянск–Москва	–	–	37,30

Выход окиси углерода при сжигании топлива, кг/т, определяем по формуле

$$C_{CO} = q_2 \, R \, Q_i^г, \quad (1.3)$$

где q_2 – потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, % (табл. 1.4); R – коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, R=1 – для твердого топлива, R=0,5 – для газа, R=0,65 – для мазута [1]; Q_i^r – низшая теплота сгорания натурального топлива (табл. 1.1);

$$C_{CO} = 0{,}5 \cdot 0{,}65 \cdot 38{,}89 = 12{,}64 \quad кг/т;$$

$$M_{CO} = 12{,}64 \cdot 845 \cdot \left(1 - \frac{0{,}5}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 10{,}62 \quad т/год$$

Таблица 1.2 – Значение коэффициента с в зависимости от типа топки и топлива

Тип топки	Топливо	с
С пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0026
С неподвижной решеткой и ручным забросом	Бурые и каменные угли	0,0023
С забрасывателями и цепной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0035
Слоевая топка бытовых теплоагрегатов	Бурые угли	0,0011
	Каменные угли	0,0011
	Антрацит, тощие угли	0,0011
Шахтная	Твердое топливо	0,0019
Шахтно-цепная	Торф кусковой	0,0019
Наклонно-переталкивающая	Эстонские сланцы	0,0025
Камерные топки паровых и водогрейных котлов	Мазут	0,010
	Газ природный, попутный и коксовый	–

Таблица 1.3 – Средняя эксплуатационная эффективность аппаратов газоочистки и пылеулавливания

Аппарат, установка	Эффективность улавливания твердых частиц $h_т$, %
Батарейные циклоны типа БЦ-2	85
Батарейные циклоны на базе секции СЭЦ-24	93
Батарейные циклоны типа ЦБР-150У	93–95
Электрофильтры	97–99
Центробежные скрубберы ЦС-ВТИ	88–90
Жалюзийные золоуловители	75–85
Групповые циклоны ЦН-15	85–90
Дымосос-пылеуловитель ДП-10	90

Таблица 1.4 – Характеристика топок котлов малой мощности

Тип топки и котла	Топливо	q_2, %	q_1, %
Топка с цепной решеткой	Донецкий антрацит	0,5	13,5/10
Шахтно-цепная топка	Торф кусковой	1,0	2,0
Топка с пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Донецкий антрацит	0,5–1	13,5/10
	Бурые угли типа подмосковных	0,5–1	9/7,5
	Бурые угли типа бородинских	0,5–1	6/3
	Угли типа кузнецких	0,5–1	5,5/3
Слоевая топка котла паропроизводительностью более 2 т/ч	Эстонские сланцы	3	3
Камерная топка с твердым шлакоудалением	Каменные угли	0,5	5/3
	Бурые угли	0,5	3/1,5
	Фрезерный торф	0,5	3/1,5
Камерная топка	Мазут	0,5	0,5
	Природный газ	0,5	0,5

Валовой выброс оксидов азота, т/год, определяем по формуле

$$M_{NO_2} = m\,Q_i^{\text{г}}\,K_{NO_2}\,(1-\beta)\cdot 10^{-3},\quad (1.4)$$

где K_{NO_2} – параметр, характеризующий количество окислов азота, образующихся на 1 ГДж тепла, кг/ГДж (табл. 1.5); b – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов NO_2 в результате применения технических решений, принимаем b = 0,

$$M_{NO_2} = 845\cdot 38{,}89\cdot 0{,}1\cdot(1-0)\cdot 10^{-3} = 3{,}28 \ \text{т/год}$$

Таблица 1.5 – Зависимость K_{NO2} от паропроизводительности котлоагрегатов

Паропроизводительность котлоагрегатов, т/ч	Значение K_{NO2}			
	Природный газ, мазут	Антрацит	Бурый уголь	Каменный уголь
4,0	0,099	0,13	0,198	0,215
6,0	0,1	0,135	0,165	0,225
8,0	0,102	0,138	0,213	0,228
10,0	0,103	0,14	0,215	0,235
15,0	0,108	0,15	0,225	0,248
20,0	0,109	0,155	0,23	0,25
25,0	0,11	0,158	0,235	0,255
30,0	0,115	0,16	0,24	0,26

Валовой выброс оксидов серы, т/год, только для твердого и жидкого топлива:

$$M_{SO_2} = 0{,}02\ m\left(S^{г}/100\right)\left(1-\eta'_{SO_2}\right)\left(1-\eta''_{SO_2}\right), \quad (1.5)$$

где $S^{г}$ – содержание серы в топливе, % (табл. 2.1); η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива. Для эстонских или ленинградских сланцев принимается равной 0,8; остальных сланцев – 0,5; углей Канско-Ачинского бассейна – 0,2; Березовских – 0,5; экибастузских – 0,02; прочих углей – 0,1; торфа – 0,15; мазута – 0,2 [1]; η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в золоулавливателе; для сухих золоулавливателей принимается равной 0.

Тогда

$$M_{SO_2} = 0{,}02\cdot 845\cdot(4{,}1/100)\cdot(1-0{,}2)\cdot(1-0) = 0{,}554\ \text{т/год}.$$

Центробежный скруббер ЦС-ВТИ улавливает 90% твердых частиц, что обеспечивает незначительный валовой выброс твердых частиц в атмосферу – 0,85 кг/год. Газообразные вредные вещества не улавливаются сухим фильтром и попадают в атмосферу без очистки. Для снижения выбросов CO, NO_x, SO_x необходима разработка малотоксичных горелочных устройств.

Задача 1.2. Рассчитать массу выбросов (CO) в сутки от автомобилей на территории автопредприятия в зимнее время. Парк автомобилей состоит из 7 легковых машин и 25 автомобилей КАМАЗ грузоподъемностью 15 тонн. Средний пробег грузового автомобиля по территории предприятия в стуки равен 600 м, легкового – 400 м.

Решение. Объем i-го вещества, г, от j-го автомобиля на территории автопредприятия определяется по формуле

$$M_{ij} = m_i^{прог}\ t_{прог} + m_i^{дв}\ L + m_i^{х.ход}\ t_{х.ход}, \quad (1.6)$$

где $m_i^{прог}$ – удельный выброс i-го вещества при прогреве двигателя, г/мин (табл. 1.6); $t_{прог}$ – время прогрева двигателя автомобиля, мин; $m_i^{дв}$ – удельный выброс i-го вещества при поддержании постоянной скорости автомобиля 10–20 км/ч, г/км (табл. 1.6); L – пробег автомобиля по территории автопредприятия (въезд, выезд) в режиме поддержания постоянной скорости 10–20 км/ч; $R_{ТРАС}$ – удельный выброс i-го компонента при работе двигателя на холостом ходу, г/мин (табл. 1.6); $t_{х.ход}$ = 5 мин – время работы двигателя на холостом ходу при выезде и возврате с автопредприятия, мин.

Время прогрева двигателя легкового автомобиля в зимнее время принимаем равным 20 мин. Выбросы оксида углерода от одного легкового втомобиля

$$M_{CO}^{ГРУ} = 9{,}1 \cdot 20 + 21{,}3 \cdot 0{,}4 + 4{,}5 \cdot 5 = 213{,}02 \text{ г}$$

Таблица 1.6 – Выбросы загрязняющих веществ автомобилями [1]

Тип автомобиля	Тип двигателя	CO		CH		NO_2		C	
		Периоды года							
		теплый	холодный	теплый	холодный	теплый	холодный	теплый	холодный
Удельные выбросы загрязняющих веществ автомобилями в процессе прогрева двигателя, г/мин									
Легковой		5,0	9,1	0,4	1,0	0,05	0,1	–	–
Грузовой 3000 < q < 6000	карбюрат.	18,1	44,5/26,1	2,9	8,7/5,4	0,2	0,3/0,2	–	–
	дизельный	2,8	4,37/3,6	0,3	0,8/0,54	0,62	0,84/0,62	0,03	0,21/0,12
Грузовой q > 6000	карбюрат.	23,4	57,2/33,8	3,3	9,1/6,3	0,2	0,3/0,2	–	–
	дизельный	2,9	8,1/5,3	0,4	1,1/0,7	1,0	2,0/1,0	0,04	0,35/0,18
Малый (КАвЗ, ПАЗ)	карбюрат.	8,1	21,8/14,2	1,6	3,6/2,4	0,1	0,2/0,1	–	–
Средний (ЛАЗ)	карбюрат.	18,1	44,5/26,1	2,9	8,7/5,4	0,2	0,3/0,2	–	–
Икарус-250	дизельный	4,6	8,9/6,4	0,5	1,3/0,8	0,61	1,25/0,61	0,03	0,12/0,08
Пробеговые выбросы загрязняющих веществ при движении автомобилей со скоростью 10–20 км/ч, г/км									
Легковой	карбюрат.	17,0	21,3	1,7	2,5	0,4	0,3		
Грузовой 3000 <q< 6000	карбюрат.	47,4	59,3	8,5	10,3	1,0	0,8	–	–
	дизельный	4,1	5,0	0,7	0,9	3,0	2,4	0,2	0,3
Грузовой q > 6000	карбюрат.	55,3	68,8	9,9	11,9	1,2	0,9	–	–
	дизельный	5,1	6,2	0,9	1,1	3,5	2,7	0,2	0,3
Малый (КАвЗ, ПАЗ)	карбюрат.	27,6	34,4	4,9	6,0	0,6	0,5	–	–
Средний (ЛАЗ)	карбюрат.	47,4	59,3	8,5	10,3	1,0	0,8	–	–
Икарус-250	дизельный	5,1	6,2	0,9	1,1	3,5	2,7	0,2	0,3
Удельные выбросы загрязняющих веществ при работе двигателя на холостом ходу, г/мин									
Легковой		4,5		0,4		0,05		–	
Грузовой 3000 < q < 6000	карбюрат.	18,1		2,9		0,2		–	
	дизельный	2,8		0,3		0,62		0,03	
Грузовой q > 6000	карбюрат.	23,4		3,3		0,2		–	
	дизельный	2,9		0,3		1,0		0,04	
Малый автобус	карбюрат.	8,1		1,6		0,1		–	
Средний автобус	карбюрат.	18,1		2,9		0,2		–	
Икарус-250	дизельный	4,6		0,5		0,61		0,03	

Время прогрева двигателя грузового автомобиля в зимнее время принимаем равным 30 мин. Выбросы оксида углерода от одного КАМАЗа на территории предприятия

$$M_{CO}^{ГРУ} = 8{,}1 \cdot 30 + 6{,}2 \cdot 0{,}6 + 2{,}9 \cdot 5 = 261{,}22 \text{ г}.$$

Выброс оксида углерода в сутки на территории автопредприятия всеми автомобилями

$$M_{CO} = 213{,}02 \cdot 7 + 216{,}22 \cdot 25 = 8021{,}64 \text{ г}.$$

Объем выбросов оксида углерода в сутки на территории автопредприятия значителен – 8,02 кг/сутки. $ПДК_{с.с}$ оксида углерода (CO) равен 1 мг/м^3. Для предотвращения превышения уровня CO над $ПДК_{с.с}$ и вредного влияния CO на организм рабочих необходимо поочередное прогревание двигателей и выезд автомобилей с территории автопредприятия.

Задача 1.3. Рассчитать валовой выброс частиц абразивной пыли от трех круглошлифовальных станков с диаметрами круга 300, 350, 400 мм. Станки работают в сутки по 6 часов, в год – 258 дней. Участок оборудован аппаратом сухой очистки воздуха циклон ЦН-15.

Решение. Валовой выброс абразивной пыли М, кг/год, одного станка рассчитываем по формуле

$$M_i = g_i \, t \, n \, k \, 3600 \cdot 10^{-3}, \quad (1.7)$$

где g_i – удельное выделение загрязняющих веществ при работе единицы оборудования в течение 1 с, г (табл. 1.7); t – время работы станка в день, ч; n – количество дней работы в году; k – количество станков данного типа,

$$M_{300} = 0{,}043 \cdot 6 \cdot 258 \cdot 1 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 239{,}63 \ \text{кг/год};$$

$$M_{350} = 0{,}047 \cdot 6 \cdot 258 \cdot 1 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 261{,}92 \ \text{кг/год};$$

$$M_{400} = 0{,}05 \cdot 6 \cdot 258 \cdot 1 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 278{,}64 \ \text{кг/год}.$$

Валовой выброс абразивных частиц от участка

$$M_0 = \sum_{i=1}^{n} M_i \left(1 - \frac{A \, \eta_т}{100}\right), \quad (1.8)$$

где А – коэффициент, учитывающий исправную работу очистного устройства за год; h т – эффективность очистки, % (табл. 1.8).

Таблица 1.7 – Удельный выброс загрязняющих веществ при работе единицы оборудования в течение 1 с, г [1]

Тип станка	Наименование загрязнителя	Диаметр шлифовального круга, мм	Удельный выброс, г/с
Круглошлифовальный	Абразивная пыль	150	0,0325
		300	0,043
		350	0,047
		400	0,05
		600	0,065
		750	0,075
		900	0,086
Плоскошлифовальный	Абразивная пыль	175	0,036
		250	0,042
		250	0,05
		400	0,055
		450	0,059
		500	0,063
Бесцентрошлифовальный	Абразивная пыль	30–100	0,0126
		400–500	0,019
		480–600	0,025
Заточный	Металлическая пыль	100	0,0097
		150	0,01
		200	0,02
		250	0,037
		300	0,038
		350	0,041
		400	0,0475
		450	0,054
		500	0,06
		550	0,067

Таблица 1.8 – Средняя эксплуатационная эффективность аппаратов сухой очистки воздуха [1]

Аппарат, установка	Эффективность улавливания твердых частиц $h_т$, %
Циклоны ЦН–15	80–85
Циклоны СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34	85–93
Групповые циклоны	85–90
Батарейные циклоны	82–90
Рукавные фильтры	99 и выше
Сетчатые фильтры (для волокнистой пыли)	93–96
Индивидуальные агрегаты типа ЗИЛ-900, АЭ212	95
Циклоны ЛИОТ	70–80

Коэффициент, учитывающий исправную работу очистного устройства,

$$A = N/N_1 \text{, (1.9)}$$

где N = 256 – количество дней исправной работы очистных сооружений в год; N_1 – количество дней работы станков в год,

$$A = 256/258 = 0{,}99;$$

$$M_0 = (239{,}63 + 261{,}92 + 278{,}64)\cdot\left(1 - \frac{0{,}99\cdot 80}{100}\right) = 160{,}87 \text{ кг/год}.$$

Аппарат очистки воздуха улавливает 80% абразивной пыли, выделяющейся при работе станков. Поэтому загрязнение атмосферного воздуха – в пределах нормы. Рабочим необходимо применять респираторы.

Задача 1.4. Определить количество NO_2, образующейся при сжигании угля. Максимальная температура факела в топке 1653 К, коэффициент избытка воздуха на выходе из топки составляет 1,07. Расход топлива – 10,85 кг/с, содержание азота в топливе N^p = 0,5%. Теоретически необходимый объем воздуха V^0 = 2,86 м^3/кг. Объемы составляющих продуктов сгорания: V_{RO_2} = 0,56 м^3/кг, $V^0_{N_2}$ = 2,27 м^3/кг, $V^0_{H_2O}$ = 0,60 м^3/кг. Объем топки составляет 918 м^3.

Решение. Объем сухих газов, м^3/кг,

$$V_г^{сух} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V^0\,(\alpha - 1), \text{(1.10)}$$

$$V_г^{сух} = 0{,}56 + 2{,}27 + (1{,}07 - 1)\cdot 2{,}86 = 3{,}03 \text{ м}^3\text{/кг}.$$

Полный объем дымовых газов, м^3/кг,

$$V_г = V_г^{сух} + V_{H_2O}^0 + 0{,}0161\cdot(\alpha - 1)\,V^0 \text{, (1.11)}$$

$$V_г = 3{,}03 + 0{,}60 + 0{,}0161\cdot(1{,}07 - 1)\cdot 2{,}86 = 3{,}63 \text{ м}^3\text{/кг}.$$

Определяем константу скорости реакции для различных топлив, м^3/(моль с),

$$k_2 = 4{,}0 \cdot 10^{19} \exp\left(-\frac{540{,}1 \cdot 10^6}{RT}\right), \quad (1.12)$$

где R = 8,31441 · 10^3 – постоянная газовая универсальная, Дж/(К · кмоль);

$$k_2 = 4{,}0 \cdot 10^{19} \exp\left(-\frac{540{,}1 \cdot 10^6}{8{,}31 \cdot 10^3 \cdot 1653}\right) = 3{,}507 \cdot 10^2 \quad м^3/(кмоль \cdot с)$$

.

Концентрация кислорода в зоне реакции, моль/м^3,

$$C_{O_2} = 0{,}21(\alpha - 1)\frac{V^0}{V_г}\frac{P}{RT}, \quad (2.13)$$

где P = 9,81 · 10^4 Па – давление в топке.

$$C_{O_2} = 0{,}21 \cdot (1{,}07 - 1)\frac{2{,}86}{3{,}63}\frac{9{,}81 \cdot 10^4}{8{,}31 \cdot 10^3 \cdot 1653} = 8{,}262 \cdot 10^{-5} \; кмоль/м^3$$

.

Рассчитываем концентрацию азота в зоне реакции, моль/м^3,

$$C_{N_2} = 0{,}79\,\alpha\,\frac{V^0}{V_г}\frac{P}{RT}, \quad (2.14)$$

$$C_{N_2} = 0{,}79 \cdot 1{,}07 \cdot \frac{2{,}86}{3{,}63} \cdot \frac{9{,}81 \cdot 10^4}{8{,}31 \cdot 10^3 \cdot 1653} = 4{,}751 \cdot 10^{-3} \; кмоль/м^3$$

.

Находим константу равновесия, моль/м^3,

$$K_p = \sqrt{\frac{64}{3}\exp\left(-\frac{180 \cdot 10^6}{RT}\right)}, \quad (1.15)$$

$$K_p = \sqrt{\frac{64}{3}\exp\left(-\frac{180 \cdot 10^6}{8{,}31 \cdot 10^3 \cdot 1653}\right)} = 6{,}591 \cdot 10^{-3} \; кмоль/м^3$$

.

Определяем равновесную концентрацию оксидов азота, моль/м^3,

$$C_{(NO)} = K_p \sqrt{C_{N_2}\ C_{O_2}}, \quad (1.16)$$

$$C_{(NO)} = 6{,}591 \cdot 10^{-3} \sqrt{8{,}262 \cdot 10^{-5} \cdot 4{,}751 \cdot 10^{-3}} = 4{,}129 \cdot 10^{-6} \text{ кмоль/м}^3.$$

Начальная концентрацию атомарного азота, моль/м^3,

$$C_N^O = \beta \frac{N^p\ 273}{14\ V_г T}, \quad (1.17)$$

где b – поправка на степень конверсии азота топлива, b = 0,02 для угля; b = 0,4 для торфа в топке с амбразурами; b = 0,5 для мазута [3];

$$C_N^O = 0{,}4 \cdot \frac{0{,}005 \cdot 273}{14 \cdot 3{,}63 \cdot 1653} = 6{,}5 \cdot 10^{-6} \quad \text{кмоль/м}^3.$$

Время пребывания продуктов сгорания в топке, с,

$$\tau = \frac{V_т\ 273}{B\ V_г\ T}, \quad (1.18)$$

$$\tau = \frac{918 \cdot 273}{10{,}85 \cdot 3{,}63 \cdot 1653} = 3{,}85 \text{ с}$$

Определяем безразмерное время:

$$H_0 = \frac{k_2\ C_{O_2}\ C_N^O\ \tau}{C_{(NO)}}; \quad (1.19)$$

$$H_0 = \frac{3{,}507 \cdot 10^2 \cdot 8{,}262 \cdot 10^{-5} \cdot 6{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}85}{4{,}129 \cdot 10^{-6}} = 0{,}1756$$

Безразмерная концентрация NO

$$\sigma_{NO} = \sqrt{2}\, \frac{\exp\left(2\sqrt{2}H_0\right) - 1}{\exp\left(2\sqrt{2}H_0\right) + 1}, \quad (1.20)$$

$$\sigma_{NO} = \sqrt{2}\,\frac{\exp\left(2\sqrt{2}\cdot 0{,}1756\right)-1}{\exp\left(2\sqrt{2}\cdot 0{,}1756\right)+1} = 0{,}344.$$

Действительная концентрация NO, моль/м^3,

$$C_{NO} = C_{(NO)}\ \sigma_{NO}, \qquad (1.21)$$

$$C_{NO} = 0{,}344\cdot 4{,}129\cdot 10^{-6} = 1{,}42\cdot 10^{-6}\ \text{кмоль/м}^3.$$

Действительная концентрация NO_2 при переходе всего NO в NO_2, кг/м^3,

$$C_{NO_2} = C_{NO}\ \frac{V_г\ 46\ T}{V_г^{сух}\ 273}, \qquad (1.22)$$

$$C_{NO_2} = 1{,}42\cdot 10^{-6}\cdot\frac{3{,}63\cdot 46\cdot 1653}{3{,}03\cdot 273} = 473{,}8\cdot 10^{-6},\ \text{кг/м}^3 = 473{,}8\ \text{мг/м}^3.$$

При таких условиях работы топки в окружающую среду выделяется около 474 мг/м^3 двуокиси азота. На эмиссию оксидов азота сильное влияние оказывает коэффициент избытка воздуха и температура в топочной камере.

2 ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ

Вибрация – это вид механических колебаний в технике (машинах, механизмах, средствах транспорта, конструкциях и др.). Источниками вибраций на предприятиях железнодорожного транспорта являются многие технологические процессы: укладка бетонных смесей, формовка железобетонных изделий на виброплощадках. Интенсивные вибрации возникают на фундаментах машин, при работе ручного механизированного инструмента, в подвижном составе железных дорог, а также создаются компрессорами, вентиляторами, насосами, генераторами.

По характеру воздействия на человека различают общую и локальную (местную) вибрацию. Общей вибрации (тряске), передаваемой на организм через опорные поверхности тела человека, подвергаются работники поездных и локомотивных бригад, операторы путевых и самоходных машин, трактористы и другие рабочие, а также пассажиры. Локальная вибрация, действующая на руки человека, создается многочисленными ручными машинами и механизированным инструментом, широко применяемыми при самых разнообразных работах, связанных с изготовлением и ремонтом средств транспорта, пути, электрооборудования, средств автоматики и связи, при строительных и монтажных работах.

Систематическое воздействие общих вибраций в резонансной или околорезонансной зоне может быть причиной вибрационной болезни – стойких нарушений физиологических функций, обусловленных преимущественно воздействием вибраций на центральную нервную систему. Эти нарушения проявляются в виде головных болей, головокружения, плохого сна, пониженной работоспособности, плохого самочувствия, нарушения сердечной деятельности.

Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов, распространяющиеся от фаланг пальцев, на всю кисть, предплечье и сердце. Вследствие этого происходит нарушение периферического кровоснабжения. Одновременно происходит нарушение чувствительности кожи, окостенение сухожилий мышц, возникают боли и отложения солей в суставах кистей рук и пальцев, что приводит к деформации и уменьшению подвижности суставов.

Виброболезнь относится к группе профзаболеваний, эффективное лечение которых возможно лишь на ранних стадиях, причем восстановление нарушенных функций протекает очень медленно, а в особо тяжелых случаях в организме наступают необратимые изменения, приводящие к инвалидности.

Снижение вибраций машин и механизмов достигается либо воздействием на источник вибраций – переменные силы в конструкции, либо воздействием на колебательную систему, в которой эти силы действуют.

Основными направлениями борьбы с вибрацией машин и оборудования являются:

– снижение вибрации в источнике возникновения посредством снижения или ликвидации действующих переменных сил;

– отстройка от режима резонанса путем рационального выбора приведенной массы или жесткости системы;

– вибродемпфирование;

– динамическое гашение колебаний путем внесения в систему дополнительных реактивных импедансов (сопротивлений).

Виброизоляция осуществляется посредством введения в колебательную систему дополнительной упругой связи, препятствующей передаче вибраций от машины – источника колебаний – к основанию или смежным элементам конструкции. Для виброизоляции машин с вертикальной возмущающей силой применяют виброизолирующие опоры трех типов: резиновые, пружинные и комбинированные.

Расчет виброизоляторов сводится к определению потребной упругости резиновых прокладок или пружин и определению их геометрических параметров: диаметра, числа витков и радиуса витка пружин, высоты, площади и числа резиновых прокладок.

Примеры решения задач

Задача 2.1. Рассчитать виброизоляцию виброплощадки и виброгасящее основание (фундамент) с обеспечением допустимых параметров вибрации рабочих мест в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90, если виброизоляторы пружинные; виброплощадка с вертикально направленными колебаниями грузоподъемностью 10 т; общий вес Q = 13860 Н, в том числе подвижных частей $Q_{п.ч}$ = 11300 Н, частота колебаний f = 50 Гц; максимальный кинематический момент дебалансов М = 5200 Н/см; амплитуда колебаний виброплатформы а = 0,5 мм; размер виброплатформы 6 х 2,2 м; грунт–песок мелкий, маловлажный.

Решение. Расчетную схему см. на рис. 2.1.

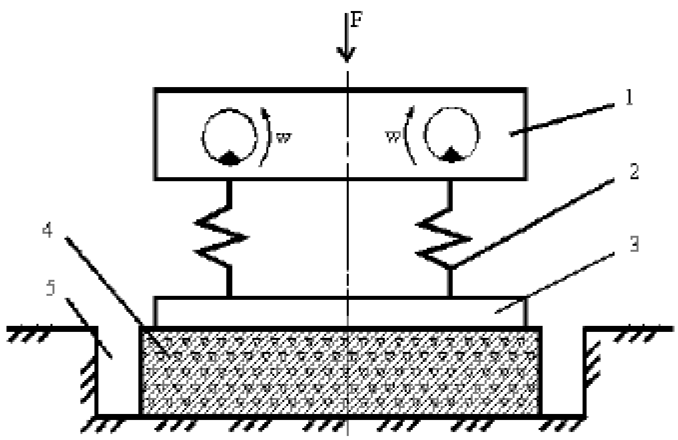


Рис. 2.1 – Схема установки виброплощадки с пружинными виброизоляторами:

1 – подвижная часть виброплощадки; 2 – пружинный виброизолятор; 3 – неподвижная часть виброплощадки; 4 – виброгасящее основание (фундамент); 5 – акустический шов

Определяем динамическую силу, Н, создаваемую дебалансами вибраторов

$$F = \frac{M\omega^2}{q}, \quad (2.1)$$

где w = 2p f – круговая частота вибраторов, $с^{-1}$,

$$F = \frac{5200(2 \cdot 3{,}14 \cdot 50)^2}{981} = 522629 \text{ Н.}$$

Суммарная жесткость пружинных виброизоляторов, Н/м,

$$K = \frac{Q_{П.Ч}}{X_{ст}}, \quad (2.2)$$

где $X_{ст}$ – принимаем равным 0,5 см,

$$K = \frac{11300}{0{,}005} = 22600000 \text{ Н/м.}$$

Собственная частота колебаний, Гц,

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{X_{ст}}}, \quad (2.3)$$

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{0{,}5}} = 7{,}05 \text{ Гц.}$$

Определяем коэффициент передачи

$$\mu = \frac{1}{[(f/f_0)^2 - 1]}, \quad (2.4)$$

$$\mu = \frac{1}{(50/7{,}05)^2 - 1} = \frac{1}{49}.$$

Динамическая сила, Н, передаваемая на основание,

$$Fo = \frac{F}{\mu}, \quad (2.5)$$

$$Fo = \frac{522629}{49} = 10666 \text{ Н.}$$

Для расчета амплитуды перемещений основания виброплощадки $a_ф$ необходимо найти:

- минимальную площадь основания виброплощадки, см^2,

$$S_0 = \frac{Q}{R}, \quad (2.6)$$

где R = 2⋅10⁵ Па – допустимое нормативное давление на грунт условного фундамента (табл. 2.1),

$$S_0 = \frac{128600}{2 \cdot 10^5} = 6430 \text{ см}^2;$$

- жесткость основания под виброплощадкой, Н/м,

$$K_ф = F_0 C_Z, \quad (2.7)$$

где C_Z = 40 Н/см³ – коэффициент упругого равномерного сжатия грунта (при

R = 1⋅2⋅10⁵ Па; C_Z = 20 Н/см²; R = 2C_Z = 40 Па; R = 3C_Z = 50 Па; R = 4C_Z = 60 Па; R = 5C_Z = 70 Па);

$$K_ф = 6430 \cdot 40 = 257200 \text{ Н/м};$$

- собственную частоту колебаний основания виброплощадки, Гц,

$$f_Ф = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K_Ф}{m_O}}, \quad (2.8)$$

где $m_0 = \dfrac{Q - Q_{П.Ч}}{q}$,

$$f_Ф = \frac{1}{6{,}28}\sqrt{\frac{257200 \cdot 981}{2560}} = 15{,}8 \text{ Гц}.$$

Таблица 2.1 – Допустимые нормативные давления на грунт

Наименование и состояние грунта	Дополнительное нормативное давление, $2 \cdot 10^5$ Па
Пески независимо от влажности: – крупные; – средней крупности	3,5... 4,5 2,5... 3,5
Пески мелкие: – маловлажные; – насыщенные водой	2,0...3,0 2,5...4,5
Пески пылевлажные: – маловлажные; – очень влажные; – насыщенные водой	2,0...2,5 1,5... 2,0 1,0...1,5
Супеси при коэффициенте пористости К: – 0,5; – 0,7	3,0 2,0
Суглинки при коэффициенте пористости К: – 0,5; – 0,7; – 1,0	2,5...3,0 1,8...2,5 1,0…2,0

Амплитуда перемещений основания виброплощадки, см,

$$a_\Phi = \frac{F_O}{K_\Phi\left(\frac{f^2}{f_\Phi^2} - 1\right)}, \quad (2.9)$$

$$a_\Phi = \frac{10666}{257200\left(\frac{50^2}{15{,}8^2} - 1\right)} = 0{,}0046 \text{ см} = 0{,}046 \text{ мм} > a_{доп} = 0{,}009 \text{ мм}.$$

Допустимое значение вибросмещения $a_{доп}$ определяется для частоты гармонической составляющей 50 Гц интерполяцией по табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Допустимые значения амплитуды вибросмещения

Частота гармонической составляющей, Гц	Амплитуда виброперемещения $a_{доп}$, мм	
	с вибрирующими установками	без вибрирующих установок
2	1,4	0,57
4	0,25	0,1
8	0,063	0,025
16	0,0282	0,0112
31,5	0,0141	0,0056
63	0,0072	0,0028

При применении только пружинных виброизоляторов амплитуда перемещений основания превышает допустимые уровни. Для их снижения требуется устройство виброгасящего основания (фундамента).

Для виброплощадок с вертикально направленными колебаниями минимально необходимый вес фундамента, при котором колебания не будут превышать допустимых, определяем по формуле

$$Q_{\Phi} = \frac{q(aK + K_{\Phi} a_{\phi})}{a_{\Phi}\omega^2} - Q_o, \qquad (2.10)$$

где $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 = 314\ c^{-1}$ – угловая частота колебаний; Q_o – вес неподвижной части (основания) виброплощадки, Н.

Для виброплощадок, работающих с частотой не ниже 3000 кал/мин, можно пользоваться формулой

$$Q_{\Phi} = 1{,}1 \ldots 1{,}2 \frac{q\,a\,K}{a_{\Phi}\omega^2},$$

$$Q_{ф} = 1{,}1 \frac{9{,}81 \cdot 0{,}0005 \cdot 22600000}{0{,}000009 \cdot 314^2} = 137416 \text{ Н.}$$

Принимаем вес фундамента $Q_ф$ = 140000 Н.

Определяем собственную частоту колебаний фундамента, Гц,

$$f_ф = \frac{1}{2\pi}\,\frac{K_ф q}{m_ф}, \qquad (2.11)$$

Где

$$m_ф = \frac{Q_ф + Q_o}{q},$$

$$f_ф = \frac{1}{6 \cdot 28} \cdot \frac{257200 \cdot 981}{165600} = 6{,}22 \text{ Гц,}$$

Амплитуду перемещения фундамента определяем по формуле (2.9):

$$a_ф = \frac{10666}{257200\left(\frac{50^2}{6{,}22} - 1\right)} = 0{,}0065$$ мм < $a_{доп} = 0{,}009$ мм.

При применении пружинных виброизоляторов и виброгасящего основания амплитуда перемещений фундамента не превышает допустимой величины.

Задача 2.2. Рассчитать виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации, если рабочее место размещено на виброизолируемой железобетонной плите размерами 1,5 х 1,0 х 0,1 м, весом 3300 Н, виброскорость рабочего места на частоте 63 Гц V = 0,08 м/ч, виброизоляторы – металлические пружины.

Решение. Приводим расчетную схему (рис. 2.2).

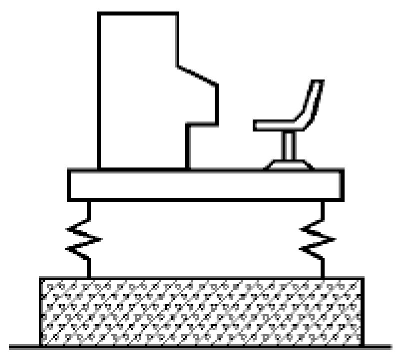


Рисунок 2.2 – Пассивная виброизоляция рабочего места оператора

Определяем по ГОСТ 12.1.012-90 допустимую для частоты вынужденных колебаний 63 Гц виброскорость рабочего места $V_{доп}$ = 0,002 м/с.

Общий вес виброизолированного рабочего места оператора, Н,

$$Q = Q_И + Q_П, \quad (2.12)$$

где $Q_и$ – вес оператора принимаем равным 700 Н; $Q_п$ – вес железобетонной плиты, Н,

$$Q = 700 + 3300 + 4000 = 8000 \text{ Н.}$$

Определяем частоту собственных колебаний виброизолированного рабочего места, Гц,

$$f_0 = \frac{f}{\sqrt{1/\mu - 1}}, \quad (2.13)$$

$$f_0 = \frac{63}{\sqrt{40-1}} = 8{,}6 \text{ Гц.}$$

Определяем статическую деформацию пружинных виброизоляторов по формуле (2.3)

$$X_{CT} = \sqrt{\frac{5}{8{,}6}} = 0{,}76 \text{ см.}$$

Находим суммарную жесткость пружинных виброизоляторов по формуле (3.2)

$$K_c = \frac{400}{0{,}0076} = 526315 \text{ Н/м.}$$

Принимаем количество устанавливаемых пружин $n_п = 4$.

Жесткость одного виброизолятора, Н/м,

$$K_п = \frac{K_c}{n_п}, \quad (2.14)$$

$$K_п = \frac{526315}{4} = 131578 \text{ Н/м.}$$

Расчетная нагрузка на одну пружину, Н,

$$P = \frac{Q}{n_п},$$

$$P = \frac{4000}{4} = 1000 \text{ Н.}$$

Диаметр проволоки, мм, для изготовления пружин

$$d = 1{,}6\sqrt{\frac{NPC}{[\tau]}},$$

$$d = 1{,}6\sqrt{\frac{1{,}2 \cdot 1000 \cdot 7}{4 \cdot 10^8}} = 0{,}0073$$ мм,

где N – коэффициент, определяемый по графику (рис. 3.3); C = D/d = 7 – отношение диаметра пружин к диаметру проволоки (принимается в пределах 4...10); [t] – допускаемое напряжение на срез (для пружинной стали » 3,0...4,5· 0^8 Н/см).

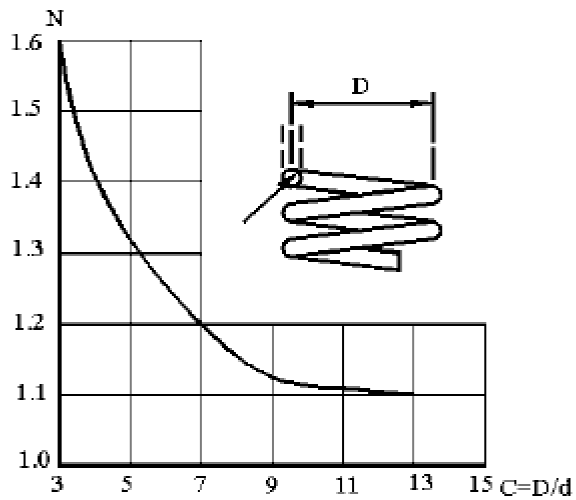


Рисунок 2.3 – Зависимость коэффициента N от индекса пружины C = D/d

Определяем число рабочих витков пружины:

$$i = \frac{\sigma d}{8K_п C^3},$$

где s – модуль упругости на сдвиг (для стали 8· 0^6),

$$i = \frac{8 \cdot 10^6 \cdot 0{,}0073}{8 \cdot 131578 \cdot 7^3} = 1{,}62$$ витка.

Число нерабочих витков при i < 7 принимаем i_2 = 1,5 витка на оба пальца пружины, а при i > 7 – i_2 = 2,5 витка. Полное число витков пружины I = i_1+ i_2 = 1,62 + 1,5 = 3,12.

Высота ненагруженной пружины, см,

$$H_0 = i_1 h_1 + (i_2 + 0{,}5)\, d,$$

где h_1 = 0,25...0,5D; D – шаг пружины (D = C d = 7 · 0,73 = 5,11 см).

$$H_0 = 1{,}62 \cdot 1{,}53 + (1{,}5 + 0{,}5)0{,}73 = 3{,}94 \text{ см.}$$

Принимаем h_1 = 0,3 D = 0,3 ? 5,11 = 1,53 см.

Для обеспечения устойчивости пружин, работающих на сжатие, необходимо, чтобы $H_o/D \le 1{,}5$, т.е. 3,94/5,11 = 0,77< 1,5.

Продольная устойчивость виброплиты обеспечена.

Задача 2.3. Определить какая часть динамических сил от вибрации частотой 100 Гц, создающейся электродвигателем, будет изолирована прокладкой из резины средней жесткости толщиной 5 см.

Решение. Вычертим расчетную схему (рис. 2.4).

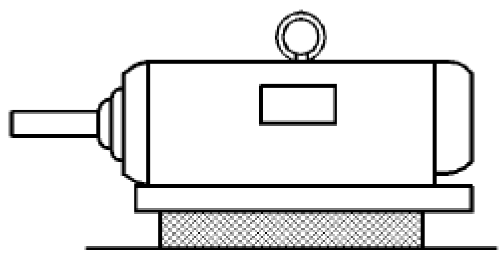


Рисунок 2.4 – Схема виброизоляции электродвигателя на резиновой прокладке

Определяем статическую осадку амортизаторов, см,

$$X_{CT} = 0{,}015\, h,$$

$$X_{CT} = 0{,}015 \cdot 5 = 0{,}075 \text{ см.}$$

Число оборотов электродвигателя:

$$n = f60,$$

$$n = 100 \cdot 60 = 6000 \text{ об/мин.}$$

Определяем коэффициент виброизоляции

$$к = \frac{9 \cdot 10^6}{X_{СТ} n^2},$$

$$к = \frac{9 \cdot 10^6}{0{,}075 \cdot 6000^2} » 3\%.$$

Прокладкой из резины толщиной 5 см примерно 3% динамических сил от вибрации частотой 100 Гц будет передано основанию, а 97 % – изолировано.

Задача 2.4. Рассчитать виброизоляцию электродвигателя весом 1000 Н с числом оборотов n=3000 об/мин.

Решение. Вычертим расчетную схему (рис. 2.5).

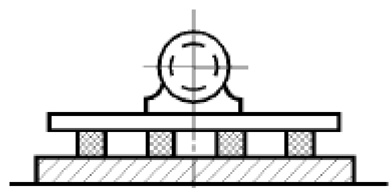


Рисунок 2.5 – Схема виброизоляции на резиновых прокладках

Принимаем вес фундамента в 4 раза больше веса электродвигателя. Тогда общий вес будет равен 5000 Н.

Основная частота $f = \frac{n}{60} = \frac{3000}{60} = 50$ Гц.

Выбираем в качестве прокладок резину средней жесткости.

Находим статическую осадку резиновых прокладок, см,

$$X_{СТ} = h\frac{\sigma}{E_D},$$

где h – толщина прокладки (принимаем h = 6 см),

$$X_{СТ} = 0{,}015 \cdot 6 = 0{,}09 \text{ см},$$

Определяем частоту колебаний установки на амортизаторах по формуле (2.3)

$$f_o = \frac{5}{\sqrt{0,09}} = 17 \text{ Гц.}$$

Таким образом, f_o =17 Гц < 50 Гц почти в 3 раза.

Определяем коэффициент виброизоляции

$$к = \frac{9 \cdot 10^6}{X_{СТ} n^2},$$

$$к = \frac{9 \cdot 10^6}{0,015 \cdot 3000^2} = 11\% .$$

Площадь всех прокладок, см^2, под агрегат

$$S = \frac{P}{\sigma},$$

где s – допустимое напряжение для резины средней жесткости, Н/см^2,

$$S = \frac{5000}{30} = 166 \text{ см}^2.$$

Принимаем количество прокладок 8.

Площадь одной прокладки

$$S_n = \frac{166}{8} \approx 20 \text{ см}^2.$$

Принимаем размеры резиновых прокладок 4х 5 см.

Расчет показывает, что увеличение высоты прокладки ведет к повышению статической осадки $X_{ст}$ и снижению резонансной частоты f_o.

Задача 2.5. Рассчитать виброизоляцию виброплощадки с обеспечением допустимых параметров вибрации в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90, если виброплощадка с вертикально направленными колебаниями грузоподъемностью 10 т; общий вес Q = 13860 Н, в т.ч. подвижных частей $Q_{п.ч}$ = 11300 Н; частота колебаний 50 Гц; максимальный кинематический момент дебалансов M = 5200 Н/см; амплитуда колебаний виброплатформы а = 0,05 мм; размер виброплатформы 6 х 2,2 м; амортизаторы пневморезиновые.

Решение. Приводим расчетную схему (рис. 2.6).

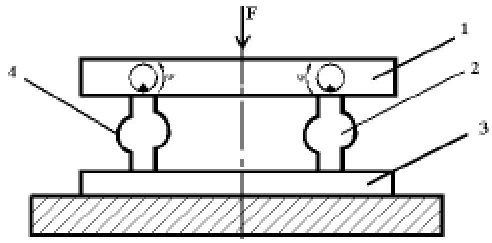


Рисунок 2.6 – Схема установки виброплощадки с пневморезиновым амортизатором: 1 – подвижная часть виброплощадки; 2 – камера пневморезинового амортизатора; 3 – неподвижная часть виброплощадки; 4 – резино-кордная оболочка пневморезинового амортизатора

Рассчитаем динамическую силу, создаваемую дебалансами вибраторов, по формуле (2.1)

$$F = \frac{5200(2 \cdot 3{,}14 \cdot 50)^2}{981} = 522629 \text{ Н.}$$

Определяем:

- суммарную эффективную площадь, см^2, (рабочее давление в камерах принимаем в расчетах P_o=60$\cdot$ 10^4 Па)

$$S = \frac{Q_{п.ч}}{P_0},$$

$$S = \frac{11300}{60 \cdot 10^4} = 1883 \text{ см}^2;$$

- собственную частоту колебаний, Гц,

$$f_0 = \frac{S}{2\pi}\sqrt{\frac{hP_0}{m_{п.ч}V}},$$

где h – показатель пометропы; V– объем камеры пневморезинового амортизатора, м^3;

$$f_0 = \frac{1883}{2 \cdot 3{,}14}\sqrt{\frac{1{,}41 \cdot 60 \cdot 981}{113000 \cdot 9600}} = 2{,}62$$ Гц.

Определяем коэффициент передачи пневморезиновых амортизаторов по формуле (2.4)

$$\mu = \frac{1}{(50/262)^2 - 1} = \frac{1}{363}.$$

Определяем динамическую силу, передаваемую на основание, по формуле (2.5)

$$F_0 = \frac{522629 \cdot 1}{363} = 1440$$ Н.

Рассчитаем амплитуду перемещений основания виброплощадки по формуле (2.9)

$$a_{\Phi} = \frac{1440}{257200(50^2/2{,}62^2 - 1)} = 0{,}00062$$ см = 0,0062 мм < $a_{доп} = 0{,}009$ мм.

При применении пневморезиновых амортизаторов амплитуда перемещений основания виброплощадки не превышает допустимой величины.

Задача 2.6. Рассчитать виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации, если рабочее место размещено на виброизолируемой плите размерами 1,5 x 1,0 x 0,1 м весом 3300 Н; виброскорость рабочего места на частоте 63 Гц составляет V = 0,08 м/с; виброизоляторы резиновые.

Решение. Для виброизоляции рабочего места оператора применяем 4 резиновых виброизолятора, изготовленных из резины марки 3311 (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Характеристика резины, используемой для виброизоляторов

Марка резины	Модуль упругости, $1 \cdot 10^5$ Па		Коэффициент неупругого сопротивления n
	динамический $E_Д$	Статический $E_{СТ}$	
ИРП-1347	54	33	0,09
2566	38	24	0,11
СУ-363	153	51	0,15
8508	126	31	0,15
4326	226	60	0,16
Н068	166	39	0,17
199	196	40	0,208
122	206	73	0,21
9831	166	36	0,25
3826	236	46	0,30
25424	314	46,5	0,32
3311	250	16	0,038
2959	63	30	0,14
56	72	37	0,16

Вычерчиваем расчетную схему (рис. 2.7).

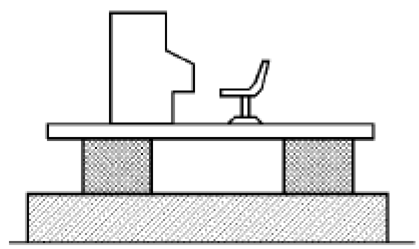


Рисунок 2.7 – Схема виброизоляции рабочего места оператора с помощью резиновых амортизаторов

Определяем площадь сечения виброизоляторов, см^2,

$$S = \frac{Q}{\sigma},$$

где Q = $Q_п$ +$Q_о$ = 3300+4000 Н; $Q_п$ – вес плиты; $Q_о$ – вес оператора, принимаем $Q_о$ = 700 Н; s = 2...$4 \cdot 10^5$ Па – расчетное статическое напряжение в упругом материале амортизатора (принимаем s = $3 \cdot 10^5$ Па),

$$S = \frac{4000}{30} = 133{,}3$$ см^2.

Площадь одного виброизолятора

$$S_в = \frac{S}{n_в},$$

$$S_в = \frac{133{,}3}{4} = 33{,}3 \text{ см}^2.$$

Суммарная жесткость виброизоляторов, Н/см^2,

$$K_C = m\omega^2 = 4\pi^2 f_o^2 \frac{Q}{q},$$

где f_o – частота собственных колебаний, Гц,

$$f_o = \frac{f}{\sqrt{1/\mu - 1}}, \quad (2.15)$$

где m – коэффициент передачи

$$\mu = \frac{V_{доп}}{V},$$

$V_{доп}$ принимаем равным 0,002 м/с,

$$\mu = \frac{0{,}002}{0{,}08} = \frac{1}{40}.$$

Тогда $f_o = \frac{63}{\sqrt{40 - 1}} = 8{,}6$ Гц,

а $K_C = 4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 8{,}6^2 \frac{4000}{981} = 11894$ Н/см^2.

Расчетную высоту виброизоляторов (высота деформируемой части) определяем как

$$H_P = \frac{E_Д}{K_c}, \quad (2.16)$$

$$H_P = \frac{250 \cdot 133{,}3}{11894} = 2{,}8.$$

Принимаем $H_P = 3$ см.

Принимаем сечение виброизолятора – квадрат со стороной 5,8 см, тогда $S_{ПВ} = 33{,}64$ см^2.

Определяем полную высоту:

$$H = H_P + \frac{d}{8}, \quad (2.17)$$

$$H = 3 + \frac{5{,}8}{8} = 3{,}7 \text{ см.}$$

Резиновые виброизоляторы сохраняют устойчивость от опрокидывания в процессе эксплуатации при условии $H < d < 1{,}5...2{,}0\ H$.

Фактическая жесткость принятых резиновых виброизоляторов, Н/см^2,

$$K = \frac{E_Д S_{ПВ}}{H_P}, \quad (2.18)$$

$$K = \frac{250 \cdot 33{,}64 \cdot 4}{3{,}0} = 11213 \text{ Н/см}^2.$$

Определяем фактическую частоту собственных колебаний, Гц, виброизолированного рабочего места:

$$f_o = \sqrt{\frac{Kg}{Q}}, \quad (2.19)$$

$$f_o = \sqrt{\frac{11213 \cdot 981}{4000}} = 8{,}35 \text{ Гц.}$$

Определяем коэффициент передачи по формуле (2.4)

$$\mu = \frac{1}{\frac{63^2}{8{,}35^2} - 1} = \frac{1}{57}.$$

Расчетное значение виброскорости, м/с, виброизолированного рабочего места оператора

$$V_0 = \frac{V}{\mu}, \quad (2.20)$$

$$V_0 = \frac{0{,}08}{57} = 0{,}0014 \text{ м/с} < V_{доп} = 0{,}002 \text{ м/с}.$$

Применение резиновых виброизоляторов обеспечит виброзащиту рабочего места оператора.

Задача 2.7. Установить эффективность виброизоляции вентиляционной установки с электрическим приводом, если вес установки P = 1300 кгс; частота вращения вала электродвигателя n = 850 об/мин; количество виброизоляторов (с одной пружиной) N = 4 шт. Допустимая амплитуда смещения $a_z = 0{,}12$ мм.

Решение. Вычертим расчетную схему (рис. 2.8).

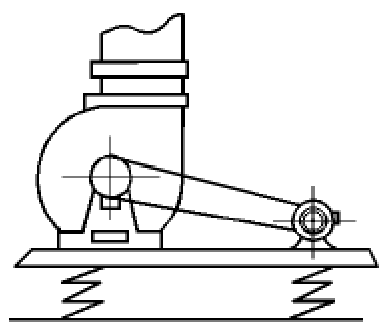


Рисунок 2.8 – Схема виброизоляции вентиляционной установки с помощью пружиных амортизаторов

Принимаем соотношение вынужденных и собственных колебаний равным 4; допустимое напряжение на кручение [t] = $4{,}2 \cdot 10^3$ кгс/см^2; модуль сдвига s = $8 \cdot 10^5$ кгс/см^2; индекс пружины c = 4, коэффициент $K_p = 1{,}4$.

Определяем частоту вынужденных колебаний, Гц,

$$f = \frac{n}{60}, \quad (2.21)$$

$$f = \frac{850}{60} = 14{,}2 \text{ Гц},$$

так как $f/f_o = 4$, частота собственных колебаний, Гц,

$$f_0 = \frac{f}{4}, \quad (2.22)$$

$$f_0 = \frac{14{,}2}{4} = 3{,}6 \text{ Гц}.$$

Находим суммарную жесткость виброизоляторов, Н/см,

$$K_Z = m f_0^2, \quad (2.23)$$

где m – масса фундамента с установкой, Н,

$$m = \frac{P}{g},$$

$$m = \frac{1300}{9{,}8} = 1327 \text{ Н},$$

$$K_Z = 1327 \cdot 3{,}6^2 = 17198 \text{ Н/см}.$$

Жесткость одной пружины, Н/см,

$$K_Z^1 = \frac{K_Z}{4},$$

$$K_Z^1 = \frac{17198}{4} = 4299{,}5 \text{ Н/см}.$$

Определяем динамическую нагрузку, Н, на одну пружину в рабочем режиме изолируемого устройства:

$$P^1_{дин} = a_Z K^1_Z,$$

$$P^1_{дин} = 0{,}012 \cdot 4299{,}5 = 51{,}6 \text{ Н.}$$

Расчетная нагрузка на одну пружину:

$$P^1_Z = \frac{P}{n} + 1{,}5K^1_Z(V_o + V), \quad (2.24)$$

где V_o – среднеквадратичная виброскорость рабочего места (V_o = 0,002 м/с), V – среднеквадратичная виброскорость основания виброплощадки (V = 0,09 м/с);

$$P^1_Z = \frac{13000}{4} + 1{,}5 \cdot 4299{,}5(0{,}002 + 0{,}09) = 3843 \text{ Н.}$$

Диаметр проволоки, см, цилиндрических винтовых пружин определяем по формуле

$$d = 1{,}6\sqrt{\frac{K_p P^1_Z C}{[\tau]}}, \quad (2.25)$$

$$d = 1{,}6\sqrt{\frac{1{,}4 \cdot 3843 \cdot 4}{4{,}2 \cdot 10^3}} = 3{,}5 \text{ см.}$$

Определяем число витков пружины

$$i = \frac{\sigma d}{8c^3 K^1_z}, \quad (2.26)$$

$$i = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 3{,}5}{8 \cdot 4^3 \cdot 4299{,}5} = 13.$$

Полное число витков пружин:

при $i < 7$ $\quad i_п = i + 1{,}5$

при $i > 7$ $\quad i_п = i + 2{,}5$ $\quad i_п = 13 + 2{,}5 = 15{,}5.$

Высота пружины, см,

$$H = (i_n - 0{,}4)d, \quad (2.27)$$

$$H = (15{,}5 - 0{,}4)3{,}5 = 53 \text{ см.}$$

Рассчитаем коэффициент передачи виброизоляции по формуле (2.4)

$$\mu = \frac{1}{\left[\left(\frac{14{,}2}{3{,}6}\right)^2 - 1\right]} = \frac{1}{14}.$$

Так как отношение $f/f_o > 1{,}4$, устройство виброизоляции обладает защитными свойствами.

Задача 2.8. Рассчитать пассивную виброизоляцию под вентиляторную установку и ее эффективность, если масса установки Р = 260 кгс; частота вращения вала электродвигателя n = 850 об/мин; расчетная амплитуда вертикальных колебаний установки $a_Z = 0{,}0028$ мм; виброизоляторы выполнены из четырех одинарных пружин с размещением между пружинами и несущей конструкцией резиновых прокладок (при расчете их влияние не учитывается); допускаемое напряжение на кручение для пружинной стали $[t] = 4{,}2 \cdot 10^3$ кгс/см^2; модуль сдвига $s = 8 \cdot 10^5$ кгс/см^2; индекс с = 4; $К_р = 1{,}4$.

Решение. Вычерчиванием расчетную схему установки (рис. 2.9).

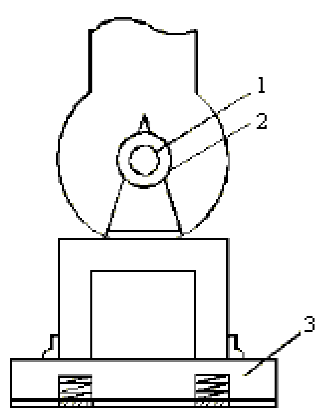


Рисунок 2.9 – Схема вентиляционной установки: 1 – электродвигатель; 2 – воздуховод; 3 – основание установки

Принимаем отношение $f/f_o = 3$.

Определяем частоту вынужденных колебаний по формуле (2.21)

$$f = \frac{850}{60} = 14 \text{ Гц.}$$

Тогда по формуле (2.20)

$$f_0 = \frac{14}{3} = 4{,}7 \text{ Гц.}$$

Находим общую жесткость пружин, кгс/см,

$$K_Z = \frac{P\,f_0^2}{25}, \quad (2.28)$$

$$K_Z = \frac{260 \cdot 4{,}7^2}{25} = 229 \text{ кгс/см.}$$

Определяем статический прогиб, см,

$$X_{CT} = \frac{P}{K_Z}, \quad (2.29)$$

$$X_{CT} = \frac{260}{229} = 1{,}14 \text{ см.}$$

Диаметр проволоки цилиндрических пружин, см,

$$d = 1{,}6\sqrt{\frac{K_p\,P^1\,c}{[\tau]}},$$

где P^1 – расчетная нагрузка на одну пружину, кгс, определяется по формуле

$$P^1 = P_{CT} + 1{,}5a_Z K_Z^1,$$

так как $P_{CT} = \frac{P}{4} = \frac{260}{4} = 65$ кгс; $K_Z^1 = \frac{K_Z}{4} = \frac{229}{4} = 57{,}25$ кгс/см, то $P^1 = 65 + 1{,}5 \cdot 0{,}0028 \cdot 57{,}25 = 65 + 24 = 89$ кгс,

$$d = 1{,}6\sqrt{\frac{1{,}4\,(65 + 24)\,4}{4{,}2 \cdot 10^3}} = 0{,}47$$ см.

Находим число витков пружины по формуле (2.26):

$$i = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 0{,}5}{8 \cdot 4^3 \cdot 57{,}25} = 13{,}64,$$

где d – принимаем по ГОСТ 12.1.012-90 равным 0,5 см.

Полное число витков пружины

при $i > 7$ $i_n = i + 2{,}5$;

при $i < 7$ $i_n = i + 1{,}5$:

В данном примере $i_n = i + 2{,}5 = 13{,}64 + 2{,}5 = 16{,}14$.

Высота пружины, сжатая до соприкосновения витков:

$$H = (i_n - 0{,}4)\,d,$$

$$H = (16{,}14 - 0{,}4)0{,}5 = 7{,}87$$ см.

Коэффициент передачи определяем по формуле (2.4)

$$\mu = \frac{1}{[(14{,}7 / 4{,}7)^2 - 1]} = 0{,}125.$$

Эффективность виброизоляции, дБ,

$$\Delta L = 20\,\lg\frac{1}{\mu}, \quad (2.30)$$

$$\Delta L = 20\lg\frac{1}{0{,}125} = 18$$ дБ.

Вибрация установки 18 дБ не превысит техническую норму согласно ГОСТ 12.1.012-90.

Задача 2.9. Определить, на сколько децибел улучшится виброизоляция на частоте вращения вентилятора f, если жесткость амортизаторов уменьшить вдвое; вентиляционная установка закреплена с помощью амортизаторов на перекрытии складского помещения; статический прогиб амортизаторов $X_{ст}$ = 5 мм.

Решение. Под виброизоляцией понимается величина

$$\Delta L = 20\lg\frac{1}{\mu},$$

при отношении $f/f_{o?}$ 3 выражение принимает вид:

$$\Delta L = 20\lg\left(\frac{f}{f_o}\right)^2. \quad (2.31)$$

Найдем разность

$$\Delta L_2 - \Delta L_1 = 20\lg\left(\frac{f}{f_{01}}\right)^2 - 20\lg\left(\frac{f}{f_{02}}\right)^2. \quad (2.32)$$

Учитывая, что $X_{CT2} = 2X_{CT1}$ (по условию) и ¦ $_o$=5/$\sqrt{X_{CT}}$, определим по формуле (2.32)

$$\Delta L_2 - \Delta L_1 = 20\lg\left(\frac{f\sqrt{2\cdot 5}}{5}\right)^2 - 20\lg\left(\frac{f\sqrt{5}}{5}\right)^2 = 20\lg 2 = 6 \text{ дБ}.$$

Таким образом, виброизоляция на основной частоте вращения вентиляционной установки улучшится на 6 дБ.

Задача 2.10. Дизель-генератор массой m = 2000 кгс установлен на шести резинометаллических амортизаторах с суммарной жесткостью $K_Z = 18 \cdot 10^5$ Н/м; частота вращения вала установки n = 750 об/мин. Сравнить параметры вибрации с допустимыми значениями по ГОСТ 12.1.012-90.

Решение. Определяем круговую частоту вынужденных колебаний, $с^{-1}$,

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{n}{60}, \quad (2.33)$$

$$\omega = 2 \cdot 3{,}14 \frac{750}{60} = 78{,}5 \text{ с}^{-1}.$$

Рассчитаем статическую осадку амортизаторов установки, м,

$$X_{CT} = \frac{mg}{K_Z}, \quad (2.34)$$

$$X_{CT} = \frac{2000 \cdot 9{,}81}{18 \cdot 10^5} = 0{,}011 \text{ м.}$$

Круговая частота собственных колебаний установки на амортизаторах, $с^{-1}$, составит:

$$\omega_0 = 2\pi \frac{0{,}5}{\sqrt{X_{CT}}} \approx 30 \text{ с}^{-1}.$$

Найдем максимальную амплитуду колебаний, м, если sin w t = 1:

$$a = X_{CT} \left(\frac{1}{1 - \omega^2 / \omega_0^2} \right), \quad (2.35)$$

$$a = 0{,}011 \left(\frac{1}{1 - 78{,}5^2 / 30^2} \right) = 0{,}0019 \text{ м.}$$

Определяем частоту вынужденных колебаний, Гц, по формуле (2.33)

$$f = \frac{\omega}{2\pi},$$

$$f = \frac{78{,}5}{2 \cdot 3{,}14} = 12{,}5 \text{ Гц.}$$

Ближайшая к частоте 12,5 Гц стандартная среднегеометрическая частота ¦ $_{ср.ч}$ = 16 Гц (ГОСТ 12.1.012-90).

Нижняя граничная частота, Гц, октавы определяется по формуле

$$f_н = \frac{f_{ср.ч}}{1{,}41}, \quad (2.36)$$

$$f_н = \frac{16}{1{,}41} = 11{,}35 \text{ Гц.}$$

Верхняя граничная частота, Гц,

$$f_В = 2f_Н,$$

$$f_В = 2 \cdot 11{,}35 = 22{,}7 \text{ Гц.}$$

Оценку вибрации, таким образом, будем вести для октавной полосы с $f_{ср.ч.}$ = 16 Гц.

Находим значение виброскорости, м/с,

$$V = 2\pi fa, \quad (2.37)$$

$$V = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 12{,}5 \cdot 0{,}0019 = 0{,}149 \text{ м/с.}$$

Уровень виброскорости, дБ, составит:

$$L_V = 20 \lg \frac{V}{V_o}, \quad (2.38)$$

$$L_V = 20 \lg \frac{0{,}149}{5 \cdot 10^{-8}} = 129 \text{ дБ.}$$

Фактические параметры превышают допустимые на 37 дБ при 16 Гц согласно ГОСТ 12.1.012-90.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Охрана труда в грузовом хозяйстве железных дорог. С примерами решения задач / В.И. Бекасов, Н.В. Лысенко, В.А. Муратов и др. – М.: Транспорт, 1981.

2. Филиппов, Б.И. Охрана труда при эксплуатации строительных машин / Б.И. Филиппов. – М.: Высшая школа, 1984.

3. Инженерные решения по охране труда в строительстве: Справочник строителя / Под ред. Г.Г. Орлова. – М.: Стройиздат, 1985.
4. Пчелинцев, В.А. Охрана труда в строительстве / В.А. Пчелинцев, Д.В. Коптев, Д.Д. Орлов и др. – М.: Высшая школа, 1991.
5. Руководство по проектированию виброизоляции машин и оборудования / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1972.
6. Бобин, Е.В. Борьба с шумом и вибрацией на железнодорожном транспорте

3. ЗАЩИТА ОТ ШУМА

На железнодорожном транспорте успешно выполняются мероприятия по технической реконструкции, внедряются средства автоматизации и механизации во всех отраслях железнодорожного транспорта, строятся и реконструируются многие депо и ремонтные заводы. Вся эта работа проводится с учетом требований по охране здоровья трудящихся, улучшению условий труда и отдыха. Однако на предприятиях имеется еще много агрегатов и технологических процессов, шум которых превышает нормы. На некоторых предприятиях при внедрении новых технологических процессов шум в производственных помещениях возрос.

Интенсивные производственные шумы неблагоприятно воздействуют на организм человека и могут привести к различным заболеваниям. При работе в условиях шума снижается производительность труда.

Уменьшение воздействия шума на работающего до допустимых величин является одним из непременных условий оздоровления условий труда и повышения его производительности.

Примеры решения задач

Задача 3.1. Рассчитать снижение шума за экраном, если открытое стойло реостатных испытаний тепловозов расположено на расстоянии 90 м от жилого района. Расстояние от тепловоза до экрана a = 5 м, от экрана до жилого района $в$ = 85 м. Высота тепловоза h = 5 м, высота экрана H = 8 м. Окна жилого дома расположены на расстоянии от земли K = 2 м.

Решение. Приводим расчетную схему (рис. 3.1).

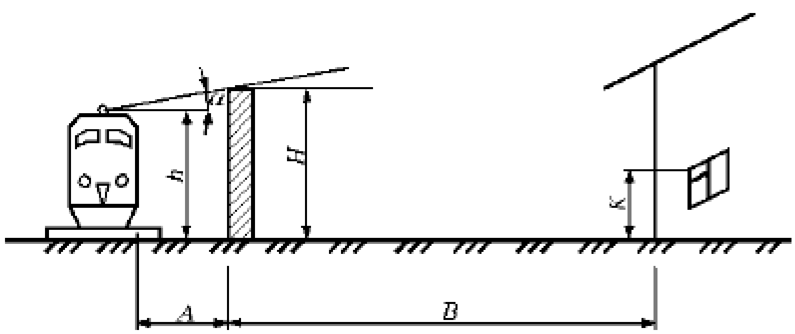


Рисунок 3.1 – Схема для расчета эффективности экрана: a – расстояние от источника шума до экрана; $в$ – расстояние от экрана до защищаемого здания; h – высота источника шума; H – высота экрана; K – высота точки приема звука

Рассчитываем эффективность экрана методом Реттингера, для чего определим критерий затухания М [1; 2]:

– при расположении источника шума и рабочего места на одном уровне

$$M = \frac{1{,}414}{\lambda}\sqrt{\frac{a+в}{a\,в}}\ ;\ (3.1)$$

– при расположении источника шума и рабочего места в различных уровнях

$$M = \left(H + \frac{в\,(H-h)}{a} - K\right)\sqrt{\frac{2a\cos\alpha}{\lambda в\,(a+в)}},\ (3.2)$$

где l – длина волны, м (остальные величины показаны на расчетной схеме).

В рассматриваемой задаче источник шума и рабочее место расположены в разных уровнях.

Критерий затухания M определяем для октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

Рассчитываем критерий затухания M для частоты 31,5 Гц

$$M_{31{,}5} = \left(8 + \frac{85(8-5)}{5} - 2\right)\sqrt{\frac{2\cdot 5\cdot 0{,}85}{10{,}8\cdot 85(5+85)}} = 0{,}57\ \text{Гц}.$$

Расчет повторить для остальных среднегеометрических октавных частот.

По графику (рис. 3.2) определяем снижение шума D $L_{экр}$ для частоты 31,5 Гц, D $L_{экр}$ = 10 дБ.

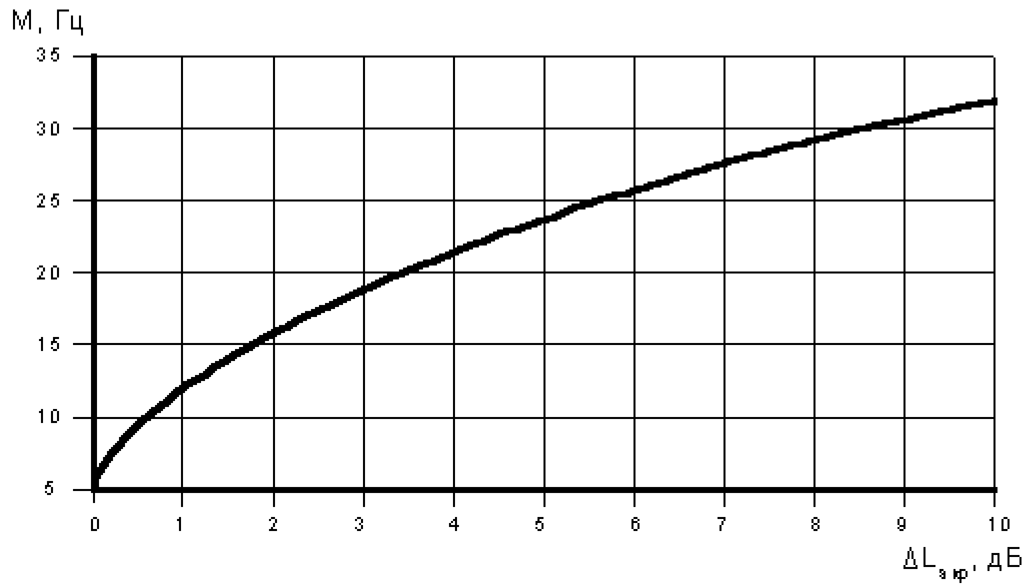


Рисунок 3.2 – Зависимость эффективности экрана от критерия М

Результаты расчета сводим в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Расчет снижения шума тепловоза экраном

Расчетная величина	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\lambda = \dfrac{C}{\gamma}$	10,8	5,4	2,72	1,36	0,68	0,34	0,17	0,085	0,048
М	0,57	2,62	3,65	5,13	7,41	10,26	14,8	20,5	29,0
D $L_{экр}$	10	21	24	27,1	30	30	30	30	30

Сравнивая полученные данные с ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ делаем вывод: экран может защитить от шума тепловозов жилой район.

Задача 3.2. Расчетные уровни звукового давления L в октавных полосах частот на погрузо-разгрузочной площадке грузового двора и предельный спектр в зоне жилой застройки (на расстоянии у = 30 м) заданы в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Исходные данные для расчета

Среднегеометрическая частота, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления, дБ, на погрузо-разгрузочной площадке	70	60	62	60	55	51	50	46	38
Предельный спектр в зоне жилой застройки	72	67	57	49	44	40	37	35	33

Определить, будет ли обеспечено снижение шума до нормируемого значения, если построить забор из железобетонных панелей высотой H = 3 м.

Расчетная точка (РТ) в зоне жилой застройки и источник шума (ИШ) расположены на одном уровне.

Расстояние от экрана до наиболее удаленного ИШ (ширина погрузо-разгрузочной площадки) x = 20 м.

Решение. Вычертим поперечный разрез места расположения ИШ, экрана и РТ (рис. 3.3).

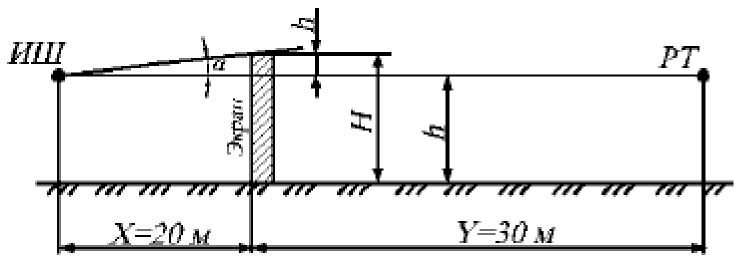


Рисунок 3.3 – Схема расположения экрана относительно источника шума ИШ и расчетной точки РТ

Определим критерий затухания M (см. задачу 3.1), по которому из графика на рис. 3.2 находим величину снижения шума D L. Расчет представим в табличной форме (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Результаты расчета

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
l	10,8	5,40	2,72	1,36	0,68	0,34	0,17	0,085	0,043
M	0,001	0,18	0,25	0,35	0,49	0,70	0,99	1,40	1,97
L	55	60	62	60	55	51	50	46	38
D L	5	7	8	9	10	12	14	17	19
L – D L	50	53	54	51	45	39	36	29	19
L по СН	83	67	57	49	44	40	37	35	33
Превышение	–	–	–	2	1	–	–	–	–

Превышения нормы, зафиксированные в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 250 и 500 Гц, находятся в пределах точности измерений. Поэтому практически можно считать, что применение экрана позволило снизить уровень шума в зоне жилой застройки до нормы.

Задача 3.3. Произвести оценку уровня звука в расчетной точке на территории больницы, который создает вентиляционная установка, расположенная на расстоянии 280 м от больницы. Уровень звукового давления, создаваемый вентиляционной установкой, составляет 100 дБА. Между источником шума и расчетной точкой расположена однорядная зеленая зона шириной 18 м.

Решение. Уровень звука в расчетной точке на территории защищаемого от шума объекта вычисляем по формуле

$$L_{A_{тер}} = L_A - \Delta L_{A_{расст}} - \Delta L_{A_{зел}}, \quad (3.3)$$

где L_A – уровень звукового давления, создаваемый источником шума (вентиляционной установкой), дБА; D $L_{Aрасст}$ – снижение уровня звука в зависимости от расстояния между источником шума и расчетной точкой, дБА (определяем по рис. 3.4); $L_{Aзел}$ – снижение уровня звука полосами зеленых насаждений, дБА (табл. 3.4).

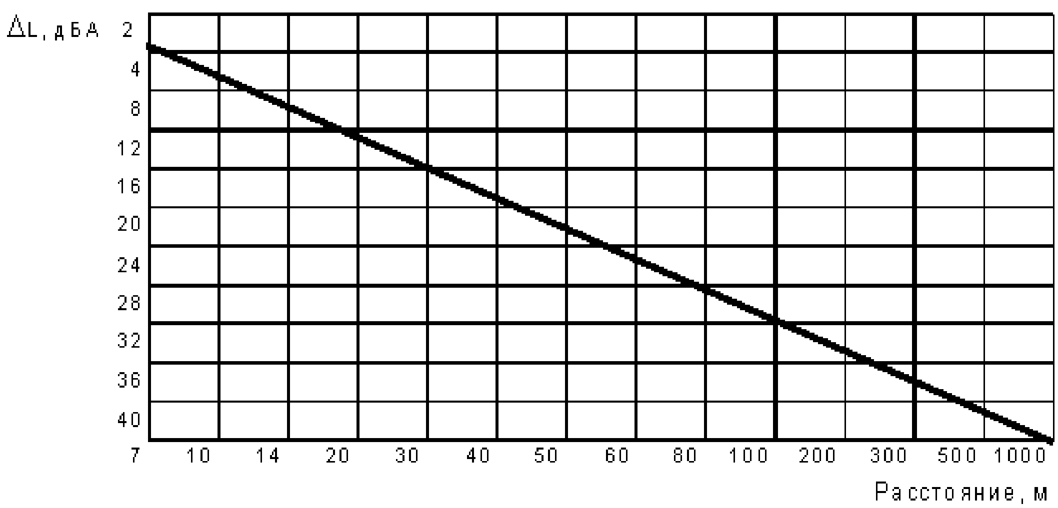


Рис. 3.4 – Снижение уровня звукового давления в зависимости от расстояния между источником шума и расчетной точкой

Таблица 3.4 – Снижение уровня звука полосами зеленых насаждений

Полоса зеленых насаждений	Ширина полосы, м	Снижение уровня звука D L, дБА
Однорядная	12	5
Однорядная	18	8
Двухрядная	23	10
Двух-трехрядная	28	12

Определяем уровни звука в расчетной точке по формуле (3.3)

$L_{A_{тер}} = 100 - 27 - 8 = 60$ дБА.

Требуемое снижение уровня шума в расчетной точке для выполнения норм в селитебной зоне определяем по формуле

$$\Delta L_{A_{треб}} = L_{A_{тер}} - L_{A_{норм}}, \quad (3.4)$$

где $L_{Анорм}$ – нормируемое значение уровня звукового давления, дБА, определяем по СНиП II-12-77 "Защита от шума".

Тогда D $L_{Атреб}$ = 60 – 35 = 25 дБА.

Полученную величину сравниваем с показателями, определяющими класс условий труда в зависимости от уровня шума рабочих мест (превышение ПДУ), приведенных в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Классы условий труда

Фактор	Класс условий труда					
	допустимый	вредный				опасный (экстремальный)
		I степени	II степени	III степени	IV степени	
Шум (эквивалентный уровень звука), дБА	ПДУ	10	25	40	50	>50

После сравнения полученных данных при необходимости предлагаем мероприятия по снижению шума.

Задача 3.4. Рассчитать общее снижение шума $СШ_о$ в жилом районе, расположенном в 90 м от пункта реостатных испытаний, за счет расстояния от источника шума, поглощения в воздухе и зелеными насаждениями. Расстояние от тепловоза до экрана, высота экрана и другие данные приведены на рис. 3.1 и в задаче 3.1. Ширина зоны зеленых насаждений между экраном и жилым зданием составляет 30 м.

Решение. Общее снижение шума $СШ_о$, дБ, за счет расстояния до источника поглощения в воздухе, экрана и зеленых насаждений вычисляется по формуле

$$СШ_о = \beta_2 - \Delta\beta_{экр} - \Delta\beta_{зн}, \quad (3.5)$$

где b $_2$ – снижение шума за счет расстояния до источника, дБ, определяем по формуле

$$\beta_2 = \beta_1 - 20\lg r_2 - \Delta - 8, \quad (3.6)$$

где b $_1$ – уровень звукового давления, соответствующий среднегеометрической частоте октавной полосы, дБ; r_2 – расстояние до источника шума, м; D – дополнительное затухание шума, происходящее за счет поглощения звуковых колебаний в воздушной среде, рассчитываем по формуле

$$\Delta = 6 \cdot 10^{-6}\, f\, r_2, \quad (3.7)$$

где f – частота звуковых колебаний, Гц (среднегеометрическая частота) D b $_{экр}$ – снижение шума экранирующим сооружением, определяем по формулам (3.1) и (3.2), дБ; D b $_{зн}$ – снижение шума зелеными насаждениями, для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц составляет [1]:

$$\Delta\beta_{зн} = 0{,}3 \cdot 30 = 9 \text{ дБ.}$$

Расчет проводим для всех октавных полос частот. Для примера рассчитаем снижение для одной октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц.

Снижение шума за счет расстояния (90 м) и поглощения b $_2$ определяем по приведенной выше формуле (3.6). Величину b $_1$ принимаем по [1, табл. 48]:

$$\beta_2 = 105 - 20\lg 90 - (6 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 \cdot 90) - 8 = 57 \text{ дБ.}$$

Снижение шума экраном рассчитано в задаче 3.1 и составляет 30 дБ.

Общее снижение шума составит:

$$СШ_0 = 57 - 30 - 9 = 18 \text{ дБ.}$$

Задача 3.5. В сложившейся зоне жилой застройки источник создает тональный шум с уровнем звука $L_{ист}$ = 45 дБА. Определить удовлетворяют ли параметры шума в период с 23 до 7 часов утра.

Решение. Нормируемый уровень шума в приведенной ситуации $L_{нор}$ = 45 дБА (табл. 3.6).

Таблица 3.6 – Нормированные уровни шума в зоне жилой застройки

Назначение помещения или территории	Уровень звукового давления, дБА								Уровень звука и $L_{экв}$, дБА
	63	125	250	500	1к	2к	4к	8к	
1. Жилые здания:									
а) жилые комнаты квартир с 7 до 23 ч;	63	52	45	39	35	32	30	28	40
с 23 до 7 ч;	55	44	35	29	25	22	20	18	30
б) жилые комнаты в общежитиях с 7 до 23 ч;	67	57	49	44	40	37	35	33	45
с 23 до 7 ч;	59	48	40	34	30	27	25	23	35
в) территории жилой застройки с 7 до 23 ч;	75	66	59	54	50	47	45	43	55
с 23 до 7 ч	67	57	49	44	40	37	35	33	45
2. Места отдыха: площадки отдыха в микрорайонах	67	57	49	44	40	37	35	33	45
3. Детские дошкольные и школьные учреждения:									
а) спальные помещения с 7 до 23 ч;	63	52	45	39	35	32	30	28	40
с 23 до 7 ч;	35	44	35	29	25	22	20	18	30
б) классные помещения в школах	63	52	45	39	35	32	30	28	40
4. Учебные заведения, НИИ, административные здания:									
а) аудитории;	63	52	45	39	35	32	30	28	40
б) рабочие помещения управления	71	61	54	49	45	42	40	38	50
5. Вокзалы: пассажирские залы аэровокзалов, железнодорожных и автовокзалов	79	70	63	58	55	52	50	49	60

Нормированные значения уровней звука для некоторых помещений приведены в последней колонке табл. 3.6.

Шум – тональный по условию задачи, нормируемый уровень должен быть скорректирован с учетом поправки $L_{тон}$ = – 5 дБА (табл. 3.7)

Таблица 3.7 – Поправки к нормируемым уровням

Влияющий фактор	Характер шума, район или длительность	Поправка дБ/дБА
Характер шума	Широкополосный Тональный или импульсный	0 –5
Местоположение объекта	Курортный район Новый проектируемый городской жилой район Жилая застройка, расположенная в существующей (сложившейся) застройке	–5 0 5
Длительность воздействия прерывистого шума в дневное время	Суммарная длительность, %, за наиболее шумные 30 мин: 56 и более; 18–56 8 менее 6	0 5 10 15

Поправки, приведенные в табл. 3.7, на местоположение объекта учитываются только при оценке шума в жилых помещениях, спальнях и на территории жилой застройки, который создается внешним источником.

При этом длительность действия шума должна быть подтверждена расчетом или технической документацией на источник .

Кроме того, необходимо ввести поправку на сложившуюся зону жилой застройки, которая приведена в табл. 3.7: $L_{слж} = +\,5$ дБА.

Предельный уровень звука, дБ, определяем суммированием

$$L_{доп} = L_{ист} + L_{тон} + L_{слж},$$

$$L_{доп} = 45 + (-5) + 5 = 45 \text{ дБ.}$$

Таким образом, для сложившейся жилой застройки параметры шума источника не превышают допустимых значений

Задача 3.6. По данным измерений, проведенных санитарно-эпидемиологической станцией (СЭС), уровни звукового давления в помещении диспетчерской грузового двора превышают предельно допустимые значения. Величины превышений в октавных полосах частот, определенные СЭС, приведены ниже:

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	125	250	500	1000	2000	4000
Величина превышения D L, дБ	6	10	14	15	14	13

Предложить мероприятия по снижению уровня шума и оценить их эффективность.

Решение. Для снижения уровня шума до допустимых пределов применим акустическую обработку потолка. Выбор материала и конструкции звукопоглощающей облицовки проводим в следующем порядке:

$$\Delta L = 10\lg\frac{\alpha_2 S}{\alpha_1 S} = 10\lg\frac{\alpha_2}{\alpha_1}, \quad (3.8)$$

где а $_1$ и а $_2$ – соответственно коэффициенты звукопоглощения потолка до и после акустической обработки (табл. 3.8 и 3.9); S – площадь потолка, м^2.

Определим неизвестную величину а $_2$ для каждой октавной полосы, где имеет место превышение:

$$\alpha_2 = 10^{(0{,}1\,\Delta L + \lg\alpha_1)}. \quad (3.9)$$

Таблица 3.8 – Коэффициенты звукопоглощения а $_1$ некоторых строительных материалов

Материал	Октавные полосы частот, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Бетон	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
Древесноволокнистая плита	0,18	0,11	0,19	0,39	0,95	0,56
Дощатый пол на деревянных балках	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Паркет по асфальту	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Линолеум на твердом основании	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Паркет по деревянному основанию	0,10	0,10	0,10	0,08	0,06	0,06
Стена кирпичная неоштукатуренная	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Стена кирпичная оштукатуренная и окрашенная масляной краской	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Сухая штукатурка	0,02	0,05	0,06	0,08	0,05	0,05
Мрамор	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Остекление	0,35	0,25	0,18	0,12	0,0,07	0,04

Таблица 3.9 – Коэффициенты звукопоглощения а $_2$ звукопоглощающих конструкций

Звукопоглощающий материал и конструкции	Октавные полосы частот, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Акустическая плита из минеральной ваты на синтетическом связующем, укрепленная вплотную к ограждению (толщина 20 мм)	0,1	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45
То же, но укрепленная с воздушным промежутком 50 мм	0,05	0,42	0,98	0,90	0,79	0,45
Перлитовая акустическая плита, укрепленная вплотную к ограждению (толщина 30 мм)	0,05	0,33	0,60	0,88	0,58	0,70
То же, но укрепленная с воздушным промежутком 50 мм	0,15	0,68	0,79	0,61	0,60	0,63
Плита на основе гранул минеральной ваты на крахмальном связующем “Акмигран”, укрепленная вплотную к ограждению (толщина 20 мм)	0,04	0,20	0,59	1,00	0,93	0,81

То же, но укрепленная с воздушным промежутком 50 мм	0,25	0,66	0,91	0,93	1,00	0,90
То же, но укрепленная с воздушным промежутком 200 мм	0,75	0,87	0,70	0,87	1,00	1,00
Акустическая плита “Вибровулкан”, укрепленная вплотную к ограждению (толщина 45 мм)	0,18	0,34	0,63	0,95	0,85	0,97
То же, но укрепленная с воздушным промежутком 50 мм	0,20	0,62	0,92	0,81	0,86	0,96
То же, но укрепленная с воздушным промежутком 100 мм	0,30	0,87	0,96	0,65	0,90	0,98
Минераловатная плита на крахмальном связующем “Стеллит” толщиной 10 мм, задрапированная гипсовой перфорированной плитой толщиной 6 мм	0,05	0,10	0,60	0,80	0,85	0,80
Плиты минераловатные ПА/С, прикрепленные вплотную к ограждению	0,05	0,10	0,60	0,80	0,85	0,80

Исходные данные и результаты расчета представлены в табл. 3.10

Таблица 3.10 – Результаты расчета

Величина	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
a_1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
D	6	10	14	15	14	13
a_2	0,04	0,1	0,50	0,63	0,75	0,60

Для принятия решения о типе облицовки по табл. 3.9 подбираем по величине a_2 конструкцию. Ею является плита минераловатная типа ПА/С, укрепленная вплотную к ограждению. Все коэффициенты звукопоглощения выбранной конструкции превышают необходимые октавные значения, поэтому проверку решения не производим. Допускается несовпадение результатов (превышение) в пределах точности измерений (± 2 дБ).

Задача 3.7. При работе компрессора из всасывающей трубы диаметром 150 мм излучается шум, уровень которого равен 110 дБ на расстоянии 1 м от фильтра. Спектр излучаемого шума в октавных полосах частот приведен в табл. 3.11. Предприятие расположено в промышленном районе и работает круглосуточно. На расстоянии 102 м от компрессорной находятся жилые здания. Требуется рассчитать уровень шума на расстоянии 2 м перед окнами зданий при работе компрессора без глушителя, определить превышение шума над нормами и подобрать такой глушитель, чтобы шум не превышал нормы.

Решение. Снижение уровня шума b $_2$, дБА, в открытом пространстве на расстоянии r_2 от источника определяем по формуле (3.10), зная уровень шума b $_1$ на расстоянии 1 м от источника и величину дополнительного затухания D

$$\beta_2 = \beta_1 - 20\lg r_2 - \Delta - 8 . \quad (3.10)$$

Дополнительное затухание шума происходит за счет поглощения звуковых колебаний в воздушной среде и может быть рассчитано по формуле

$$\Delta = 6 \cdot 10^{-6} f\, r_2 , \quad (3.11)$$

где f – частота звуковых колебаний, Гц (среднегеометрические частоты).

Величины затухания для среднегеометрических частот октавных полос показаны ниже.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Затухание шума, дБ/км	0	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48

Учитывая, что компрессор работает круглые сутки, нормы превышения шума на расстоянии 2 м перед окнами зданий принимаем для ночного времени [1, табл. 2, п. 7] с учетом поправки на промышленный район (+5 дБ).

Расчет превышения шума над нормами сведен в табл. 3.11. превышения шума над нормами

Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровень звукового давления, дБ							
Шум на растоянии 1 м от всасывающего фильтра компрессора	90	95	97	108	90	85	75	70
Шум на расстоянии 100 м от фильтра на 2 м перед окнами зданий	42	47	49	60	42	37	27	22
Норма шума на расстоянии 2 м перед окнами зданий в ночное время с учетом поправки	68	57	50	44	40	37	35	33
Превышение шума над нормами	–	–	–	16	2	–	–	–

Как видно из табл. 3.11, шум превышает нормы в двух октавах со среднегеометрическими частотами 500 и 1000 Гц. Максимальное превышение отмечается на частоте 500 Гц. Рассчитаем активный глушитель для этой частоты.

Принимаем внутреннюю трубу глушителя по диаметру всасывающей трубы, составляющему 150 мм (0,15 м). Тогда периметр П будет равен длине окружности

$$П = p\ d = 3{,}14 \cdot 0{,}15 = 0{,}47 \text{ м.}$$

Площадь сечения глушителя определится как

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}15^2}{4} = 0{,}018 \text{ м}^2.$$

Для облицовки глушителя выбираем минеральную шерсть при толщине слоя 50 мм. Коэффициенты звукопоглощения минеральной шерсти, покрытой перфорированной сталью, приведены в [1, табл. 22].

Необходимую длину глушителя рассчитываем по формуле

$$\ell_{500\,Гц} = \frac{\Delta\beta}{1{,}3\,\alpha \frac{П}{S}} = \frac{16}{1{,}3 \cdot 0{,}94 \frac{0{,}47}{0{,}018}} = 0{,}53 \text{ м.}$$

Задача 3.8. В цехе испытания топливных насосов стенд для испытания изолирован от общего помещения цеха перегородкой, выполненной из кирпича весом 280 кг/м^2 (1/2 кирпича); пункт обдувки и очистки агрегатов топливных насосов сжатым воздухом изолирован перегородкой из стекла толщиной 6 мм и фанеры толщиной 5 мм. Вес перегородки из стекла – 15 кг/м^2, фанеры – 7 кг/м^2. Требуется определить частотную характеристику звукоизоляции ограждений.

Решение. Из табл. 3.12 находим координаты точек Б и В для кирпича, стекла и фанеры. Координаты точек $f_Б$ и $f_В$ определяется расчетом.

Таблица 3.12 – Расчетные величины для построения частотной характеристики звукоизоляции однослойного ограждения от воздушного шума (для веса не более 300 кг/м^2)

Материал ограждения	$R_Б = R_В$, дБ	$f_Б$, Гц	$f_В$, Гц
Сталь	40	$\frac{24000}{G}$	$\frac{26000}{G}$
Алюминий	29	$\frac{67000}{G}$	$\frac{73000}{G}$
Бетон, железобетон	38	$\frac{1900}{G}$	$\frac{65000}{G}$
Шлакобетон	29	$\frac{6700}{G}$	$\frac{43000}{G}$
Гипсобетон	37	$\frac{19000}{G}$	$\frac{85000}{G}$
Кирпич	37	$\frac{1700}{G}$	$\frac{77000}{G}$
Стекло	27	$\frac{5300}{G}$	$\frac{53000}{G}$
Фанера	19	$\frac{2100}{G}$	$\frac{13600}{G}$

Для перегородки из кирпича весом 280 кг/м^2
$R_Б = R_В = 37$ дБ;
$f_Б = 1700:280$ » 61 Гц;
$f_В = 77000:280=275$ Гц.

Для перегородки из стекла весом 15 кг/м^2:

$R_Б=R_В = 27$ дБ;
$f_Б = 5300:15$» 353 Гц;
$f_В = 53000:15$» 353о Гц.

Для перегородки из фанеры весом 7 кг/м^2:

$R_Б=R_В = 19$ дБ;
$f_Б = 2100:7 = 300$ Гц;
$f_В = 13600:7 = 1800$ Гц.

Как видно из построения частотных характеристик (рис. 3.5), полученные величины звукоизоляции конструкций значительно отличаются друг от друга.

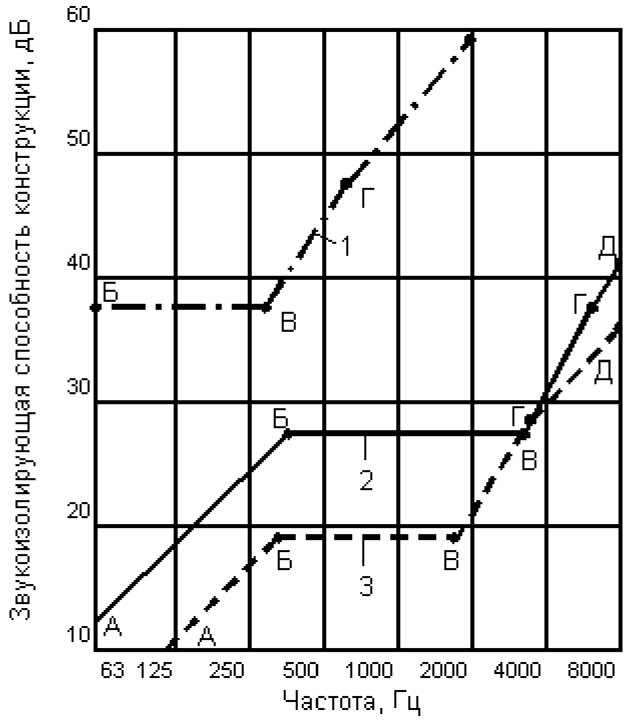


Рис. 3.5 – Построение частотной характеристики звукоизолирующей способности однослойных ограждений из разных материалов: 1 – кирпич; 2 – стекло; 3 – фанера

Расчет превышения норм шума в изолируемом помещении по приведенной методике показан в табл. 3.13 (данные звукоизоляции перегородок принимаем по графику рис. 3.5).

Помещения для ремонта деталей топливной аппаратуры, не имеющие источников шума, можно отнести к помещениям пультов, кабин наблюдения и дистанционного управления, не требующим речевой связи. Нормы шума в этом случае будут регламентироваться [1, п. 4, табл 2] (при действии шума более 4 ч в смену; шум широкополосный, нетональный и неимпульсный).

Таблица 3.13 – Расчет превышения норм шума в цехе испытания топливных насосов при изоляции пункта обдувки деталей сжатым воздухом

Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления, дБ							
Шум в помещении обдувки агрегатов сжатым воздухом (по данным измерений)	85	89	93	98	96	95	86	82
Норма шума в цехе при воздействии более 4 ч в смену (шум широкополосный не тональный)	83	74	68	63	60	57	55	54

Превышение норм шума в цехе без устройства звукоизолирующей стенки	2	15	25	35	36	38	31	28
Звукоизолирующая способность стенки согласно рис. 4.5 (без учета звукопоглощения и обходных путей): а) стенка из стекла; б) стенка из фанеры	 12 –	 17 11	 23 17	 27 19	 27 19	 27 22	 31 30	 42 37
Превышение норм шума в цехе после устройства изолирующей стенки: а) из стекла (п. 1 – п. 2 – п. 4, а); б) из фанеры (п. 1 – п. 2 – п.4, б)	 – 2	 – 4	 2 8	 8 16	 9 17	 11 16	 – 1	 – –

Согласно табл. 3.13 максимальное превышение норм шума в цехе без изоляции источников шума стенкой достигает 38 дБ, или почти в 16 раз по громкости [1, рис. 2]. По расчетным данным установка перегородки из фанеры снизит максимальное превышение уровней шума до 17 дБ, а из стекла – до 9 дБ, т.е. по громкости шум будет превышать норму соответственно в 3,2 и 2 раза. Очевидно, что применение звукопоглощающих облицовок или более эффективных ограждающих конструкций позволит снизить шум в общем помещении цеха до нормы.

Задача 3.9. Рассчитать звукоизоляцию (от воздушного шума) межцеховой перегородки раздельной конструкции из гипсобетонных панелей с объемным весом $g_1 = 1300$ кг/м^3 и толщиной $h_1 = 8$ см. Воздушный промежуток $d = 6$ см. К более длинной стороне перегородки примыкают перекрытия из плоских железобетонных панелей с объемным весом $g_2 = 2400$ кг/м^3, толщиной $h_2 = 10$ см.

Решение. Повышение звукоизоляции достигается применением двойных раздельных ограждений. Расчет двойного ограждения, состоящего из двух одинаковых плоских панелей, связанных между собой примыкающими к ограждению конструкциями, независимо от того, имеется в промежутке между панелями упругая прокладка или нет, производится в следующем порядке.

Строим частотную характеристику звукоизоляции R одной панели (рис. 3.5).

В том же масштабе строим график дополнительной звукоизоляции $R_{доп}$. Для этого определяем частоту f_o, Гц,

$$f_0 = 0{,}42\left(\frac{\gamma_1 d}{\gamma_2 h_2}\right)^2 \frac{c_1}{h_1}, \quad (3.12)$$

где ¦ $_{о}$ – частота, характеризующая раздельное ограждение, Гц; g $_{1}$ – объемный вес материала панелей раздельного ограждения, кг/м^3; g $_{2}$ – объемный вес материала боковых конструкций (перекрытий или стен), примыкающих к более длинной стороне раздельного ограждения, кг/м^3; h_1 – толщина одной панели раздельного ограждения, см; h_2 – толщина примыкающей к раздельному ограждению боковой конструкции, см; d – толщина промежутка между панелями раздельного ограждения, см; c_1 – скорость распространения продольной звуковой волны в материале панели раздельного ограждения, см/с (табл. 3.14).

Таблица 3.14 – Скорость распространения продольных звуковых волн в различных материалах

Материал	c_1, см/с	Материал	c_1, см/с
Бетон, железобетон	$3{,}7 \cdot 10^5$	Кирпич	$2{,}3 \cdot 10^5$
		Сталь	$5{,}0 \cdot 10^5$
Шлакобетон	$4{,}0 \cdot 10^5$	Алюминий	$5{,}2 \cdot 10^5$
Гипсобетон	$5{,}0 \cdot 10^5$	Фанера	$1{,}4 \cdot 10^5$

Определяем вес 1 м^2 одной панели раздельной стенки:

$$G = \gamma_1 h_1 = 1300 \cdot 0{,}08 = 104 \text{ кг/м}^2.$$

По табл. 3.12 находим значения координат точек Б и В:

$$f_Б = \frac{19000}{104} = 183 \text{ Гц}; \quad f_В = \frac{85000}{104} = 817 \text{ Гц};$$

$$R_Б = R_В = 37 \text{ дБ}.$$

Строим частотную характеристику звукоизолирующей способности одной панели (рис. 3.6).

Для построения частотной характеристики дополнительной звукоизоляции D R по табл. 3.14 и формуле (3.12) определяем

$$f_0 = 0{,}42\left(\frac{1300 \cdot 6}{2400 \cdot 10}\right) \cdot \frac{5 \cdot 10^5}{8} = 2780 \text{ Гц}.$$

Из выражений

$$\Delta R_B = 13 - 20\lg\left(1 + \frac{h_1}{d}\right); \; f = 0{,}125\ f_0;$$

$$\Delta R_c = 13 \text{ дБ}; \; f = f_0,$$

находим координаты точек B и C:

$$f_B = 0{,}125 \cdot 2780 = 348 \text{ Гц}; \; f_c = f_0 = 2780 \text{ Гц};$$

$$\Delta R_B = 13 - 20\lg\left(1 + \frac{8}{6}\right) = 5{,}7 \text{ дБ}; \; \Delta R_c = 13 \text{ дБ}.$$

На том же графике (рис. 4.6) наносим точки ***b*** и ***c***, соединяем их прямой ***bc***. Строим участки ***ab*** и ***cd***. Для этого из точки ***b*** влево проводим горизонтальную прямую ***ba***, из точки ***c*** вправо – горизонтальную прямую ***cd***. Частотная характеристика суммарной звукоизоляции перегородки раздельной конструкции (R? =R+D R) представлена ломаной линией А', Б' В' , В' Г ' .

Как видно из примера, раздельные конструкции не увеличивают звукоизоляцию вдвое по сравнению с одинарной конструкцией, а лишь повышают ее. По субъективной оценке шума это повышение на частотах до 500 Гц составляет примерно 1,8 раза, а на более высоких частотах – 2...2,5 раза.

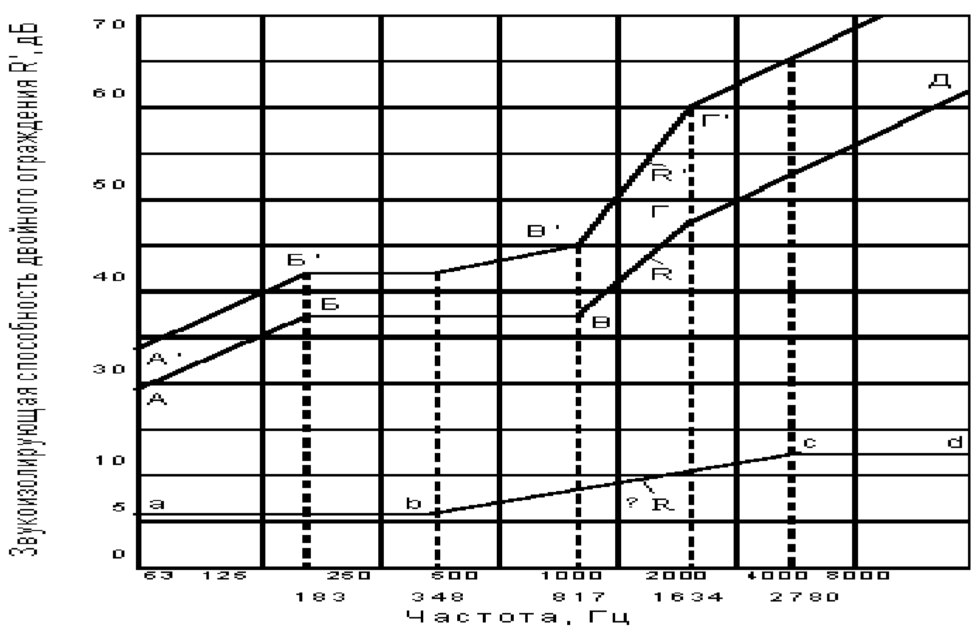


Рис. 3.6 – Построение частотной характеристики звукоизолирующей способности раздельной гипсобетонной стены:

R – звукоизолирующая способность одной панели; D R – дополнительная звукоизолирующая способность при установке второй панели с воздушным промежутком; R' – общая звукоизолирующая способность раздельной стены

Задача 3.10. Определить общий уровень и октавные уровни звуковой мощности вентилятора Ц4-70 №6 со стороны всасывания $b_{\text{общ.вс}}$ и нагнетания $b_{\text{общ.нагн}}$, если полное давление, создаваемое вентилятором, равно 48 кг/м^2, производительность вентилятора – 6000 м^3/ч, число оборотов –950 об./мин. Вентилятор работает в режиме максимального кпд d =0.

Решение. Общий уровень звуковой мощности шума вентиляторов $b_{\text{общ}}$, дБ, определяется по формуле

$$\beta_{\text{ОБЩ}} = \beta + 25\lg H + 10\lg Q + \delta, \quad (3.13)$$

где b – критерий шумности, зависящий от типа и конструкции вентилятора, дБ (табл. 3.15); H – полное давление, создаваемое вентилятором, кг/м^2; Q – производительность вентилятора, м^3/с; d – поправка на режим работы вентилятора.

По формуле (3.13) и табл. 3.15 определяем:

$$\beta_{\text{ОБЩ.ВС}} = 38 + 25\lg 48 + 10\lg\frac{6000}{3600} + 0 = 81 \text{ дБ};$$

$$\beta_{\text{ОБЩ.НАГН}} = 41 + 25\lg 48 + 10\lg\frac{6000}{3600} + 0 = 84 \text{ дБ}.$$

Таблица 3.15 – Значение критерия шумности b для вентиляторов

Сторона	Вентиляторы					
	Ц4-70, Ц4-76	ВРС, Ц13-50	Ц9-55, Ц9-57	ВВД	МЦ-4	К
Нагнетание	41	44,5	47,5	48	46	43
Всасывание	38	40,0	43,5	40	46	43

Октавные уровни звуковой мощности шума, излучаемого открытым входным либо выходным патрубком вентилятора в свободную атмосферу или в помещение, – $b_{\text{окт}}$ определяем по формуле

$$\beta'_{окт} = \beta_{общ} - \Delta\beta_1, \quad (3.14)$$

где $b_{общ}$ – общий уровень звуковой мощности вентилятора, дБ; D b_1 – поправка, учитывающая распределение звуковой мощности вентилятора по октавным полосам частот, дБ (принимается в зависимости от типа вентилятора и числа оборотов по табл. 3.16).

Результаты расчета сведены в табл. 3.17.

Таблица 3.16 – Поправки D b_1, учитывающие распределение звуковой мощности вентилятора по октавным полосам частот, дБ

Тип вентилятора	Число оборотов в минуту	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Осевой	350–690	8	9	5	7	10	16	23	30
	700–1400	13	8	9	5	7	10	16	23
	1410–2800	18	13	8	9	5	7	10	16
	Более 2800	18	18	13	8	9	5	7	10
Центробежный с лопатками, загнутыми вперед	350–690	6	6	9	13	17	21	26	31
	700–1400	6	6	6	9	13	17	21	26
	1410–2800	6	6	6	6	9	13	17	21
	Более 2800	6	6	6	6	6	9	13	17
Центробежный с лопатками, загнутыми назад	350–690	7	5	6	9	16	21	26	31
	700–1400	11	7	5	6	9	16	21	26
	1410–2800	15	11	7	5	6	9	16	21
	Более 2800	15	15	11	7	5	6	9	16

Таблица 3.17 – Расчет октавных уровней звуковой мощности шума вентилятора, излучаемого в свободную атмосферу или в помещение

№ п/п	Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Поправки D b_1 (вентилятор Ц4-70, n=950 об/мин, лопатки загнуты вперед, дБ)	6	6	6	9	13	17	21	26
2	Октавные уровни звуковой мощности $b'_{окт}$ на всасывание ($b_{общ.вс.}$ – п.1), дБ;	75 78	75 78	75 78	72 75	68 71	64 67	60 63	55 58

	на нагнетание ($b_{общ.нагн.}$ – п.1), дБ								

Октавные уровни звуковой мощности шума вентилятора, дБ, излучаемого в вентиляционную сеть $b''_{окт}$, определяются по формуле

$$\beta''_{общ} = \beta_{общ} - \Delta\beta_1 - \Delta\beta_2, \quad (4.15)$$

где $D\ b_2$ – поправка, учитывающая влияние присоединения вентилятора к сети воздуховода, дБ (принимается по табл. 3.18).

Таблица 3.18 – Поправка D b_2, учитывающая влияние способа присоединения вентилятора или дросселирующего устройства к сети воздуховодов, дБ

Корень квадратный из площади поперечного сечения патрубка вентилятора или воздуховода, мм	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	23,5	18,0	13,0	7,5	3,0	0,5	0	0
140	21,0	15,0	10,5	5,5	1,5	0	0	0
200	18,0	13,0	7,5	3,0	1,0	0	0	0
250	16,0	11,0	6,0	2,0	0,5	0	0	0
315	14,5	9,5	4,5	1,0	0	0	0	0
400	12,5	7,5	3,0	0,5	0	0	0	0
500	11,0	6,0	2,0	0,5	0	0	0	0
630	9,5	5,0	1,0	0	0	0	0	0
800	7,5	3,0	1,0	0	0	0	0	0
900	7,0	3,0	0,5	0	0	0	0	0
1000	6,0	2,0	0,5	0	0	0	0	0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрана труда в грузовом хозяйстве железных дорог (с примерами решения задач) / В.И. Бекасов, Н.Е. Лысенко, В.А. Муратов и др. – М.: Транспорт, 1984.
2. Бобин, Е.В. Борьба с шумом и вибрацией на железнодорожном транспорте – 3-е изд., перераб. и доп. / Е.В. Бобин. – М.: Транспорт, 1973.
3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М., 1996.
4. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. Введ. 01.07.84. – М.: Издательство стандартов, 1985.
5. СНиП II-12-77. Защита от шума. Введ. 01.07.88. – М.: Стройиздат, 1977.
6. Борьба с шумом на производстве / Под ред. В.Я. Юдина. – М.: Машиностроение, 1985.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Строительство является одной из самых травмоопасных отраслей производства. На строительной площадке имеются различные опасные и вредные производственные факторы: движущиеся машины и механизмы; подвижные и перемещаемые части производственного оборудования; повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны и поверхностей оборудования; повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте; повышенное значение напряжения электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; отсутствие или недостаток освещенности; расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола), физические перегрузки и другие факторы. Воздействие опасных факторов зачастую приводит к травмам при нарушении технологических процессов, техники безопасности и дисциплины труда, при неудовлетворительной организации работ.

Анализ травматизма в строительстве показывает, что наибольшее количество несчастных случаев приходится на монтажные и земляные работы.

Земляные работы выполняются во всех видах строительства: жилищном, гражданском, гидротехническом, железнодорожном и др. Основными видами земляных работ являются: разработка котлованов, траншей, карьеров; планировка участков, возведение земляных сооружений. Основной причиной травматизма при выполнении перечисленных работ служит обрушение грунта из-за разработки его без креплений с превышением критической высоты стенок траншей и котлованов, неправильной конструкции их креплений, нарушения крутизны откосов; возникновения неучтенных дополнительных нагрузок от строительных материалов, конструкций, механизмов.

Важнейшим вопросом техники безопасности на строительной площадке является определение границ зон с постоянно или потенциально действующими опасными производственными факторами. При производстве строительно-монтажных работ в этих зонах следует осуществлять организационно-технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работающих. Травматизм при монтаже строительных конструкций вызывается обрушением (падением) монтируемых конструкций; падением рабочих с высоты; несовершенством и ошибками при выборе монтажной оснастки и другими факторами.

В данном разделе рассмотрены задачи, возникающие при выполнении различных видов земляных и монтажных работ.

Примеры решения задач

Задача 4.1. Определить максимальную глубину разработки в суглинке, при которой будет обеспечена ее устойчивость, если требуемый угол откоса разработки равен 70^0.

Решение. Приведенной методикой, основанной на теории устойчивости горных пород, можно воспользоваться, если разработка грунта (уступ, траншея, котлован) ведется в связных грунтах и требуемая глубина разработки не превышает 5 м:

$$\kappa_{max} = \frac{c}{\gamma\,\kappa_{уст}}, \quad (4.1)$$

где κ_{max} – коэффициент сцепления; *с* – удельное сцепление грунта, кг/м^2; g – плотность грунта, кг/м^3; *с* и g принимаются по справочным данным, табл. 4.1; $\kappa_{уст}$ – коэффициент устойчивости, равный 1,5–3.

Таблица 4.1 – Примерные значения плотности грунта g ; удельного сцепления грунта *с*; угла внутреннего трения φ

Наименование грунтов	Характеристики грунтов		
	γ, кг/м^3	c, кПа	φ, град
Супесь	1750–2200	3–13	21–28
Суглинок	1650–2100	15–39	17–24
Глина	1750–2300	32–57	11–18
Песок	1300–1800	1–3	35–40

Для суглинка принимаем *с* = 15 кПа = 1500 кг/м^2; j = 17^0; g = 1650 кг/м^3; $\kappa_{уст}$ =1,5

$$\kappa_{max} = \frac{1500}{1650 \cdot 1{,}5} = 0{,}606 \text{ м.}$$

$$\varphi' = \operatorname{arctg}\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\kappa_{уст}}, \quad (4.2)$$

где j ў – угол естественного откоса, град; j – угол внутреннего трения, град, принимается по справочным данным табл. 4.1,

$$\varphi' = \operatorname{arctg}\frac{\operatorname{tg}17^\circ}{1{,}5} = \operatorname{arctg}\frac{0{,}306}{1{,}5} = \operatorname{arctg}0{,}204 = 11{,}5^\circ.$$

Значение j ў без учета коэффициента устойчивости можно также определить по табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Значения угла естественного откоса φ, град, для различных грунтов

Вид грунта	Грунт		
	сухой	влажный	мокрый
Глина	45	35	15
Суглинок: средний легкий	50 40	40 30	30 20
Песок: мелкозернистый среднезернистый крупнозернистый	25 28 30	30 35 32	20 25 27
Грунт: растительный насыпной	40 35	35 45	25 27
Гравий	40	40	35
Галька	35	45	25

Критическую высоту уступа для связных грунтов, м, определим по формуле

$$H_{кр} = \frac{2\kappa_{max}\ \sin\alpha\ \cos\varphi}{\sin\dfrac{\alpha - \varphi'}{2}}, \quad (4.3)$$

где а – заданный угол откоса разработки, град,

$$H_{кр} = \frac{2\cdot 0{,}606 \sin 70^\circ \cos 17^\circ}{\sin\dfrac{70 - 11{,}5}{2}} = \frac{1{,}212\cdot 0{,}94\cdot 0{,}956}{0{,}489} = 2{,}23 \text{ м.}$$

В реальных условиях при определении предельной глубины котлована $H_{пред}$ вводится коэффициент запаса 1,2–2, обычно принимаемый равным 1,25:

$$H_{пред} = \frac{H_{кр}}{1{,}2...2}, \quad (4.4)$$

Таким образом, $H_{пред} = \frac{2{,}23}{1{,}25} = 1{,}78$ м, т.е. максимальная глубина разработки в суглинке, обеспечивающая ее устойчивость при данном угле откоса разработки, будет равна 1,78 м.

Задача 4.2. Для предупреждения обрушения грунтовых масс при разработке котлована рассчитать допустимую крутизну откоса котлована. Исходные данные: глубина котлована – 10 м, вид грунта – суглинок.

Решение. Построим кривую равнопрочного откоса по приближенному методу проф. Н.Н. Маслова. Этот метод основывается на двух предпосылках: угол устойчивого откоса для любой горной породы есть угол ее сопротивления сдвигу; критическое напряжение в толще определяется равенством двух главных напряжений, равных весу столба грунта от горизонтальной поверхности до рассчитываемой точки [2].

Коэффициент сдвига F_p является тангенсом угла сдвига φ_{P_Z} :

$$F_P = tg\varphi_{P_Z} = tg\varphi + \frac{c}{p}, \quad (4.5)$$

где p – вертикальная равномерно распределенная нагрузка от веса грунта;

$p = \gamma z$; (4.6)

g – удельный вес грунта, кН/м^3; z – расстояние от уровня земли до различных отметок котлована, м; j – угол внутреннего трения грунта, град; c – удельное сцепление грунта, кПа.

Для построения кривой равнопрочного откоса задаются ординатой z и определяют угол наклона отрезка поверхности откоса к горизонту a $_z$, равный углу сдвига φ_{P_Z} . Расчет сводится в табл. 4.3

Таблица 4.3 – Расчет кривой равнопрочного откоса

z, м	g , кН/м³	p , кН/м²	$tg\,j$	[illegible], кПа	$\frac{c}{p}$	$F_p = tg\varphi_{p_z} = tg\varphi + \frac{c}{p}$	$a_z = \varphi_{p_z}$
1	20,0	20,0	0,42	38	1,9	2,32	67°
2	20,0	40,0	0,42	38	0,95	1,37	54°
3	20,0	60,0	0,42	38	0,63	1,05	46°
4	20,0	80,0	0,42	38	0,48	0,9	42°
5	20,0	100,0	0,42	38	0,38	0,8	39°
6	20,0	120,0	0,42	38	0,32	0,74	37°
7	20,0	140,0	0,42	38	0,27	0,69	35°
8	20,0	160,0	0,42	38	0,24	0,66	33°
9	20,0	180,0	0,42	38	0,21	0,63	32°
10	20,0	200,0	0,42	38	0,19	0,61	31°

На графике откладываем полученные значения а $_z$, начиная построение сверху вниз (рис. 4.1).

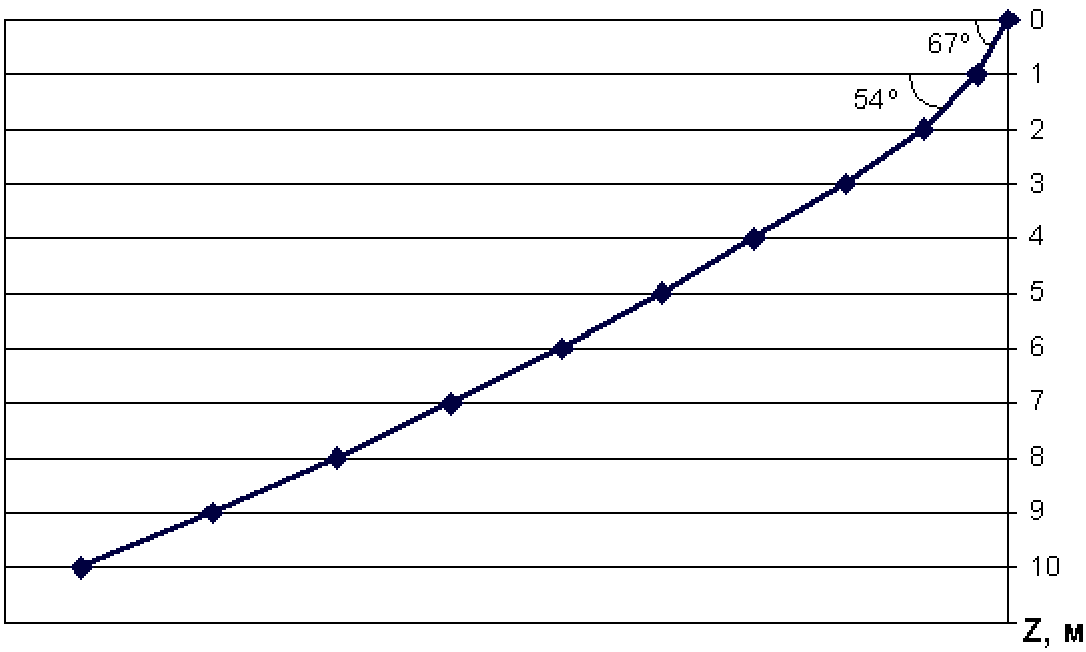


Рис. 4.1 – Кривая равнопрочного откоса котлована глубиной 10 м в суглинке

Таким образом, рассчитана допустимая крутизна откоса котлована глубиной 10 м в суглинке.

Задача 4.3. Определить допустимую крутизну откоса выемки в глине глубиной 9 м при наличии нагрузки на поверхности 4 кПа.

Решение. Для решения воспользуемся приближенным аналитическим методом равнопрочного откоса, предложенным проф. Н.Н. Масловым [1]:

$$y = \frac{1}{\gamma\, tg^2\varphi}\left\{ tg\varphi\, \gamma\, z + c\ln\left(tg\varphi\, p + c\right) - c\ln\left[tg\varphi\left(\gamma\, z + p\right) + c\right]\right\}$$, (4.7)

где g – удельный вес грунта, кН/м^3; *z* – расстояние от уровня земли до различных отметок котлована, м; j – угол внутреннего трения грунта, град; *p* – нагрузка на поверхности откоса выемки, кПа; *c* – удельное сцепление грунта, кПа.

По табл. 4.1 для глины принимаем *c* = 19 кПа; j = 17^0; g = 19,5 кН/м^3.

Для построения кривой равнопрочного откоса задаемся ординатой *z* и определяем ординату *y*.

Определим значения постоянных членов формулы (4.7):

$$\frac{1}{\gamma\, tg^2\varphi} = \frac{1}{19{,}5\, tg^2 17} = 0{,}55$$ м^3/кН,

$$c\ln\left(tg\varphi\; p + c\right) = 19\ln\left(tg17 \cdot 2 + 19\right) = 56{,}6$$.

Результаты вычислений при разных *z* сводим в табл. 4.4.

z, м	$tg\varphi\,\gamma\, z$	56,6+ $+tg\varphi\,\gamma\, z$	$tg\varphi(\gamma\, z + p) + c$	$c\ln\left[tg\varphi\left(\gamma\, z + p\right) + c\right]$	гр. 3 – – гр. 5	0,55г ґ гр. 6
1	2	3	4	5	6	7
1	5,97	62,57	26,19	62,04	0,53	0,29
2	11,94	68,54	32,16	65,94	2,6	1,43
3	17,91	74,51	38,13	69,18	5,33	2,93
4	23,88	80,48	44,09	71,94	8,54	4,7
5	29,85	86,45	50,06	74,35	12,1	6,66
6	35,82	92,42	56,03	76,49	15,93	8,76
7	41,79	98,39	61,99	78,41	19,98	10,99
8	47,76	104,36	67,96	80,16	24,2	13,31
9	53,73	110,33	73,93	81,76	28,57	15,71

Таблица 4.4 Определение крутизны откоса выемки

По данным табл. 4.4 строим кривую равнопрочного откоса (рис. 4.2).

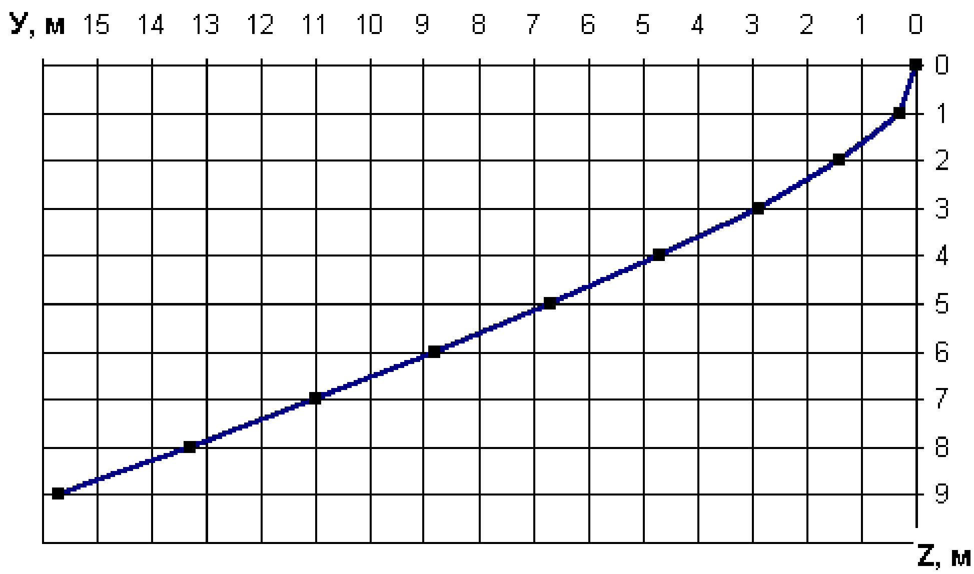


Рис. 4.2 – Кривая равнопрочного откоса выемки в глине глубиной 9 м при наличии нагрузки на ее поверхности

Таким образом, определена допустимая крутизна откоса выемки в глине глубиной 9 м при наличии нагрузки на поверхности 4 кПа.

Задача 4.4. Определить крутизну волноустойчивого неукрепленного откоса пойменной насыпи из песчаного грунта. Гранулометрический состав грунта приведен в табл. 6.5. Исходные данные: высота насыпи – 5 м, расчетный уровень воды (РУВ) – 2,8 м. Параметры волны: длина – 2 м, высота – 0,8 м.

Таблица 4.5 – Гранулометрический состав грунта

Размер частиц d_i, мм	0,005ё 0,05	0,05ё 0,1	0,1ё 0,25	0,25ё 0,5	0,5ё 1	1ё 2	2ё 5	5ё 10
Содержание частиц g_i, %	2	4	15	23	25	13	11	7

Решение. Крутизна откоса определяется из условия общей устойчивости насыпи и волноустойчивости откоса [1].
Общая устойчивость насыпи из несвязных грунтов достигается при крутизне откосов, приведенных в табл. 4.6.

Таблица 4.6 – Крутизна устойчивых откосов m насыпи в зависимости от ее высоты и типа грунта

Грунт	Крутизна устойчивых откосов насыпи в зависимости от высоты насыпи, м		
	< 6	6–12	12–25
Песчаный	3,5	5,0	7,0
Гравийный	1,5	2,0	3,0
Песчано-гравийный	2,5	3,5	5,0

Таким образом, устойчивость насыпи из песчаного грунта высотой 5 м будет обеспечена при крутизне откоса m = 3,5.

Волноустойчивость неукрепленного пляжевого откоса, образующегося при свободном растекании гидросмеси, обеспечивается в условиях динамического равновесия в зоне волнового воздействия. Оценку параметров динамически устойчивого при воздействии волн поперечного профиля пляжевого откоса насыпи из песчаного грунта можно выполнить согласно СНиП 2.06.05-84 [4] по формулам:

$$m_{1,2} = m_o + K_\lambda \sqrt{h_в \frac{\sqrt{\frac{\lambda_в}{h_в}}}{d_{cp}}}, \quad (4.8)$$

где $m_{1,2}$ – крутизна соответствующих откосов (рис. 6.3); m_o – крутизна естественного откоса грунта насыпи под водой, $m_o = tg\varphi'$; j ў – угол естественного откоса намытого грунта, град, можно определить по формуле (6.2) или по табл. 6.2; l $_в$ – длина волны, м; $h_в$ – высота волны, м; Kl – коэффициент волнового динамического воздействия (Kl = 0,37 для подводной части пляжного откоса от расчетного уровня воды в водоеме до нижней границы размывающего действия волн h_2, Kl = 0,17 для надводной части пляжного откоса от расчетного уровня воды в водоеме до верхней границы размывающего действия волн h_1); d_{cp} – средневзвешенный размер частиц грунта, м,

$$d_{cp} = \sum \frac{d_i g_i}{100}, \quad (4.9)$$

где d_i – размер фракций, м; g_i – доля фракций по массе, %;

$$d_{cp} = \frac{\frac{0{,}005+0{,}05}{2}\cdot 2 + \frac{0{,}05+0{,}1}{2}\cdot 4 + \frac{0{,}1+0{,}25}{2}\cdot 15 + \frac{0{,}25+0{,}5}{2}\cdot 23}{100} +$$

$$+ \frac{\frac{0{,}5+1}{2}\cdot 25 + \frac{1+2}{2}\cdot 13 + \frac{2+5}{2}\cdot 11 + \frac{5+10}{2}\cdot 7}{100} = 1{,}4 \text{ мм};$$

$$h_1 = 0{,}028\left(\frac{h_в \lambda_в}{\sqrt{d_{cp}}}\right)^{0{,}67}; \quad (4.10)$$

$$h_2 \approx 0{,}5 h_в. \quad (4.11)$$

Таким образом, по вышеприведенным формулам рассчитываем неукрепленный откос пойменной насыпи и вычерчиваем поперечный разрез (рис. 4.3):

$$m_1 = tg25 + 0{,}17\sqrt{0{,}8\frac{\sqrt{\frac{2}{0{,}8}}}{0{,}0014}} = 5{,}6;$$

$$h_2 = 0{,}028\left(\frac{0{,}8\cdot 2}{\sqrt{0{,}0014}}\right)^{0{,}67} = 0{,}35 \text{ м};$$

$$m_2 = tg25 + 0{,}37\sqrt{0{,}8\frac{\sqrt{\frac{2}{0{,}8}}}{0{,}0014}} = 11{,}6;$$

$$h_1 \approx 0{,}5\cdot 0{,}8 \approx 0{,}4 \text{ м}.$$

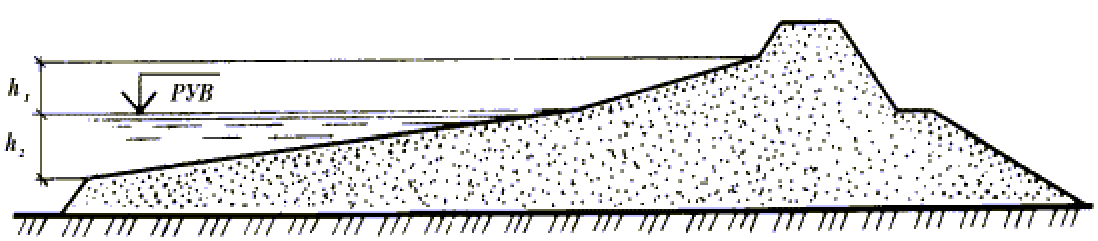
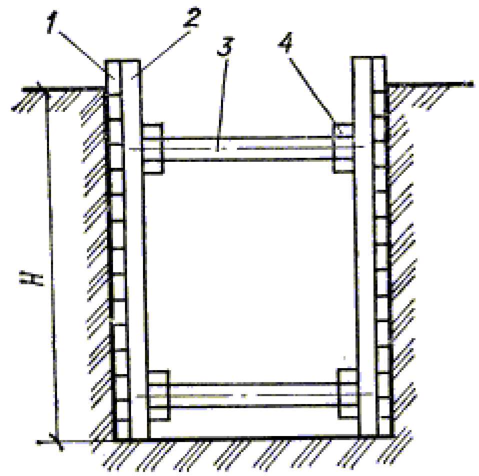


Рис. 4.3 – Расчетная схема для определения крутизны волноустойчивого неукрепленного откоса пойменной насыпи из песчаного грунта

Задача 4.5. В суглинке необходимо сделать траншею с вертикальными стенками глубиной 8 м. Рассчитать крепление траншеи. Для крепления применить доски толщиной 0,06 м.



Решение. Крепление траншеи примем распорного вида (рис. 4.4). В связных грунтах естественной влажности крепление выполняют или с просветом в одну доску, или сплошное. Таким образом, требуется рассчитать шаг стоек и площадь сечения распорок, необходимые для создания устойчивости траншеи. Крепления рассчитываются на активное давление грунта с учетом дополнительных нагрузок на призму обрушения

Активное давление связного грунта, кПа, где по поверхности скольжения одновременно действуют как силы трения, так и силы сцепления, определяется по формуле

$$\sigma_{акт} = H\gamma\, tg^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) - 2c\, tg(45^\circ - \frac{\varphi}{2}). \quad (4.12)$$

Расчет шага стоек производится по эмпирической формуле

$$l = \frac{1440\, b}{\sqrt{1000\sigma_{акт}}}, \quad (4.13)$$

где l – шаг стоек (или пролет досок), м; b – принятая толщина доски, м.

Расчетные нагрузки на нижнюю $s_н$ и верхнюю $s_в$ распорки определяются по формулам:

$$\sigma_н = \frac{\sigma_{акт} H l}{3} ; (4.14)$$

$$\sigma_в = \frac{\sigma_{акт} H l}{6} . (4.15)$$

Сечение нижней $S_н$ и верхней $S_в$ распорок, м^2, определяются по формулам:

$$S_н = \frac{\sigma_н}{R_{сж}} ; (4.16)$$

$$S_в = \frac{\sigma_в}{R_{сж}} , (4.17)$$

где $R_{сж}$ – допустимое напряжение на сжатие (принимается по справочным данным), кПа. Обычно сечение распорок принимается одинаковым по максимальному значению.

Диаметр деревянной распорки выводится из формулы площади круга:

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} . (4.18)$$

По табл. 6.1 принимаем следующие характеристики суглинка: g = 2100 кг/м^3; j = 24° ; c = 39 кПа = 3900 кг/м^2.

По формуле (4.12)

$$\sigma_{акт} = 8 \cdot 2100\, tg^2 (45 - \frac{24}{2}) - 2 \cdot 3900\, tg\, (45 - \frac{24}{2}) = 1986$$ кг/м^2 = 1986 кПа.

Согласно формуле (6.13) $l = \frac{1440 \cdot 0{,}06}{\sqrt{1000 \cdot 19{,}86}} = 0{,}61$ м.

По формулам (4.14) и (4.15) $\sigma_н = \frac{19{,}86 \cdot 8 \cdot 0{,}61}{3} = 32{,}3$ кН,

$$\sigma_в = \frac{19{,}86 \cdot 8 \cdot 0{,}61}{6} = 16{,}2$$ кН.

Расчетное сопротивление древесины на сжатие $R_{сж}$ примем 14700 кПа, тогда расчетное сечение распорок согласно (4.16):

$$S_н = \frac{32{,}3}{14700} = 0{,}0022 \text{ м}^2.$$

По формуле (4.18) $d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}0022}{3{,}14}} = 0{,}053$ м.

Таким образом, при разработке траншеи с вертикальными стенками глубиной 8 м необходимо устроить крепление распорного вида. Доски толщиной 0,06 м должны удерживаться стойками, расположенными на расстоянии 0,61 м друг от друга, и распорками с площадью сечения не менее 22 см^2 (диаметр 5,3 см).

Задача 4.6.

В песке средней крупности необходимо сделать уступ с вертикальными стенками, глубиной 3 м. Рассчитать анкерное крепление стенки уступа. Для крепления намечено применить стойки диаметром 0,06 м и доски толщиной 0,05 м.

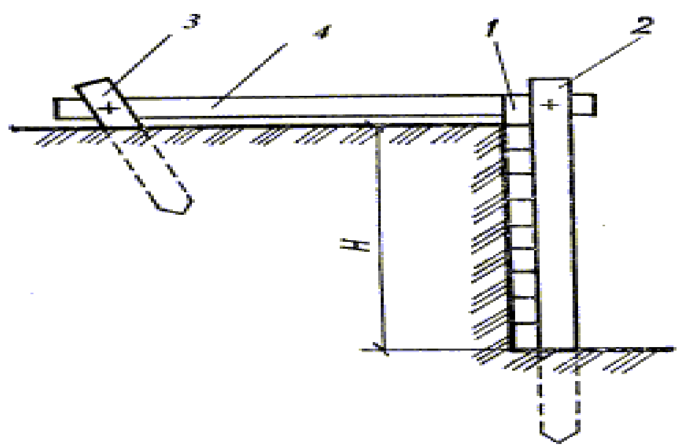


Рис. 4.5 – Анкерное крепление вертикальных стенок уступа: 1 – крепежные доски; 2 – стойка; 3 – анкер; 4 – затяжка

Решение. Крепление котлована в сыпучих грунтах выполняют сплошное. Анкерное крепление (рис. 4.5) рассчитывается на активное давление грунта с учетом дополнительных нагрузок на призму обрушения

Активное давление $\sigma_{акт}$, кПа, несвязного грунта определяется по формуле

$$\sigma_{акт} = H\,\gamma\,\mathrm{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}), \quad (4.19)$$

где H – глубина траншеи, м; g – плотность грунта, кг/м^3, принимается по справочным данным (табл. 4.1);

j ў – угол естественного откоса, град; определяется по табл. 6.2 или по формуле (4.2).

При заданном диаметре стойки необходимо определить диаметр затяжки по максимальному усилию N_{max}:

$$N_{max} = \frac{\sigma_{акт}\, l\, H}{2}, \quad (4.20)$$

где l – шаг стоек (или пролет досок), м, рассчитывается по формуле (4.13).

При этом должно соблюдаться условие прочности по первому предельному состоянию для центрально-растянутых элементов:

$$\frac{N_{max}}{F} \le R_p, \quad (4.21)$$

где R_p – расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон, кПа (принимается по справочным данным); F – площадь поперечного сечения затяжки, м^2.

По табл. 4.1 принимаем следующие характеристики песка: g = 1450 кг/м^3; j = 37° .

По формуле (4.2) определяем

$$\varphi' = \mathrm{arctg}\frac{\mathrm{tg}37}{1{,}5} = 26{,}7^\circ.$$

Тогда активное давление на крепление согласно формуле (4.15):

$$\sigma_{акт} = 3 \cdot 1450\,\mathrm{tg}^2(45 - \frac{26{,}7}{2}) = 1646 \text{ кг/м}^2 = 16{,}46 \text{ кПа}.$$

По формуле (4.9) определяем шаг стоек:

$$l = \frac{1440 \cdot 0{,}05}{\sqrt{1000 \cdot 16{,}46}} = 0{,}56$$ м,

$$N_{max} = \frac{1646{,}4 \cdot 0{,}56 \cdot 3}{2} = 1382{,}98$$ кг.

Из условия (4.17) определяем площадь сечения стяжки:

$$F \le \frac{N_{max}}{R_p} = \frac{1382{,}98}{800000} = 0{,}0017$$ м^2.

Тогда диаметр стяжки согласно формуле (4.14):

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}0017}{3{,}14}} = 0{,}047$$ м.

Таким образом, при выполнении в песке средней крупности уступа с вертикальными стенками, глубиной 3 м необходимо устроить анкерное крепление. Доски толщиной 0,05 м должны удерживаться стойками, расположенными на расстоянии 0,56 м друг от друга, и стяжками с площадью сечения не менее 17 см^2 (диаметр не менее 4,7 см).

Задача 4.7. Определить границу потенциально опасной зоны вблизи строящегося панельного здания, в пределах которой возможно падение предметов.

Решение. Границы опасных зон необходимо определять вблизи строящегося здания от падения предметов, во-первых, непосредственно со здания; во-вторых, при перемещении конструкций краном. В общих случаях границы опасных зон принимаются согласно СНиП III-4-80* (табл. 4.7).

Таблица 4.7 – Границы опасных зон в зависимости от высоты возможного падения предметов

Высота возможного падения предмета, м	Граница опасной зоны, м	
	от горизонтальной проекции максимальных габаритов перемещаемого машинами груза	от внешнего периметра строящегося здания или сооружения
< 10	4	3,5
10–20	7	5
20,1–70	10	7
70,1–120	15	10
120,1–200	20	15
200,1–300	25	20
300,1–450	30	25

Для определения размеров опасной зоны, возникающей от возможного падения конкретных конструкций при перемещении их краном, можно пользоваться следующей формулой:

$$S_к = \sqrt{h \ \left[l\left(1-\cos\varphi\right)n\right]}, \quad (4.22)$$

где $S_к$ – предельно возможный отлет конструкции в сторону от первоначального положения ее центра тяжести при возможности свободного падения, м; l – длина стропа, м; j – угол между вертикалью и стропом, град; n – половина длины конструкции, м; h – высота подъема конструкции над уровнем земли в процессе монтажа, м.

Определим $S_к$ при падении монтируемой стеновой панели ПС600.18.20-1 размерами 6ґ 1,8ґ 0,2 м массой 1800 кг с высоты 25 м:

$$S_к = \sqrt{25\,[4\,(1-\cos 45^0)\,3]} = 9{,}4 \text{ м.}$$

Границы опасной зоны вблизи башенного крана определяют по следующим формулам:

по длине рельсового пути

$$S_{к_д} = l + 2\left(R + S_к\right); \quad (4.23)$$

по ширине рельсового пути

$$S_{к_ш} = b + 2(R + S_к);\ (4.24)$$

где l – длина подкранового пути, м; b – ширина колеи, м; R – максимальный вылет крюка, м. Грузовые характеристики некоторых башенных кранов приведены в табл. 4.8.

Таблица 4.8 – Грузовые характеристики башенных кранов

Марка крана	Грузоподъемность, кН	Вылет крюка, м	Высота подъема крана, м
БК-300	8–25	9–30	45–72
БК-180	6–8	2,5–30	35,5–108,3
БК-573	4–8	2,5–40	35,5–147,5
МСК-10-20	10	10–20	36–46

$S_{к_д} = 150 + 2(30 + 9{,}4) = 228{,}8$ м; $S_{к_ш} = 6 + 2(30 + 9{,}4) = 84{,}8$ м.

Если кран работает с компактными грузами, обладающими незначительной парусностью, то граница опасной зоны может быть подсчитана по формуле

$$S_к = 0{,}32\, w\, R\, \sqrt{h},\ (4.25)$$

Определим $S_к$ при монтаже краном МСК-10-20 конструкции массой 8 т на высоту 30 м и угловой скорости вращения стрелы 0,1 1/с

$$S_к = 0{,}32 \cdot 0{,}1 \cdot 20\sqrt{30} = 3{,}5 \text{ м.}$$

Задача 4.8. Подобрать стальные канаты для стропов с четырьмя ветвями при подъеме грузов с максимальным весом 40 кН при вертикальном и наклонном положении стропов.

Решение. Канаты, используемые в стропах, необходимо рассчитывать на прочность в соответствии с требованиями Госгортехнадзора. Расчетом определяем сечение каната по допускаемому усилию с учетом требуемого запаса прочности по формуле

$$S_{доп} \le \frac{P}{K},\ (4.26)$$

где $S_{доп}$ – допускаемое усилие в канате, Н; Р – разрывное усилие каната по заводскому паспорту или определяемое путем испытания, Н; К – коэффициент запаса прочности, принимается в зависимости от назначения каната (табл. 4.9)

Таблица 4.9 – Коэффициент запаса прочности стального каната

Назначение каната	К
Стропы огибающие для подъема груза весом до 500 кН	8
Стропы огибающие для подъема груза весом более 500 кН	6
Стропы, прикрепляемые к грузу при помощи крюков или колец без его огибания	6
Ванты, расчалки, оттяжки с учетом нагрузки от ветра	3,5
Полиспаст с ручной лебедкой	4,5
Полиспаст с электрической лебедкой	5

При вертикальном положении стропов допускаемое усилие в каждой ветви определяется по формуле

$$\varphi\ \mathbf{o}_{(R)}\ , (4.27)$$

где Q – вес поднимаемого груза, Н; m – число ветвей стропов.

$$S_{доп.в} = \frac{40000}{4} = 10000 \text{ Н} = 10 \text{ кН}.$$

С учетом коэффициента запаса К: $S_{доп.в} = 10 \cdot 8 = 80$ кН

При наклонном положении стропа усилие в ветвях увеличивается:

$$S_{доп.накл} = \frac{1}{\cos\alpha}\frac{Q}{m}, (4.28)$$

где а – угол наклона стропа к вертикали, град.

Примем угол наклона стропа равным 60° , тогда

$$S_{доп.накл} = \frac{1}{\cos 60} \cdot \frac{40000}{4} = 2 \cdot 10000 = 20000 \text{ Н} = 20 \text{ кН}.$$

С учетом коэффициента запаса К: $S_{доп.накл} = 20 \cdot 6 = 120$ кН.

Таким образом, допустимое усилие в ветвях стропа с учетом запаса прочности при подъеме груза весом 40 кН равно 80 кН при вертикальном положении стропов и 120 кН при наклонном положении стропов.

Основным несущим гибким элементом инвентарного канатного стропа является стальной проволочный канат, который состоит из определенного числа проволок, перевитых между собой и образующих прядь. Несколько прядей, также перевитых между собой и расположенных на центральном сердечнике, образуют собственно канат. Характеристики стальных проволочных канатов представлены в табл. 4.10.

По ГОСТ 2688-80* принимаем стальной канат типа ЛК-Р диаметром 15 мм. Разрывное усилие каната при расчетном пределе прочности 1666 МПа составляет 122 кН, что больше расчетного усилия, равного 120 кН.

Таблица 4.10 – Характеристика стальных проволочных канатов

Диаметр каната, мм	Площадь поперечного сечения проволок, мм	Масса 1000 м каната, кг	Разрывное усилие каната в целом, кН, при маркировочной группе проволок, МПа			
			1666	1764	1862	1960
Канат 6г 36+1о.с. (ГОСТ 7668-80*) с числом проволок 216 шт., тип касания ЛК-РО						
11,5	51,96	513	70,95	75,1	78,2	80,7
13,5	70,55	696,5	96,3	101,5	106	109
15	82,16	812	111,5	116,5	122,5	128
16,5	105,73	1045	144	150	157,5	165
18	125,78	1245	171,5	175,5	186,5	190
20	154	1520	210	215	229	233,5
22	185,1	1820	252,5	258,5	275	280,5
23,5	252,46	2495	344	352,5	375,5	383
27	283,8	2800	387,5	396,5	422	430,5
29	325,4	3215	444	454,5	484	493,5
31	370	3655	505	517	550,5	561,5
Канат 6г 37+1о.с. (ГОСТ 3079-80*) с числом проволок 222 шт., тип касания ТЛК-О						
11,5	47,01	468	66,5	68,75	71,7	74,5
13,5	66,56	662,5	94,2	97,1	100,5	105,5
15,5	85,54	851,5	121	124	130	136
17	107	1065	151	155,5	162,5	170
19,5	135,5	1350	191,5	197	206,5	215,5
21,5	167	1670	237	244,5	255,5	266,5
23	193,6	1930	274	283	295	307

25	225,4	2245	318,5	328,5	343	358,3
27	266,25	2650	376,5	388,5	406	423,5
29	303	3015	428,5	441,5	464	482
30,5	342,16	3405	484	499	522	544,5
Канат 6ґ 19+1о.с. (ГОСТ 2688-80*) с числом проволок 114 шт., тип касания ЛК-Р						
11	47,19	461,6	66,75	68,8	72	75,15
12	53,9	527	76,2	78,53	81,9	85,75
13	61	596,6	86,3	89	92,8	97
14	74,4	728	105	108	112,5	118
15	86,28	844	122	125,5	131	137
16,5	104,6	1025	147,5	152	159	166
18	124,7	1220	176	181,5	189,5	198
19,5	143,6	1405	203	209	218,5	228
21,5	167	1635	236	243,5	254	265,5
22,5	188,8	1850	267	275	287,5	303,5
24	215,5	2110	304,5	314	328	343
25,5	244	2390	345	355,5	372	388,5
27	274,3	2685	388	399,5	418	436,5
28	297,6	2910	421	434	453,5	473
30,5	356,7	3490	504,5	520	544	567,5
32	393	3845	556	573	599,5	625,5

Задача 4.9. Подобрать канаты для временного раскрепления колонны при помощи четырех растяжек. Высота колонны – 10,2 м; сечение – 0,5ґ 0,5 м; масса – 5300 кг.

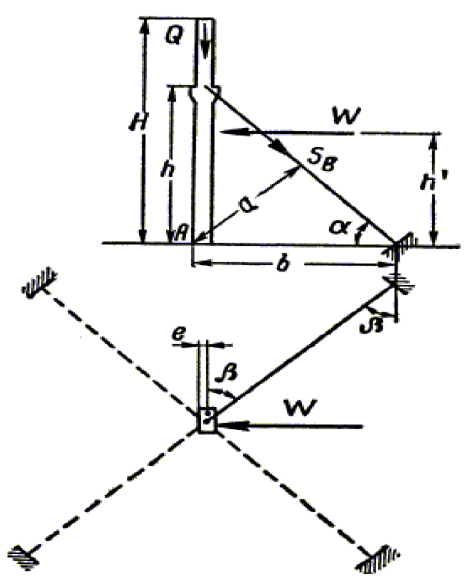


Рис. 4.6 – Расчетная схема крепления колонн растяжками

Решение. Для временного раскрепления колонн необходимо не менее трех растяжек. Угол заложения растяжек к горизонту принимается обычно 45–60° , при углах заложения менее 45° увеличивается длина растяжки, при углах заложения более 60° в растяжках возникают значительные напряжения, что требует значительного увеличения их диаметра.

Для расчета принимаем 4 растяжки, угол заложения растяжек к горизонту a = 60° , высоту крепления растяжек h = 8 м (рис. 4.6).

Определяем расстояние от точки опрокидывания до места крепления растяжки к якорю b:

$$b = \frac{h}{tg\alpha}, \quad (4.29)$$

где h – высота крепления растяжек, м; a – угол заложения растяжек к горизонту, град,

$$b = \frac{8}{tg60^\circ} = 4{,}62 \text{ м.}$$

Определяем опрокидывающий момент от собственного веса колонны относительно ребра опрокидывания M_0, НЧ м:

$$M_0 = Qe, \quad (4.30)$$

где Q – вес колонны, Н; e – расстояние от центра тяжести колонны до ребра опрокидывания, м.

Из рис. 6.6 $e = \frac{0{,}5}{2} = 0{,}25$ м;

$$M_0 = 9{,}8 \cdot 5300 \cdot 0{,}25 = 12985 \text{ НЧ м.}$$

Определяем давление ветра W, Н, на наветренную плоскость колонны

$$W = g_0\ k\ c\ F, \quad (4.31)$$

где g_0 – скоростной ветровой напор, Па, значения которого в зависимости от района строительства [5] следующие: I – 270 Па, II – 350 Па, III – 450 Па, IV – 550 Па, V – 700 Па, VI – 850 Па, VII – 1000 Па; k – коэффициент, учитывающий

изменение скоростного напора по высоте с учетом типа местности (табл. 4.11); с – аэродинамический коэффициент сопротивления, который для сплошных балок и ферм прямоугольного сечения равен 1,49, для прямоугольных кабин и т.п. – 1,2, для конструкций из труб диаметром 170 мм – 0,7 и диаметром 140…170 мм – 0,5;
F – наветренная поверхность конструкции, м^2.

Таблица 4.11 – Значения коэффициента k [5]

Местность	Высота над поверхностью земли, м				
	10	20	40	60	100
Открытая	1	1,25	1,55	1,75	2,1
Покрытая препятствиями	0,65	0,9	1,2	1,45	1,8

$$W = 700 \cdot 1 \cdot 1{,}49 \cdot 0{,}5 \cdot 10{,}2 = 5319{,}3 \text{ Н.}$$

Момент от действия ветра на колонну, НЧ м, определяется по формуле

$$M_B = W\,h', \quad (4.32)$$

где hў – расстояние от основания колонны до центра приложения ветровой нагрузки, м

$$M_в = 5319{,}3Ч\ 5{,}1 = 27128{,}4 \text{ НЧ м.}$$

Определяем усилие в четырех растяжках S_B, Н:

$$S_B = \frac{M_B - M_0}{b \sin\alpha}, \quad (4.33)$$

$$S_B = \frac{27128{,}4 - 12985}{4{,}62 \sin 60^\circ} = 3534{,}9 \text{ Н.}$$

Усилие в одной растяжке S'_B, Н, определяется по формуле

$$S'_B = \frac{S_B}{2 \sin\beta}, \quad (4.34)$$

где b – угол между растяжкой и осью колонны в плане.

$$S'_{В} = \frac{35334{,}9}{2\sin 45°} = 24990{,}6 \text{ Н.}$$

Расчетное усилие в растяжке $S'_{ВРАСЧ}$, Н, принимается с учетом коэффициента запаса прочности, равного 3,5:

$$S'_{ВРАСЧ} = 2499{,}6 \cdot 3{,}5 = 8748{,}6 \text{ Н.}$$

По ГОСТ 3079-80* принимаем стальной канат типа ТЛК-О диаметром 11,5 мм (табл. 4.10). Разрывное усилие каната при расчетном пределе прочности 1666 МПа составляет 66,5 кН.

Задача 4.10. Оценить устойчивость башенного крана при подъеме груза весом 15 кН с учетом дополнительных нагрузок и уклона пути (рис. 4.7). Исходные данные: G = 30 кН; c = 0,30 м; v = 0,5 м/с; t = 5 с; W_k = 150 Па; r = 15 м; $W_г$ = 50 Па; n = 0,2 мин$^{-1}$; h = 10 м; H = 25 м; a = 2° ; b = 2 м; a = 25 м; r_1 = 26 м.

Решение. Для обеспечения устойчивости машин необходимо превышение момента удерживающих сил над моментом опрокидывающих сил.

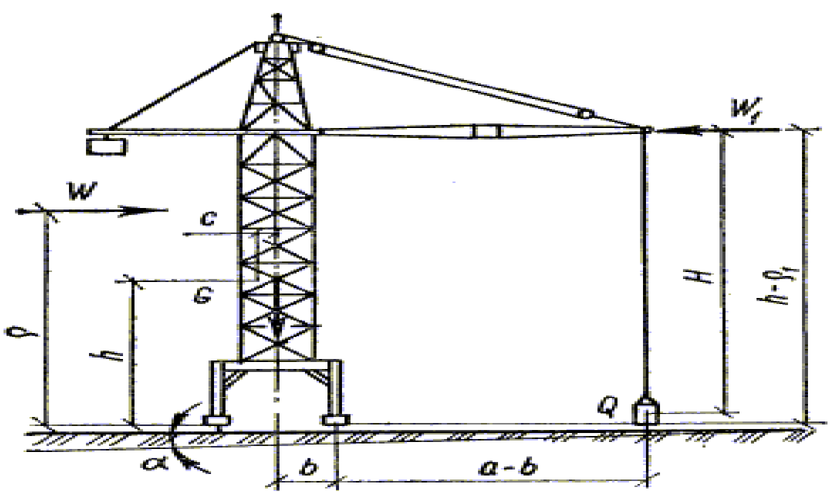


Рис. 4.7 – Расчетная схема устойчивости башенного крана с грузом

Грузовая устойчивость крана обеспечивается при условии

$$K_{г.у} \geq \frac{M_{о.д}}{M_{г}}, \quad (4.35)$$

где $К_{г.у}$ – коэффициент грузовой устойчивости, принимаемый равным 1,4 на горизонтальном пути без учета дополнительных нагрузок, и равным 1,15 с учетом дополнительных нагрузок; $M_{о.д}$ – момент от основных и дополнительных нагрузок, действующих на кран относительно того же ребра опрокидывания с учетом наибольшего допустимого уклона пути, НЧ м; $M_г$ – момент, создаваемый рабочим грузом относительно ребра опрокидывания, НЧ м;

$$M_г = Q(a - b), \quad (4.36)$$

где Q – вес наибольшего рабочего груза, Н; a – расстояние от оси вращения до центра тяжести рабочего груза наибольшей массы, подвешенного к крюку, м; b – расстояние от оси вращения до ребра опрокидывания, м;

$$M_{о.д} = M_в - M_у - M_{ц.с} - M_{и.с} - M_w, \quad (4.37)$$

где $M_в$ – восстанавливающий момент от действия собственного веса крана, НЧ м; $M_у$ – момент, возникающий от действия собственного веса крана при уклоне пути, НЧ м; $M_{ц.с}$ – момент от действия центробежных сил, НЧ м; $M_{и.с}$ – момент от инерционных сил при торможении опускающегося груза, НЧ м; M_w – момент от ветровой нагрузки, НЧ м,

$$M_в = G(b + c)\cos\alpha, \quad (4.38)$$

где G – вес крана, Н; c – расстояние от оси вращения крана до его центра тяжести, м; a – угол наклона пути крана, град (для передвижных стреловых кранов и кранов-экскаваторов a = 3° – при работе без выносных опор и a = 1,5° при работе с выносными опорами; для башенных кранов a = 2° – при работе на временных путях и a = 0° – при работе на постоянных путях);

$$M_у = G h_1 \sin\alpha, \quad (4.39)$$

где h_1 – расстояние от центра тяжести крана до плоскости, проходящей через точки одного контура, м;

$$M_{ц.с} = \frac{Q n^2 a h}{900 - n^2 H}, \quad (4.40)$$

где n – частота вращения крана вокруг вертикальной оси, мин$^{-1}$; h – расстояние от оголовка стрелы до плоскости, проходящей через точки опорного контура, м; H – расстояние от оголовка стрелы до центра тяжести подвешенного груза, который находится над землей на расстоянии 20–30 см;

$$M_{и.с} = \frac{Qv(a-b)}{gt}, \quad (4.41)$$

где v – скорость подъема груза (при свободном опускании груза v = 1,5 м/с); g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с^2; t – время неустановившегося режима работы механизма подъема (время торможения), с;

$$M_w = M_{w.k} + M_{w.г} = W_к\rho + W_г\rho_1, \quad (4.42)$$

где $M_{w.k}$ – момент от действия ветровой нагрузки на вертикальную плоскость крана; $M_{w.г}$ – момент от действия ветровой нагрузки на вертикальную плоскость груза; $W_к$ – ветровая нагрузка, приложенная в центре тяжести крана, Па; $W_г$ – ветровая нагрузка, действующая на наветренную площадь груза, Па; r = h и r $_1$ = h_1 – расстояние от основания до центра приложения ветровой нагрузки, м. $W_к$ и $W_г$ определяют по формуле (4.31). Наветренную поверхность крана F, м^2, определяют площадью, ограниченной контуром крана, умноженной на коэффициент заполнения элементами решетки, для сплошных сечений равный 1, для решетчатых – 0,3…0,4. В расчетах устойчивости кранов давление ветра для самоходных стреловых кранов принимают 250 Па, для высоких башенных – 150 Па.

Произведем расчет. Удерживающий момент согласно формулам (4.35)–(4.42):

$$M_{о.д} = 3000(2+0{,}3)\cos 2^\circ - 3000\cdot 26\cdot \sin 2^\circ - \frac{1500\cdot 0{,}2^2\cdot 25\cdot 10}{900-0{,}2^2\cdot 25} -$$

$$- \frac{1500\cdot 0{,}5(25-2)}{9{,}81\cdot 5} - 150\cdot 15 - 50\cdot 26 = 39702{,}69 \text{ НЧ м};$$

$$M_г = 1500(25-2) = 34500 \text{ НЧ м};$$

$$K_{г.у} = \frac{M_{о.д}}{M_г} = \frac{39702{,}69}{34500} = 1{,}151 \geq 1{,}15.$$

Таким образом, грузовая устойчивость крана с учетом дополнительных нагрузок при заданных условиях эксплуатации обеспечена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрана труда в строительстве. Инженерные решения: Справочник / В.И. Русин, Г.Г. Орлов, Н.М. Неделько и др. – Киев: Будивэльнык, 1990. – 208 с.
2. Инженерные решения по технике безопасности в строительстве / Н.Д. Золотницкий, А.М. Гнускин, В.И. Максимов и др. – М.: Стройиздат, 1969. – 264 с.
3. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. – М., 1988. – 38 с.
4. СНиП 2.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 32 с.
5. Кондратьев, А.И. Охрана труда в строительстве / А.И. Кондратьев, Н.М. Местечкина. – М.: Высшая школа, 1990.

БЛОК № 1

Задача 1. Определить валовой выброс оксида углерода, оксидов азота, оксидов серы и твердых частиц при сжигании 938 т/год высокосернистого мазута в камерной топке котельной. Котельная вырабатывает 9тонн пара в час и оборудована центробежным скруббером ЦС-ВТИ.

Задача 2. Рассчитать валовой выброс частиц абразивной пыли от трех круглошлифовальных станков с диаметрами круга 300, 350, 400 мм. Станки работают в сутки по 8 часов, в год – 230 дней. Участок оборудован аппаратом сухой очистки воздуха циклон ЦН-15.

Задача 3. Определить количество NO_2, образующейся при сжигании угля. Максимальная температура факела в топке 1400 К, коэффициент избытка воздуха на выходе из топки составляет 1,02. Расход топлива – 8,90 кг/с, содержание азота в топливе N^p = 0,6%. Теоретически необходимый объем воздуха V^0 = 2,86 м^3/кг. Объемы составляющих продуктов сгорания: V_{RO_2} = 0,56 м^3/кг, $V^0_{N_2}$ = 2,27 м^3/кг, $V^0_{H_2O}$ = 0,60 м^3/кг. Объем топки составляет 910 м^3.

Задача 4. Определить максимальное загрязнение холодной пылью приземного слоя атмосферы, источником которого является труба высотой 25 м, диаметром устья 1 м, выбрасывающая в атмосферу воздух после очистки в пылеулавливающих установках. Степень очистки воздуха от пыли не менее 90 %. Объем выбрасываемого воздуха 8,5 м^3/с. Валовой выброс пыли М = 5 г/с, $ПДК_{м.р}$ = 0,5 мг/м^3 , фоновая концентрация пыли $C_ф$ = 0,15 мг/м^3. Предприятие расположено в г. Читинской области

Задача 5. Рассчитать выбросы ксилола и аэрозоля краски МЛ-029 от окрасочного участка при расходе краски 215 кг/год. На разведение краски и подготовку поверхности расходуется 80 кг/год растворителя Р-5. Краска наносится на поверхность безвоздушным способом.

Задача 6. Рассчитать объемы выбросов соединений марганца и твердых частиц в сварочном цехе при производстве сварочных работ электродами АНО-3. Расход электродов 540 кг/год.

Задача 7. Определить валовой выброс гидроокиси натрия при обмывке узлов и деталей в растворе каустической соды. Ванна 3,0 м длиной, 0,7 м высотой и 0,5 м шириной. Рабочий день равен 8 ч.

Задача 8. Рассчитать валовой выброс древесной пыли от деревообрабатывающего участка: три кругопильных станка ПАРК-8, один сверлильный ДЦА-2 при 8-часовом рабочем дне.

Задача 9. Рассчитать валовой выброс древесной пыли от деревообрабатывающего участка: строгальный и фуговальный один марки СФ-2, второй марки - СФ-4 при 8-часовом рабочем дне.

Задача 10. Рассчитать объем выбросов сажи и оксида углерода от 16-магистральных двухсекционных локомотивов 2ТЭ10В и двух маневровых локомотивов ТЭМ2. Магистральные локомотивы работают в день по 14 часов со средней нагрузкой 65%. Маневровые локомотивы работают в день по 12 часов со средней нагрузкой 30%. Локомотивы эксплуатируются ежедневно за исключением простоев на ремонте, что составляет 340 дней в году.

Задача 11. Рассчитать валовой выброс частиц абразивной пыли от трех круглошлифовальных станков с диаметрами круга 300, 350, 400 мм. Станки работают в сутки по 8 часов, в год – 210 дней. Участок оборудован аппаратом сухой очистки воздуха циклон ЦН-15.

Задача 12. Определить количество NO_2, образующейся при сжигании угля. Максимальная температура факела в топке 1200 К, коэффициент избытка воздуха на выходе из топки составляет 1,02. Расход топлива – 6,50 кг/с, содержание азота в топливе N^p = 0,7 %. Теоретически необходимый объем воздуха V^0 = 2,86 м^3/кг. Объемы составляющих продуктов сгорания: V_{RO_2} = 0,56 м^3/кг, $V^0_{N_2}$ = 2,27 м^3/кг, $V^0_{H_2O}$ = 0,60 м^3/кг. Объем топки составляет 910 м^3.

Задача 13. Определить максимальное загрязнение холодной пылью приземного слоя атмосферы, источником которого является труба высотой 25 м, диаметром устья 1 м, выбрасывающая в атмосферу воздух после очистки в пылеулавливающих установках. Степень очистки воздуха от пыли не менее 90 %. Объем выбрасываемого воздуха 8,5 м^3/с. Валовой выброс пыли М = 5 г/с, $ПДК_{м.р}$ = 0,5 мг/м^3 , фоновая концентрация пыли $C_ф$ = 0,15 мг/м^3. Предприятие расположено в г. Читинской области

Задача 14. .Рассчитать выбросы ксилола и аэрозоля краски МЛ-029 от окрасочного участка при расходе краски 215 кг/год. На разведение краски и подготовку поверхности расходуется 80 кг/год растворителя Р-5. Краска наносится на поверхность безвоздушным способом.

Задача 15. Рассчитать валовой выброс древесной пыли от деревообрабатывающего участка: от 3-х плоскошлифовальных станка, один сверлильный ДЦА-2 при 8-часовом рабочем дне.

БЛОК № 2

Задача 1. Рассчитать виброизоляцию виброплощадки и виброгасящее основание (фундамент) с обеспечением допустимых параметров вибрации рабочих мест в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90, если виброизоляторы пружинные; виброплощадка с вертикально направленными колебаниями грузоподъемностью 10 т; общий вес Q = 12660 Н, в том числе подвижных частей $Q_{п.ч}$= 10500 Н, частота колебаний f = 50 Гц; максимальный кинематический момент дебалансов М = 5200 Н/см; амплитуда колебаний виброплатформы а = 0,5 мм; размер виброплатформы 8 х 2,4 м; грунт–. Супесь при коэффициенте пористости К– 0,5

Задача 2. Рассчитать виброизоляцию виброплощадки и виброгасящее основание (фундамент) с обеспечением допустимых параметров вибрации рабочих мест в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90, если виброизоляторы пружинные; виброплощадка с вертикально направленными колебаниями грузоподъемностью 10 т; общий вес Q = 10500 Н, в том числе подвижных частей $Q_{п.ч}$= 12800 Н, частота колебаний f = 50 Гц; максимальный кинематический момент дебалансов М = 5200 Н/см; амплитуда колебаний виброплатформы а = 0,5 мм; размер виброплатформы 8 х 2,4 м; грунт–. Суглинки при коэффициенте пористости К: – 0,7;

Задача 3. Рассчитать виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации, если рабочее место размещено на виброизолируемой железобетонной плите размерами 1,7 х 1,2 х 0,1 м, весом 3600 Н, виброскорость рабочего места на частоте 63 Гц V = 0,09 м/ч, виброизоляторы – металлические пружины.

Задача 4 .Рассчитать виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации, если рабочее место размещено на виброизолируемой железобетонной плите размерами 2,0 х 1,6 х 0,2 м, весом 4200 Н, виброскорость рабочего места на частоте 65 Гц V = 0,08 м/ч, виброизоляторы – металлические пружины.

Задача 5. Определить какая часть динамических сил от вибрации частотой 120 Гц, создающейся электродвигателем, будет изолирована прокладкой из резины средней жесткости толщиной 7 см.

Задача 6. Рассчитать виброизоляцию электродвигателя весом 1200 Н с числом оборотов n=3100 об/мин.

Задача 7. Рассчитать виброизоляцию виброплощадки с обеспечением допустимых параметров вибрации в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90, если виброплощадка с вертикально направленными колебаниями грузоподъемностью 12 т; общий вес Q = 14200 Н, в т.ч. подвижных частей $Q_{п.ч}$= 11800 Н; частота колебаний 50 Гц; максимальный кинематический момент дебалансов М = 5200 Н/см; амплитуда колебаний виброплатформы а = 0,07 мм; размер виброплатформы 8 х 2,4 м; амортизаторы пневморезиновые.

Задача 8. Рассчитать виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации, если рабочее место размещено на виброизолируемой плите размерами 1,6 х 1,2 х 0,2 м весом 3500 Н; виброскорость рабочего места на частоте 63 Гц составляет V = 0,09 м/с; виброизоляторы резиновые.

Задача 9. Установить эффективность виброизоляции вентиляционной установки с электрическим приводом, если вес установки Р = 1500 кгс; частота вращения вала электродвигателя n = 850 об/мин; количество виброизоляторов (с одной пружиной) N = 6 шт. Допустимая амплитуда смещения a_z = 0,14 мм.

Задача 10. Рассчитать пассивную виброизоляцию под вентиляторную установку и ее эффективность, если масса установки Р = 280 кгс; частота вращения вала электродвигателя n = 870 об/мин; расчетная амплитуда вертикальных колебаний установки a_Z = 0,0028 мм; виброизоляторы выполнены из четырех одинарных пружин с размещением между пружинами и несущей конструкцией резиновых прокладок (при расчете их влияние не учитывается); допускаемое напряжение на кручение для пружинной стали [t] = $4{,}2 \cdot 10^3$кгс/см^2; модуль сдвига s = $8 \cdot 10^5$кгс/см^2; индекс с = 4; $К_р$ = 1,4.

Задача 11. Определить, на сколько децибел улучшится виброизоляция на частоте вращения вентилятора f, если жесткость амортизаторов уменьшить вдвое; вентиляционная установка закреплена с помощью амортизаторов на перекрытии складского помещения; статический прогиб амортизаторов $Х_{ст}$ = 7 мм.

Задача 12. Дизель-генератор массой m = 2400 кгс установлен на восьми резинометаллических амортизаторах с суммарной жесткостью $К_Z$ = $18 \cdot 10^5$ Н/м; частота вращения вала установки n = 750 об/мин. Сравнить параметры вибрации с допустимыми значениями по ГОСТ 12.1.012-90(3.38)

Задача 13. Рассчитать виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации, если рабочее место размещено на виброизолируемой плите размерами 1,6 х 1,2 х 0,3 м весом 3170 Н; виброскорость рабочего места на частоте 63 Гц составляет V = 0,07 м/с; виброизоляторы резиновые.

Задача 14. Установить эффективность виброизоляции вентиляционной установки с электрическим приводом, если вес установки Р = 1700 кгс; частота вращения вала электродвигателя n = 850 об/мин; количество виброизоляторов (с одной пружиной) N = 6 шт. Допустимая амплитуда смещения a_z = 0,14 мм.

Задача 15. Определить какая часть динамических сил от вибрации частотой 115 Гц, создающейся электродвигателем, будет изолирована прокладкой из резины средней жесткости толщиной 5 см.

БЛОК № 3

Задача 1. Рассчитать снижение шума за экраном, если открытое стойло реостатных испытаний тепловозов расположено на расстоянии 120 м от жилого района. Расстояние от тепловоза до экрана *а* = 7 м, от экрана до жилого района *в* = 95 м. Высота тепловоза *h* = 5 м, высота экрана *Н* = 10 м. Окна жилого дома расположены на расстоянии от земли *К* = 2,2 м.

Задача 2. Произвести оценку уровня звука в расчетной точке на территории больницы, который создает вентиляционная установка, расположенная на расстоянии 350 м от больницы. Уровень звукового давления, создаваемый вентиляционной установкой, составляет 120 дБА. Между источником шума и расчетной точкой расположена однорядная зеленая зона шириной 24 м.

Задача 3. Рассчитать общее снижение шума $СШ_о$ в жилом районе, расположенном в 80 м от пункта реостатных испытаний, за счет расстояния от источника шума, поглощения в воздухе и зелеными насаждениями. Расстояние от тепловоза до экрана, высота экрана и другие данные приведены на рис. 3.1 и в задаче 3.1. Ширина зоны зеленых насаждений между экраном и жилым зданием составляет 20 м.

Задача 4. В сложившейся зоне жилой застройки источник создает тональный шум с уровнем звука $L_{ист}$ = 50 дБА. Определить удовлетворяют ли параметры шума в период с 23 до 7 часов утра.

Задача 5. **П**о данным измерений, проведенных санитарно-эпидемиологической станцией (СЭС), уровни звукового давления в помещении диспетчерской грузового двора превышают предельно допустимые значения. Величины превышений в октавных полосах частот, определенные СЭС, приведены ниже:

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	125	250	500	1000	2000	4000
Величина превышения ΔL, дБ	8	12	15	17	16	14

Предложить мероприятия по снижению уровня шума и оценить их эффективность.
Исходные данные и результаты расчета представлены в табл.(3.10 методички).)

Задача 6. При работе компрессора из всасывающей трубы диаметром 160 мм излучается шум, уровень которого равен 130 дБ на расстоянии 1,5 м от фильтра. Спектр излучаемого шума в октавных полосах частот приведен в табл. 3.11. Предприятие расположено в промышленном районе и работает круглосуточно. На расстоянии 110 м от компрессорной находятся жилые здания. Требуется рассчитать уровень шума на расстоянии 4 м перед окнами зданий при работе компрессора без глушителя, определить превышение шума над нормами и подобрать такой глушитель, чтобы шум не превышал нормы.

Задача 7. В цехе испытания топливных насосов стенд для испытания изолирован от общего помещения цеха перегородкой, выполненной из кирпича весом 260 кг/м^2 (1/2 кирпича); пункт обдувки и очистки агрегатов топливных насосов сжатым воздухом изолирован перегородкой из стекла толщиной 4 мм и фанеры толщиной 6 мм. Вес перегородки из стекла – 14 кг/м^2, фанеры – 8 кг/м^2. Требуется определить частотную характеристику звукоизоляции ограждений.

Задача 8. Определить затраты тепла Q на отопление проектируемого здания локомотивного депо по его удельной тепловой характеристике, составляющей 0,7 Вт/м^3 К. Объем отапливаемого здания равен 3000 м^3.

Температура воздуха в помещении составляет 17 °С. Температура наружного воздуха $t_н$ = – 16 °С.

Задача 9.Для общественного здания определить величину удельной тепловой характеристики при следующих исходных данных: F = 600 м^2; S = 140 м^2; $V_н$ = 1500 м^3; d = 0,5.

Задача 10. Определить тепловую мощность отопительной системы пассажирского купейного вагона с 36 пассажирами, если площадь ограждений составляет F = 220 м^2. Приведенный коэффициент теплопередачи через ограждения вагона k = 2,5 Вт/м$^2\cdot$К. Температура воздуха в вагоне $t_в$ = 20 °С; температура наружного воздуха $t_н$ = –25 °С. Принять количество теплоты, выделяемой одним пассажиром, $q_{пас}$ = 110 Вт/чел.

Задача 11.Пассажирский купейный вагон имеет площадь ограждения F = 200 м^2. Приведенный коэффициент теплопередачи составляет 2,5 Вт/м$^2\cdot$К. Температура наружного воздуха $t_н$ = – 20 °С; температура воздуха в вагоне $t_в$ = 20 ° С. Коэффициент теплопередачи нагревательных приборов $k_н$ = 10 Вт/м$^2\cdot$К, при этом температура воды на входе в приборы t_2 = 85 °С, а на выходе t_1 = 70 ° С. Определить площадь теплообменной поверхности отопительной системы вагона.

Задача 12. Рассчитать калориферную установку в системе воздушного отопления производственного помещения для нагревания воздуха L = 26000 м^3/ч с начальной температурой $t_н$ = –22 °С до конечной $t_к$ = 20 °С. Теплоноситель: вода с параметрами $t_г$ = 120 °С и $t_о$ = 80 °С.

Задача 13. В моечном отделении депо испаряются водяные пары в количестве 12 кг/ч. Температура наружного воздуха – 10 °С, внутреннего – 18 °С, относительная влажность – 75 %. Требуется определить необходимый воздухообмен для помещения.

Задача 14. В цехе выделяется хлор. При нормальной работе оборудования кратность воздухообмена $К_{Рн}$ = 12 ч $^{–1}$. В случае нарушения технологического режима выделение хлора увеличивается в 10 раз, т.е. m = 10. Определить через какое время после устранения аварии концентрация хлора снизится до ПДК, если кратность воздухообмена аварийной вентиляции равна 5 ч$^{–1}$.

Задача 15. В помещении для кратковременного пребывания людей собралось 40 человек. Объем помещения V = 800 м^3. Определить, через какое время после начала собрания нужно включить в работу приточно-вытяжную вентиляцию при следующих данных: количество CO_2, выделяемое одном человеком, 20 л/ч; допустимое содержание CO_2 в воздухе помещения x_2 = 2 л/м^3; концентрация CO_2 в наружном (приточном) воздухе x_1 = 0,6 л/м^3.

БЛОК № 4

Задача 1. В помещении испытаний топливной аппаратуры депо требуется переместить 3600 м^3/ч воздуха при полном расчетном давлении 35 кг/м^2. Подобрать тип вентилятора и определить мощность электродвигателя.

Задача 2. Воздухообмен, обеспечивающий удаление избытков теплоты в цехе локомотивного депо, составляет 164000 кг/ч. Определить площади приточных и вытяжных фрамуг, если расстояние между центрами фрамуг H = 8 м, $t_в$ = 23,3 С, $t_{ух}$ = 31,3 С, $t_н$ =20,3 С. Соотношение площадей приточных F_1 и вытяжных F_2 фрамуг составляет 1,25.

Задача 3. Рассчитать воздушную завесу у ворот локомотивного депо, выполненную по схеме с забором внутреннего воздуха и подачей его в завесу без подогрева. Размеры ворот: ширина B = 3,6 м, высота H = 3,0 м.

Расчетные температуры наружного и внутреннего воздуха соответственно составляют $t_н$ = –22 °C; $t_в$ = –12 °C.

Задача 4. Рассчитать воздушно-тепловую завесу для административного здания локомотивного депо при заборе внутреннего воздуха на завесу. Исходные данные: $t_н$ = –24 ° С; $r_н$ = 1,45 кг/м^3; $h_{л.к}$ = 8 м; $t_в$ = 14 ° С; $r_в$ = 1,24 кг/м^3; $h_{эт}$ = 3 м; $H_{дв}$ = 2,5 м; $F_{вх}$ = 2 м^2; количество проходящих людей n = 800 чел/ч; К = 0,38; $m_{вх}$ = 0,1 для входных вращающихся дверей; $t_у$ = 50° С.

Задача 5. Рассчитать очистку запыленного воздуха в рукавных фильтрах, если объем воздуха Q составляет 275000 м^3/ч. Подобрать марку рукавного фильтра, определить их необходимое число и воздушную нагрузку.

Задача 6. Определить максимальную глубину разработки в суглинке, при которой будет обеспечена ее устойчивость, если требуемый угол откоса разработки равен 65^0.

Задача 7. Для предупреждения обрушения грунтовых масс при разработке котлована рассчитать допустимую крутизну откоса котлована. Исходные данные: глубина котлована – 15 м, вид грунта – песок.

Задача 8. Определить допустимую крутизну откоса выемки в глине глубиной 7 м при наличии нагрузки на поверхности 4 кПа.

Задача 9. Определить крутизну волноустойчивого неукрепленного откоса пойменной насыпи из песчаного грунта. Гранулометрический состав грунта приведен в табл. 4.5. Исходные данные: высота насыпи – 3 м, расчетный уровень воды (РУВ) – 2,8 м. Параметры волны: длина – 2 м, высота – 0,8 м.

Задача 10. В суглинке необходимо сделать траншею с вертикальными стенками глубиной 6 м. Рассчитать крепление траншеи. Для крепления применить доски толщиной 0,06 м.

Задача 11. В песке средней крупности необходимо сделать уступ с вертикальными стенками, глубиной 3 м. Рассчитать анкерное крепление стенки уступа. Для крепления намечено применить стойки диаметром 0,06 м и доски толщиной 0,05 м.

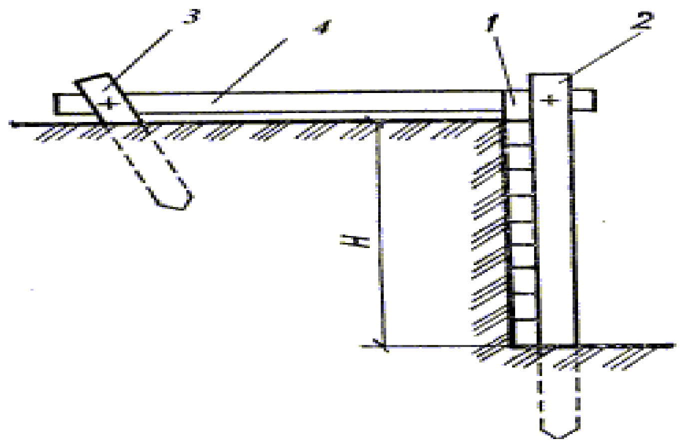


Рис. 4.5 – Анкерное крепление вертикальных стенок уступа: 1 – крепежные доски; 2 – стойка; 3 – анкер; 4 – затяжка

Задача 12. Подобрать стальные канаты для стропов с четырьмя ветвями при подъеме грузов с максимальным весом 60 кН при вертикальном и наклонном положении стропов.

Задача 13. Подобрать канаты для временного раскрепления колонны при помощи четырех растяжек. Высота колонны – 10,4 м; сечение – 0,5ґ 0,5 м; масса – 3300 кг.

Задача 14. Оценить устойчивость башенного крана при подъеме груза весом 12 кН с учетом дополнительных нагрузок и уклона пути (рис. 6.7). Исходные данные: G = 20 кН; c = 0,30 м; v = 0,5 м/с; t = 5 с; W_k = 150 Па; r = 15 м; $W_г$ = 50 Па; n = 0,2 мин$^{-1}$; h = 8 м; H = 25 м; a = 2° ; b = 2 м; a = 25 м; r_1 = 26 м.

Задача 15. Для предупреждения обрушения грунтовых масс при разработке котлована рассчитать допустимую крутизну откоса котлована. Исходные данные: глубина котлована – 9 м, вид грунта – глина.