

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Охрана труда»

А.М. Лазаренков, Л.П. Филянович, Т.П. Кот, Е.В. Мордик

ОХРАНА ТРУДА

Учебно-практическое пособие по расчетам в охране труда

(Электронное издание)

Минск 2018

УДК 331.45 (075.8)
ББК 65.247я73
В37

Рецензенты:

кафедра «Управление охраной труда»
БГАТУ (зав. кафедрой, доцент, к.т.н. Андруш В.Г.);
зав. кафедрой инженерной психологии и эргономики
БГУИР, доцент, к.т.н. Яшин К.Д.

Лазаренков, А.М. Учебно-практическое пособие по расчетам в охране труда // А.М. Лазаренков, Л.П. Филянович, Т.П. Кот, Е.В. Мордик. – Минск: БНТУ, 2018.

Изложены общие теоретические сведения об основных производственных факторах условий труда, таких как освещение, шум, вибрация, микроклимат, запыленность, загазованность, электробезопасность; нормировании рассматриваемых параметров производственной среды и методах и средствах защиты от их воздействия на работающих. Приведены методики расчетов различных параметров условий труда на рабочих местах предприятий, а также методика комплексной оценки условий труда работающих.

Предназначено в качестве учебного пособия для студентов всех специальностей при проведении практических занятий, изучении вопросов дисциплины, выполнении раздела «Охрана труда» дипломных проектов.

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел. (017)292-75-61
E-mail: ohranatruda@bntu.by
<http://www.bntu.by/mtf-ot/item/mtf-ot.html>
Регистрационный номер БНТУ/МТФ 35-42.2018

© БНТУ, 2018
© Лазаренков А.М.

СОДЕРЖАНИЕ

1. <u>МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ</u>	5
1.1. <u>Расчетные задания по теме</u>	17
2. <u>ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ</u>	25
2.1. <u>Вредные вещества, выделяющиеся при протекании технологических процессов</u>	30
2.2. <u>Расчетные задания по теме</u>	32
3. <u>ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ</u>	39
3.1. <u>Естественная вентиляция</u>	39
3.2. <u>Механическая вентиляция</u>	40
3.3. <u>Расчетные задания по теме</u>	41
4. <u>ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ</u>	49
4.1. <u>Нормирование освещения</u>	50
4.2. <u>Методы расчета освещения</u>	55
4.2.1. <u>Принципы расчета естественного освещения</u>	55
4.2.2. <u>Принципы расчета искусственного освещения</u>	60
4.3. <u>Расчетные задания по теме</u>	69
5. <u>ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ</u>	74
5.1. <u>Источники, характеристика и классификация шума</u>	74
5.2. <u>Воздействие шума на организм человека</u>	77
5.3. <u>Нормирование шума</u>	78
5.4. <u>Способы и средства защиты от шума</u>	82
5.5. <u>Оценка эффективности мероприятий по снижению шума</u>	84
5.6. <u>Расчетные задания по теме</u>	87
6. <u>ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ВИБРАЦИЯ</u>	90
6.1. <u>Источники, характеристика и классификация вибрации</u>	90
6.2. <u>Воздействие вибрации на организм человека</u>	94
6.3. <u>Нормирование вибрации</u>	95
6.4. <u>Методы обеспечения вибробезопасных условий</u>	100
6.5. <u>Расчетные задания по теме</u>	101
7. <u>ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ</u>	109
7.1. <u>Источники электромагнитных полей и их характеристика</u>	109
7.2. <u>Воздействие электромагнитных полей на организм человека</u>	109
7.3. <u>Нормирование электромагнитных полей</u>	110
7.4. <u>Методы измерения и контроля электромагнитных полей на рабочих местах</u>	113
7.5. <u>Методы защиты работающих от электромагнитных полей</u>	114
7.6. <u>Расчетные задания по теме</u>	115
8. <u>ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ</u>	122
8.1. <u>Действие электрического тока на организм человека</u>	122
8.2. <u>Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током</u>	124

8.3. <u>Анализ условий поражения человека электрическим током</u>	125
8.4. <u>Классификация помещений по опасности поражения электрическим током</u>	129
8.5. <u>Меры защиты от поражения электрическим током</u>	130
8.6. <u>Электрозащитные средства</u>	134
8.7. <u>Расчетные задания по теме</u>	142
9. <u>АТТЕСТАЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ ПО УСЛОВИЯМ ТРУДА</u>	154
9.1. <u>Общие сведения об аттестации рабочих мест по условиям труда</u>	154
9.2. <u>Оценка условий труда</u>	163
9.3. <u>Задание по теме</u>	177
10. <u>АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ТРАВМАТИЗМА И ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ И ОХРАНЫ ТРУДА</u>	183
10.1. <u>Расчет суммарных экономических потерь предприятия, связанных с травматизмом и заболеваемостью</u>	183
10.2. <u>Расчет эффективности предлагаемых мероприятий по улучшению условий труда</u>	186
10.3. <u>Расчетные задания по теме</u>	187
<u>Литература</u>	190

1. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Микроклимат – комплекс физических факторов, воздействующих на тепловое состояние и теплообмен человека с окружающей средой, и влияющих на его самочувствие, здоровье, работоспособность.

Нагревающий микроклимат – сочетание параметров производственного микроклимата, формирующегося при функционировании на рабочих местах источников ИК-излучения (открытое пламя, плавильные, нагревательные печи, сушильные камеры, нагретые, расплавленные металл, стекломасса и другие виды сырья, электрогазосварка, нагретые поверхности оборудования, инсоляция при температуре наружного воздуха $+25^{\circ}\text{C}$ и выше).

Рабочей зоной является пространство до 2 м по высоте от уровня пола или площадки с местами постоянного или временного пребывания работающих. Постоянным считается рабочее место, на котором работающий находится более 50 % рабочего времени за смену или более 2 ч непрерывно.

Показателями, характеризующими микроклимат в рабочей зоне производственных и офисных помещений, являются:

- температура воздуха T , $^{\circ}\text{C}$;
- температура поверхностей (учитывается температура поверхностей ограждающих конструкций (стены, потолок, пол), устройств (экраны и другое), а также технологического оборудования или ограждающих его устройств);
- относительная влажность воздуха φ , %;
- скорость движения воздуха v , м/с;
- интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей оборудования, изделий и открытых источников J , $\text{Вт}/\text{м}^2$;
- тепловая нагрузка среды.

Если рабочее место находится на расстоянии до 2 м от поверхности ограждающих конструкций (стены, потолок, пол), от устройств (экраны и другое), а также от технологического оборудования или ограждающих его устройств, то дополнительно нормируется (измеряется) температура этих поверхностей.

Влияние параметров микроклимата на условия труда. Человек постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. Для того чтобы физиологические процессы в организме протекали нормально, выделяемое организмом тепло Q должно отводиться в окружающую человека среду. Нормальное тепловое самочувствие (комфортные условия), соответствующее данному виду работы, обеспечивается при соблюдении теплового баланса:

$$Q = Q_T + Q_{\text{И}} + Q_{\text{К}} + Q_{\text{ИСП}} + Q_{\text{В.В.}}$$

где Q_T – тепло, отдаваемое путем теплопроводности;

- $Q_{\text{и}}$ – тепло, отдаваемое путем излучения;
- $Q_{\text{к}}$ – тепло, отдаваемое путем конвекции;
- $Q_{\text{исп}}$ – тепло, отдаваемое путем испарения влаги с поверхности кожи;
- $Q_{\text{в.в.}}$ – тепло, расходуемое на нагрев вдыхаемого воздуха.

Количество тепла, отдаваемое организмом человека каждым из этих путей, зависит от величины параметров микроклимата. Так, теплоотдача конвекцией зависит от температуры окружающего воздуха и скорости его движения на рабочем месте. Излучение теплоты происходит в направлении окружающих человека поверхностей, имеющих более низкую температуру, чем температура поверхности одежды (+27...+31 °С) и открытых частей тела человека (+33,5 °С). При высоких температурах окружающих поверхностей (+30...+35 °С) теплопередача излучением и конвекцией полностью прекращается, а при более высоких температурах большая часть тепла отдается путем испарения пота. Заметное количество влаги испаряется организмом через дыхательные пути (примерно 1/3 общих потерь влаги и к отдаче 10-20 % общего количества теряемого тепла). Испарение через дыхательные пути возрастает с увеличением легочной вентиляции, а также с понижением температуры воздуха.

Организм человека обладает механизмом *терморегуляции*, т. е. способен поддерживать температуру тела на постоянном уровне при изменении параметров микроклимата и при выполнении различной по тяжести работы. Однако если уравнение теплового баланса длительное время не соблюдается, то наступает расстройство механизма терморегуляции, что приводит к тепловому истощению (слабость, тошнота, вялость), тепловым судорогам или тепловому удару.

Сердечно-сосудистая система при действии высоких температур испытывает большое напряжение: изменяются состав и свойства крови (повышается вязкость, содержание гемоглобина и эритроцитов), что связано с нарушением водного обмена, сгущением и перераспределением крови (усиливается кровоснабжение кожи и подкожной клетчатки), влиянием повышенной температуры на сердечную мышцу и тонус сосудов. Отрицательное влияние высокой температуры на центральную нервную систему проявляется в ослаблении внимания, замедлении реакций, ухудшении координации движений, что может быть причиной снижения производительности труда и роста травматизма. *Меры первой помощи* сводятся в основном к предоставлению заболевшему условий, способствующих восстановлению теплового баланса: покой, прохладные души, ванны.

Особенно неблагоприятные условия наступают в том случае, если наряду с высокой температурой в помещении наблюдается повышенная влажность, ускоряющая возникновение перегрева организма. *Повышенная влажность* ($\varphi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию вследствие снижения испарения пота, а слишком низкая ($\varphi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей. Оптимальные величины относительной влажности составляют 40-60 %.

Движение воздуха в помещениях является важным фактором, влияющим на тепловое самочувствие человека. В жарком помещении движение воздуха способствует увеличению отдачи тепла организмом и улучшает его состояние, но оказывает неблагоприятное воздействие при низкой температуре воздуха в холодное время года. *Минимальная скорость движения воздуха* v , ощущаемая человеком, составляет 0,2 м/с. В зимнее время года она не должна превышать 0,2-0,5 м/с, а в летнее время года – 0,5-1,0 м/с. В горячих цехах допускается увеличение скорости обдува рабочих (воздушное душирование) до 3,5 м/с.

Значительный перепад температур и большая подвижность воздуха приводят к переохлаждению организма и возникновению простудных заболеваний, радикулиту, функциональным сдвигам в сердечно-сосудистой системе и т. д. Особенно эти процессы усиливаются при повышенной влажности и скорости движения воздуха, поэтому в рабочей зоне должны обеспечиваться показатели микроклимата, сохраняющие тепловой баланс человека с окружающей средой, т. е. поддерживаться оптимальные или допустимые микроклиматические условия.

Тепловые излучения. Тепловое излучение (инфракрасное излучение) представляет собой невидимое электромагнитное излучение с длиной волны от 0,76 до 540 нм, обладающее волновыми, квантовыми свойствами. По длине волны инфракрасные лучи делят на коротковолновую (менее 1,4 мкм), средневолновую (1,4-3 мкм), длинноволновую (более 3 мкм) область. Инфракрасное излучение от нагретых тел, имеющих температуру выше 100 °С, является источником коротковолнового инфракрасного излучения. С уменьшением температуры нагретого тела (50-100 °С) излучение характеризуется в основном длинноволновым спектром. В зависимости от длины волны изменяется проникающая способность инфракрасного излучения. Наибольшую проникающую способность имеет коротковолновое инфракрасное излучение, которое проникает в ткани человеческого тела на глубину в несколько сантиметров. Инфракрасные лучи длинноволнового диапазона задерживаются в поверхностных слоях кожи.

Воздействие инфракрасного излучения может быть общим и локальным. Основная реакция организма на инфракрасное облучение – изменение температуры облучаемых и удаленных участков тела. При длинноволновом излучении повышается температура поверхности тела, а при коротковолновом – изменяется температура легких, головного мозга, почек и т. п. Воздействуя на мозговую ткань, коротковолновое излучение вызывает так называемый «солнечный удар» (ощущение головной боли, головокружение, учащение пульса и дыхания, потемнение в глазах, нарушение координации движений, потеря сознания). При воздействии на глаза наибольшую опасность представляет коротковолновое излучение. Возможное последствие воздействия инфракрасного излучения на глаза – появление инфракрасной катаракты.

Оптимальные значения параметров микроклимата – установленные по критериям оптимального теплового состояния человека значения микрокли-

матических показателей, которые обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные значения параметров микроклимата в холодный и теплый периоды года необходимо соблюдать на рабочих местах производственных и офисных помещений, на которых выполняются работы, связанные с нервно-эмоциональным напряжением работника (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Оптимальные значения параметров микроклимата на рабочих местах производственных и офисных помещений

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

Допустимые значения параметров микроклимата – минимальные или максимальные значения микроклиматических показателей, установленных по критериям теплового состояния человека на период 8-часовой рабочей смены и не вызывающих повреждений или нарушений состояния здоровья, но способных приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности к концу смены.

Допустимые значения параметров микроклимата, воздействующие на работника непрерывно или суммарно за рабочую смену, в холодный и теплый периоды года устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные значения параметров микроклимата, устанавливаются в соответствии с величинами, представленными в табл. 1.2.

В производственных помещениях, в которых допустимые значения параметров микроклимата невозможно установить из-за технологических требований к производственному процессу или экономически обоснованной нецеле-

сообразности, микроклиматические условия должны рассматриваться как вредные и опасные, при которых нанимателю следует использовать меры защиты работников, включающие кондиционирование воздуха, воздушное душирование, применение средств индивидуальной защиты, создание помещений для отдыха и обогрева, а также регламентировать время работы во вредных условиях труда.

Таблица 1.2

Допустимые значения параметров микроклимата на рабочих местах производственных и офисных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температуры воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температуры воздуха выше оптимальных величин, не более
холодный	Ia	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
	Iб	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
	IIa	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
	IIб	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0	15-75	0,2	0,4
	III	13,0-15,9	18,1-21,0	12,0-22,0	15-75	0,2	0,4
теплый	Ia	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1	0,2
	Iб	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-28,0	15-75	0,1	0,3
	IIa	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75	0,1	0,4
	IIб	16,0-17,9	21,1-27,0	15,0-28,0	15-75	0,2	0,5
	III	15,0-16,9	20,1-26,0	14,0-27,0	15-75	0,2	0,5

Нормирование параметров микроклимата. Оптимальные или допустимые значения параметров микроклимата устанавливаются ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и Санитарными нормами и правилами «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях» и Гигиеническим нормативом «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений» (утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30.04.2013 г. № 33) с учетом периода года и характеристики (категории) выполняемых работ по интенсивности энергозатрат.

Санитарные нормы и правила устанавливают требования к оптимальным и допустимым параметрам микроклимата на рабочих местах в производственных и офисных помещениях с целью предотвращения неблагоприятного воздействия его на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека.

Производственные и офисные помещения – замкнутые пространства в специально предназначенных сооружениях, в которых постоянно (по сменам)

или периодически в течение рабочего дня осуществляется трудовая деятельность людей.

Периоды года условно разделены на: *теплый период года* – промежуток времени, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше +10 °С; *холодный период года* – промежуток времени, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной +10 °С и ниже.

Среднесуточная температура наружного воздуха – средняя величина температуры наружного воздуха, измеренная в определенные часы суток через одинаковые интервалы времени, которая принимается по данным метеорологической службы.

Категории работ разграничиваются на основе интенсивности общих энергозатрат организма в процессе труда в ккал/ч (Вт).

К категории Ia относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборо- и машиностроения, на часовом и швейном производствах, в офисе, сфере управления и подобные).

К категории Ib относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121-150 ккал/ч (140-174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера в различных видах производства и подобные).

К категории IIa относятся работы с интенсивностью энергозатрат 151-200 ккал/ч (175-232 Вт), связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (ряд профессий в механосборочных цехах машиностроительных предприятий, прядильно-ткацком производстве и подобные).

К категории IIб относятся работы с интенсивностью энергозатрат 201-250 ккал/ч (233-290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнечных, термических, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий и подобные).

К категории III относятся работы с интенсивностью энергозатрат более 250 ккал/ч (более 290 Вт), связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие значительных физических усилий (ряд профессий в кузнечных цехах с ручной ковкой, литейных цехах с ручной набивкой и заливкой опок машиностроительных и металлургических предприятий и подобные).

В местах пребывания работников в течение смены, в зависимости от характеристики выполняемых работ по интенсивности энергозатрат должны поддерживаться оптимальные или допустимые значения параметров микроклимата в соответствии с табл. 1.1 и 1.2.

Перепады температуры воздуха по вертикали и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин параметров микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2 °С и выходить за пределы величин для отдельных категорий работ, указанных в табл. 1.1.

При обеспечении допустимых значений параметров микроклимата на рабочих местах, перепад температуры воздуха по вертикали не должен превышать 3 °С, а по горизонтали должен соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.3 для соответствующей категории работ.

Таблица 1.3

Допустимые значения перепада температуры воздуха в течение смены по горизонтали в зависимости от категории энергозатрат работы

Категория работы	Перепад температуры в °С, не более
Ia и Ib	4
IIa и IIб	5
III	6

Показатели скорости движения воздуха и относительной влажности при температуре воздуха, превышающей допустимые по табл. 1.2 должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.4 и 1.5.

Таблица 1.4

Допустимые значения диапазона скорости движения воздуха в зависимости от категории энергозатрат работы при температуре воздуха на рабочих местах в пределах от 26 до 28 °С

Категория работы	Скорость движения воздуха, м/с
Ia	0,1-0,2
Iб	0,1-0,3
IIa	0,2-0,4
IIб и III	0,2-0,5

Таблица 1.5

Значения максимально допустимых величины относительной влажности воздуха при температуре воздуха на рабочих местах от 25 °С и выше

Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %
25	70
26	65
27	60
28	55

Температура наружных поверхностей технологического оборудования, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе работы работник, не должна превышать +45 °С.

Допустимые значения интенсивности теплового облучения работников от производственных источников должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Допустимые значения интенсивности теплового облучения поверхности тела работника от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Допустимая интенсивность теплового облучения, не более, Вт/м ²
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

При облучении не более 25% поверхности тела работающих от источников излучения, нагретых до красного и белого свечения (раскаленный или расплавленный металл, пламя и другое), допустимые величины интенсивности теплового облучения не должны превышать 140 Вт/м². При этом обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

При наличии теплового облучения работников температура воздуха на рабочих местах в зависимости от категории работ не должна превышать величин, приведенных в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Допустимые значения температуры воздуха при наличии теплового облучения работника в зависимости от категории энергозатрат работы

Категория работ	Температура воздуха, °С
Ia	не более 25
Iб	не более 24
IIa	не более 22
IIб	не более 21
III	не более 20

Для оценки сочетанного действия параметров микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловое облучение) в целях осуществления мероприятий по защите работников от возможного перегревания допускается использовать значения интегрального показателя тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс), выраженного одночисловым показателем в °С, измерения и оценка которого аналогичны методам измерения и контроля температуры воздуха. ТНС-индекс следует использовать для интегральной оценки тепловой нагрузки среды на рабочих местах, на которых скорость движения воздуха не превышает 0,6 м/с, а интенсивность теплового облучения – менее 1200 Вт/м².

Требования к организации работы при температуре воздуха выше или ниже допустимых величин. При температуре воздуха выше или ниже допустимых величин, наниматель, наравне с использованием мер защиты от воздействия температуры воздуха, должен принимать меры организационного характера по регулированию времени пребывания работников в этих условиях в соответствии с табл. 1.8 и 1.9.

Таблица 1.8

Предельное время пребывания работника на рабочем месте при температуре воздуха выше допустимых величин

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания при категории работ не более, ч		
	Ia-Iб	IIa-IIб	III
32,5	1	–	–
32,0	2	–	–
31,5	2,5	1	–
31,0	3	2	–
30,5	4	2,5	1
30,0	5	3	2
29,5	5,5	4	2,5
29,0	6	5	3
28,5	7	5,5	4
28,0	8	6	5
27,5	–	7	5,5
27,0	–	8	6
26,5	–	–	7
26,0	–	–	8

Таблица 1.9

Предельное время пребывания работника на рабочем месте при температуре воздуха ниже допустимых величин

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания при категории работ не более, ч				
	Ia	Iб	IIa	IIб	III
6	–	–	–	–	1
7	–	–	–	–	2
8	–	–	–	1	3
9	–	–	–	2	4
10	–	–	1	3	5
11	–	–	2	4	6
12	–	1	3	5	7
13	1	2	4	6	8
14	2	3	5	7	–
15	3	4	6	8	–
16	4	5	7	–	–
17	5	6	8	–	–
18	6	7	–	–	–
19	7	8	–	–	–
20	8	–	–	–	–

Среднесменная температура воздуха, при которой работник находится в течение смены на рабочем месте и местах отдыха, не должна выходить за пределы допустимых значений температуры воздуха, указанных в табл. 1.2 для соответствующих категорий работ.

При температуре воздуха выше или ниже допустимых значений, относительная влажность, скорость движения воздуха на рабочих местах должны соответствовать допустимым значениям, приведенным в табл. 1.4 и 1.5.

Мероприятия по оздоровлению воздушной среды и оптимизации параметров микроклимата. Требуемое состояние воздушной среды в рабочей зоне может быть обеспечено механизацией и автоматизацией производственных процессов, дистанционным управлением; устройством систем вентиляции и отопления; защитой от источников тепловых излучений (теплоизоляция нагретых поверхностей, экранирование источников излучения и рабочих мест, использование индивидуальных средств защиты, рациональный режим труда и отдыха).

Теплоизоляция является эффективным средством уменьшения не только интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей, но и общих тепловыделений. Для теплоизоляции применяют разнообразные материалы (специальный бетон и кирпич, минеральную и стеклянную вату) и конструкции из них. Теплоизоляция должна быть выполнена так, чтобы температура наружных поверхностей технологического оборудования не превышала +45 °С.

Экранирование – устройство оградительных конструкций на пути распространения инфракрасных излучений. Экраны по характеру действия делятся на теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие. Теплоотражающие экраны используются для отражения тепловыделений от поверхностей печей, наружных поверхностей кабин управления, кранов и изготавливаются из листового алюминия, белой жести и алюминиевой фольги, укрепленной на несущем материале – картоне, сетке. Используются также экраны из силикатного закаленного стекла с пленочным окисно-оловянным покрытием и легированными добавками. К теплоотражающим экранам относятся металлические сетки (ячейки 3-5 мм), цепные звенья, армированное стекло, водяные завесы.

Требования к организации контроля и методам измерения значений показателей микроклимата в производственных и офисных помещениях. Организация контроля за состоянием показателей микроклимата рабочих мест в производственных и офисных помещениях должна соответствовать Санитарным нормам и правилам «Требования к условиям труда работающих и содержанию производственных объектов», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 08.07.2016 г. № 85.

Измерения показателей микроклимата проводятся в холодный период года – в дни с температурой наружного воздуха, отличающейся от средней

температуры наиболее холодного месяца зимы, не более чем на 5 °С, в теплый период года – в дни с температурой наружного воздуха, отличающейся от средней температуры наиболее жаркого месяца, не более чем на 5 °С. Частота измерений в оба периода года определяется стабильностью производственного процесса, функционированием технологического и санитарно-технического оборудования.

При выборе участков и времени измерения необходимо учитывать все факторы, влияющие на микроклимат рабочих мест (фазы технологического процесса, функционирование систем вентиляции и отопления и другое). Измерения показателей микроклимата следует проводить не менее 3 раз в смену (в начале, в середине и в конце). При работах, выполняемых сидя, температуру и скорость движения воздуха следует измерять на высоте 0,1 м и 1,0 м, а относительную влажность воздуха – на высоте 1,0 м от пола или рабочей площадки. При работах, выполняемых стоя, температуру и скорость движения воздуха следует измерять на высоте 0,1 м и 1,5 м, а относительную влажность воздуха – на высоте 1,5 м.

При наличии источников лучистого тепла тепловое излучение на рабочем месте необходимо измерять от каждого источника, располагая приемник прибора перпендикулярно падающему потоку. Измерения следует проводить на высоте 0,5 м; 1,0 м и 1,5 м от пола или рабочей площадки. Температуру поверхностей следует измерять в случаях, когда рабочие места удалены от них на расстояние не более двух метров.

Требования к производственным помещениям и организации технологических процессов и ведению работ в условиях нагревающего микроклимата, режимам труда и отдыха, санитарно-бытовому обеспечению работающих. Согласно санитарным нормам и правилам «Требования к организации и ведению работ в условиях нагревающего микроклимата», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2015 г. № 136, снижение неблагоприятного воздействия нагревающего микроклимата, при котором происходит нарушение теплообмена с накоплением тепла в организме, увеличение потерь тепла испарением, появление дискомфортных теплоощущений, осуществляется на основе санитарно-технических, архитектурно-планировочных, организационно-технологических, медико-профилактических мер, а также применением средств коллективной и индивидуальной защиты. На рабочих местах предусматриваются меры по снижению тепловых нагрузок, связанных как с технологическим процессом, так и воздействием высоких наружных температур, инсоляции, в том числе носящих временный характер.

Для защиты работающих от повышенных температур ИК-излучения должны предусматриваться методы и средства механизации, автоматизации, дистанционного управления технологическими процессами и оборудованием, рациональное планирование производственных помещений с тепловыделяющим оборудованием.

Размещение технологического оборудования и способы его обслуживания должны обеспечивать минимально возможное время пребывания работающего в зоне ИК-излучения, параметры которого превышают допустимые уровни на рабочем месте; оптимизацию времени нахождения в условиях влияния повышенных температур ИК-излучения. На непостоянных рабочих местах должна быть обеспечена разработка оптимальных маршрутов обхода и обслуживания технологического оборудования.

Сушильные камеры, нагретые поверхности паропроводов, трубопроводов, иные виды тепловыделяющего оборудования и источники ИК-излучения должны быть обеспечены устройствами и приспособлениями, предотвращающими или ограничивающими выделение тепла в производственное помещение, с использованием методов герметизации, теплоизоляции, экранирования, отведения тепла. Для снижения влияния ИК-излучения должны применяться стационарные или переносные теплоотражающие, теплопоглощающие, теплоотводящие экраны, щиты, «водные занавески», ширмы и иные средства защиты работающих от избыточного ИК-излучения и сохраняющие теплозащитные качества при их эксплуатации.

В производственных помещениях с нагревающим микроклиматом должна применяться естественная вентиляция с расположением аэрационных фонарей и шахт непосредственно над основными источниками тепла. Помещения, в которых параметры микроклиматических условий не могут быть обеспечены естественной вентиляцией, а также помещения и зоны без возможности проветривания, должны быть оборудованы системами механической вентиляции, устройствами кондиционирования.

Для удаления тепловыделений от единичных, локализованных источников тепла на рабочих местах должны применяться кожухи с механическим отсосом, вытяжные зонты, локальные отсосы. Кондиционирование должно применяться в замкнутых и небольших по объему производственных помещениях при выполнении операторских и иных работ на постах и пультах управления, в изолированных боксах, кабинах кранов, а также комнатах отдыха.

Защита работающих от перегрева. Осуществляется такая защита уменьшением времени пребывания работника в условиях нагревающего микроклимата, если особенности технологического процесса, инсоляция не позволяют обеспечить допустимые параметры производственного микроклимата. При выполнении работ в условиях нагревающего микроклимата должна быть предусмотрена регламентация времени работ и продолжительность перерывов для отдыха и питания работающих.

Аварийно-восстановительные работы, выполняемые внутри печей, других тепловых агрегатов, допускаются при температуре воздуха внутри не выше +40 °С и температуре нагретых поверхностей ограждений не выше +45 °С.

В целях предупреждения заболеваний, связанных с влиянием повышенных температур, работники проходят обязательные медицинские осмотры.

При работах в условиях воздействия высоких температур, в том числе в условиях инсоляции на открытой территории, должны быть предусмотрены комнаты, кабины для отдыха и питания работников, дополнительных специальных перерывов.

Работающие в условиях повышенных температур обеспечиваются средствами индивидуальной защиты с учетом характера проводимых работ. При работах в условиях нагревающего микроклимата работающие обеспечиваются питьевой водой с температурой в пределах 8-20° С. При отсутствии хозяйственно-питьевого водопровода работающие должны быть обеспечены бутилированной питьевой водой (не менее 3 л в смену на одного работника). Для работающих в условиях нагревающего микроклимата должны быть оборудованы сатураторные установки, «кулеры» и другие питьевые установки, расположенные не далее 75 м от рабочих мест.

1.1. Расчетные задания по теме

Задача 1.1. Определить интенсивность теплового потока, идущего от источника; подобрать защитный экран и проверить его эффективность. Исходные данные для расчета принимаются по табл. 1.10. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 1.10

Исходные данные для расчета интенсивности излучения технологического оборудования

№ варианта	Источник излучения	$T, ^\circ\text{C}$	Площадь $F, \text{ м}^2$, источника или его размеры, м	$l, \text{ м}$
1	Разливка стали из печи в ковш	1540	0,25	6,0
2	Разливка чугуна из вагранки в ковш	1320	0,09	4,0
3	Заливка кокилей алюминием вручную	700	0,02	1,2
4	Печь отжига	860	0,4 × 0,7	3,0
5	Печь кузнечная	1000	0,3 × 0,5	2,5
6	Приемка горячего металла (блюминг)	950	1,6	4,5
7	Рабочее место оператора ПРНА	800	0,2	4,0
8	Рабочее место плавильщика дуговой электропечи	1500	1,2	9,0
9	Рабочее место плавильщика тигельной электропечи	950	0,16	1,7
0	Рабочее место термиста при загрузке-выгрузке деталей в печь	780	0,5 × 1,2	2,6

Порядок расчета

1. Исходя из заданного источника излучения и необходимости его обслуживания рабочим определить нормативную величину интенсивности теплового облучения.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), не должны превышать 140 Вт/м^2 . При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела.

2. Определить отношение $//F$.

3. Рассчитать фактическую интенсивность теплового потока от источника тепловых излучений по одной из следующих формул:

$$q = 3,26 F \frac{\left(\frac{T}{100}\right)^4 - 110}{l^2} \quad \text{при } //F \geq 1;$$

$$q = 3,26 \sqrt{F} \frac{\left(\frac{T}{100}\right)^4 - 110}{l} \quad \text{при } //F < 1;$$

где q – интенсивность теплового потока, Вт/м^2 ;

F – площадь излучающей поверхности, м^2 ;

T – температура излучающей поверхности, $^{\circ}\text{C}$;

l – расстояние от центра излучающей поверхности до облучаемого объекта, м.

4. Если по данным расчета наблюдается превышение допустимой величины интенсивности, по табл. 1.11 подобрать защитный экран, учитывая при этом и температуру источника излучения.

При значениях интенсивности теплового излучения, превышающих нормативные величины, необходимо учитывать время, в течение которого организм человека может переносить тепловую радиацию. Степень переносимости человеком тепловой радиации приведена в табл. 1.12.

5. Определить эффективность выбранного экрана теплозащитного экрана по формуле:

$$\gamma = \frac{q_0 - q_1}{q_0} \cdot 100\%,$$

где q_0 – интенсивность теплового излучения источника, Вт/м^2 ;

q_1 – интенсивность теплового излучения за экраном, Вт/м^2 .

Таблица 1.11

Характеристика теплозащитных экранов

Экраны, их назна- чение	Вид	Конструктивные особенности	Кoeffици- ент про- пускания излучений	Условия применения	
				облучен- ность, кВт/м ²	температура источника, °С
1	2	3	4	5	6
Экраны для лока- лизации излучений непрозрач- ные	Теплоот- водящие	Полостные плиты- коробки (с проточной во- дой, с воздушным охлаж- дением и т.п.)	0,07	4,9-14	200-1200
		Заслонка сварная, футе- рованная огнеупором, с водяным охлаждением	0,12	14	1800-2000
		Металлический лист, омываемый водой	0,12	0,7-3,5	300
	Теплопо- глотитель- ные	Заслонка литая, футеро- ванная кирпичом или те- плоизолирующим мате- риалом	0,70	3,5-7	800-900
		Щит металлический, фу- терованный кирпичом	0,70	3,5-10,5	400-600
		Завесы из стеклоткани	0,5	0,7-3,5	400
	Теплоот- ражатель- ные	Экран из алюминиевых листов одинарный	0,15	0,7-3,5	800
		Экран из алюминиевых листов многослойный с продувом водовоздушной смесью	0,10	3,5-10,5	1400
	Комбини- рованные	Экран из алюминия на перлите	0,03	3,5-7	1200
	Экраны для лока- лизации излучений полупро- зрачные	Теплоот- водящие	Цепная завеса, орошаемая водой	0,20	0,7-8,4
Теплопо- глотитель- ные		Цепная завеса	0,40	0,7-4,9	1000
		Стекло с металлической сеткой	0,30	0,7-4,9	1000
Экраны для лока- лизации излучений прозрач- ные	Теплоот- водящие	Завеса водяная	0,10	0,35-4,9	900
	Теплопо- глотитель- ные	Вододисперсная завеса	0,40	3,5-7	1800
		Стекло-сталинит одинар- ное	0,37	0,7-1,4	1000
		Стекло оконное одинар- ное (2 мм)	0,49	0,7-1,4	800
		Оргстекло сине-зеленое толщиной 5 мм	0,30	3,5-4,9	1000
	Теплоот- ражатель- ные	Стекло с пленочным по- крытием из окислов ме- таллов оловянно- сурьмяное «Затос»	0,12	0,7-11,9	1300

Таблица 1.12

Степень переносимости человеком тепловой радиации

Интенсивность тепловой радиации, Вт/м ²	Переносимость (время)
560	неопределенно долго
840	До 6 мин
1400	2,5-5 мин
2100	40-60 с
2800	30-40 с
3500	10-30 с
7000	5-11 с
8750	3-8 с
10500	3-7 с
14000	1-5 с

Задача 1.2. Определить тепlopоступления от нагревательной печи при открытой дверце, а также интенсивность облучения рабочего, находящегося на расстоянии $x = 2,5$ м от этой дверцы. При расчете учесть следующие данные: степень черноты абсолютно черного тела $C_0 = 5,78$ Вт/(м²·К⁴); абсолютная температура газов в печи $T_{\text{печ}} = 273+900=1173$ К; 900 – температура в печи, °С; толщина стенки печи δ , м; отверстие дверец F и продолжительность t открывания отверстия в течение каждого часа принимаются из табл. 1.13. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 1.13

Исходные данные для расчета

Исходные данные	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
δ , м	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5
$F = a \times b$, м ²	0,4×0,6	0,5×0,6	0,4×0,7	0,5×0,7	0,4×0,6	0,5×0,8	0,5×0,8	0,4×0,6	0,5×0,7	0,4×0,6
t , мин	7	6	8	9	10	5	6	8	5	9

Порядок расчета

1. Определить интенсивность излучения из открытого отверстия по формуле:

$$q_{\text{отв}} = C_0 \left(\frac{T_{\text{печ}}}{100} \right)^4, \text{ Вт/м}^2,$$

где C_0 – степень черноты абсолютно черного тела, Вт/(м²·К⁴);

$T_{\text{печ}}$ – абсолютная температура газов в печи, К.

2. Определить коэффициент облучения по формуле:

$$\varphi_{\text{отв}} = \frac{\varphi'_{\text{отв}} + \varphi''_{\text{отв}}}{2},$$

где $\varphi'_{\text{отв}}$ зависит от δ/a и от δ/b .

Толщина стенки печи принимается:

δ/a или $\delta/b \dots$	0,4	1,0	1,4	2,0	2,4
$\varphi'_{\text{отв}}$ или $\varphi''_{\text{отв}} \dots$	0,83	0,65	0,57	0,5	0,45

3. Определить интенсивность теплового излучения из отверстия в помещение по формуле:

$$q_{\text{отв}} = \varphi_{\text{отв}} \cdot q'_{\text{отв}}, \text{ Вт/м}^2.$$

4. Определить теплоступление из отверстия печи, открываемого на t мин в течение каждого часа по формуле:

$$Q_{\text{отв}} = q_{\text{отв}} \cdot F \cdot \frac{t}{60}, \text{ Вт.}$$

5. Определить наибольшую интенсивность теплового облучения рабочего, находящегося на расстоянии $\chi = 1$ м, по формуле:

$$q_{\text{рм}} = \varphi_{\text{рм}} \cdot \varphi_{\text{отв}} \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T_{\text{печ}}}{100} \right)^4 \cdot F = \varphi_{\text{рм}} \cdot q_{\text{отв}} \cdot F, \text{ Вт/м}^2,$$

где $\varphi_{\text{рм}}$ – коэффициент облучения, определяется в зависимости от отношения χ/\sqrt{F} :

$\chi/\sqrt{F}, \text{ м} \dots$	0,4	1,2	2,0	2,8	3,6	4,8
$\varphi_{\text{рм}} \dots$	0,4	0,12	0,05	0,03	0,02	0,01

6. Результаты расчета интенсивности облучения сравнить с допустимым значением интенсивности. Если они превышают ее, предложить мероприятия по снижению облучения (кондиционирование воздуха, воздушное душирование, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, перерывы в работе и др.).

Задача 1.3. Выполнить расчет воздушного душирования при избытке тепла. Исходные данные для расчета принимаются по табл. 1.14. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Исходные данные для расчета

Исходные данные	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Категория тяжести работ	средней тяжести	тяжелая	средней тяжести	тяжелая	средней тяжести	тяжелая	средней тяжести	тяжелая	средней тяжести	тяжелая
Температура воздуха в рабочей зоне, t_{pz} , °С	35	32	34	32	34	35	31	33	34	35
Температура воздуха на выходе из оросительной камеры после адиабатического охлаждения, $t_{охл}$, °С	18	19	20	17,5	20	18	19,5	20	18,5	18
Нагрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах между оросительной камерой и душирующим патрубком, $\Delta t_{п}$, °С	2	1,5	2	1,7	1,8	2	1,9	1,5	1,8	2
Расстояние от душирующего патрубка до рабочей зоны, χ , м	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Порядок расчета

1. Определить отношение разностей температур по формуле:

$$P_T = \frac{t_{pz} - t_p}{t_p - t_0},$$

где t_{pz} – температура воздуха в рабочей зоне, °С;

t_p – рекомендуемая температура воздуха на рабочем месте, °С (выбирается по табл. 1.15);

$t_0 = t_{охл} + \Delta t_{п}$ – температура воздуха на выходе из душирующего патрубка, °С;

$t_{охл}$ – температура воздуха на выходе из оросительной камеры после адиабатического охлаждения, °С;

$\Delta t_{п}$ – нагрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах между оросительной камерой и душирующим патрубком, принимается не менее 1,5 °С.

Рекомендуемые температура и скорость движения воздуха
при воздушном душировании

Категория тяжести работ	Рекомендуемая температура воздуха на рабочем месте, t_p , °C	Рекомендуемая скорость движения воздуха, v_p , м/с	Нормируемая температура воздуха в душирующей струе на рабочем месте, $t_{норм}$, °C, при интенсивности облучения, Вт/м ²			
			350	700	1400	2100
Легкая	28	1	28	24	21	16
		2	–	28	26	24
		3	–	–	28	26
		3,5	–	–	–	27
Средней тяжести	28	1	27	22	–	–
		2	28	24	21	16
		3	–	27	24	21
		3,5	–	28	25	22
Тяжелая	26	2	25	19	16	–
		3	26	22	20	18
		3,5	–	23	22	20

2. Если $P_T < 1$, то осуществляется адиабатическое охлаждение воздуха. Если $P_T \geq 1$, то применяется искусственное охлаждение воздуха.

3. Выбрать тип воздухораспределителя и определить коэффициенты m и n по табл. 1.16.

4. Определить сечение душирующего патрубка F_0 , м²;
если $P_T < 0,6$, F_0 рассчитывается по формуле:

$$F_0 = \left(\frac{P_T \cdot x}{0,6n} \right)^2,$$

где x – расстояние от душирующего патрубка до рабочей зоны, м;

n – коэффициент, характеризующий изменение температуры на оси струи (табл. 1.16).

если $P_T = 0,6 - 1$, F_0 рассчитывается по формуле:

$$F_0 = \left(\frac{x + 5,3P_T - 3,2}{0,75n} \right)^2,$$

если $P_T > 1$, F_0 рассчитывается по формуле:

$$F_0 = \left(\frac{x}{0,8m} \right)^2.$$

Таблица 1.16

Характеристики типовых душирующих воздухораспределителей

Тип воздухораспределителя	Марка	Расчетная площадь, $F_0, \text{м}^2$	Коэффициенты		
			m	n	ξ
Универсальный душирующий воздухораспределитель типа УДВ	УДВ-1	0,17	6	4,9	2,1
	УДВ-2	0,38			
	УДВ-3	0,68			
Патрубок поворотный душирующий типа ППД	ППД-5	0,1	6,3	4,5	4
	ППД-6	0,16			
	ППД-8	0,26			
Патрубок душирующий с увлажнением воздуха типа ПД с верхним и нижним подводом воздуха	ПДв-3	0,14	5,3	4,5	1,6
	ПДв-4	0,13			
	ПДв-5	0,36			
	ПДн-3	0,14	4,5	3,1	3,2
	ПДн-4	0,23			
	ПДн-5	0,36			

5. Зная F_0 , выбрать по табл. 1.16 марку воздухораспределителя с учетом ранее выбранного типа.

6. Определить скорость воздуха на выходе из патрубка v_0 , м/с: если $P_T < 0,6$, v_0 рассчитывается по формуле:

$$v_0 = \frac{v_p \cdot x}{0,7m \cdot \sqrt{F_0}},$$

где v_p – рекомендуемая скорость воздуха на рабочем месте согласно категории работ по тяжести (табл 1.15);

m – коэффициент затухания скорости в струе (табл. 1.16).

если $P_T = 0,6 - 1$, v_0 рассчитывается по формуле:

$$v_0 = \frac{v_p}{0,7 + 0,1 \cdot (0,8m \cdot \sqrt{F_0} - x)},$$

если $P_T > 1$, v_0 рассчитывается по формуле:

$$v_0 = \frac{v_p}{0,7}.$$

7. Определить расход воздуха, подаваемого через душирующий патрубок, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$Q = 3600 F_0 \cdot v_p.$$

2. ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 10.10.2017 г. № 92 утверждены Санитарные нормы и правила «Требования к контролю воздуха рабочей зоны», Гигиенический норматив «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны», Гигиенический норматив «Ориентировочные безопасные уровни воздействия вредных веществ в воздухе рабочей зоны» и Гигиенический норматив «Предельно допустимые уровни загрязнения кожных покровов вредными веществами», которые устанавливают требования к планированию, организации и периодичности контроля вредных веществ, в том числе аэрозолей (пылей) преимущественно фиброгенного типа действия, в воздухе рабочей зоны в производственных помещениях организаций, горных выработках, на открытых площадках, в транспортных средствах, а также на кожных покровах работников при проектировании, строительстве, реконструкции, техническом перевооружении и эксплуатации объектов хозяйственной и иной деятельности.

Классификация вредных веществ. Вредные вещества по степени воздействия на организм человека подразделяются *на четыре класса опасности*:

- 1-й класс – вещества чрезвычайно опасные (ПДК < 0,1 мг/м³);
- 2-й класс – вещества высоко опасные (ПДК = 0,1...1,0 мг/м³);
- 3-й класс – вещества умеренно опасные (ПДК = 1,1...10,0 мг/м³);
- 4-й класс – вещества мало опасные (ПДК > 10,0 мг/м³).

Вредные вещества также подразделяются:

по характеру воздействия на организм человека на:

общетоксические – вызывающие отравление всего организма (оксид углерода, свинец, ртуть и др.);

раздражающие – вызывающие раздражение дыхательного тракта и слизистых оболочек (хлор, аммиак, оксиды азота, озон, ацетон и др.);

сенсibiliзирующие – действующие как аллергены (формальдегид, различные растворители и лаки на основе нитросоединений и др.);

канцерогенные – вызывающие раковые заболевания (окислы хрома, асбест и др.);

мутагенные – приводящие к изменению наследственной информации (свинец, радиоактивные вещества и др.);

влияющие на репродуктивную (детородную) функцию (ртуть, свинец, радиоактивные вещества и др.);

по пути попадания в организм на проникающие через:

органы дыхания;

желудочно-кишечный тракт;

кожный покров или слизистые оболочки;

по химическим классам соединений на:

органические;

неорганические;
элементоорганические и др.

Вышеуказанные нормативные документы устанавливают предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны – обязательные санитарные нормативы для использования их при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования и вентиляции, а также для текущего санитарного надзора.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – концентрация вредного вещества, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов и не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должна вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

ПДК устанавливаются в виде максимально разовых и среднесменных гигиенических нормативов. Для веществ, способных вызывать преимущественно хронические интоксикации (фиброгенные пыли, аэрозоли дезинтеграции металлов и др.), устанавливаются среднесменные ПДК; для веществ с остронаправленным токсическим эффектом (ферментные, раздражающие яды и др.) устанавливаются максимальные разовые концентрации; для веществ, при воздействии которых возможно развитие как хронических, так и острых интоксикаций, устанавливаются наряду с максимально разовыми и среднесменные ПДК.

Фактическая концентрация вредного вещества K в воздухе рабочей зоны не должна превышать ПДК, т. е. должно соблюдаться соотношение $K / \text{ПДК} \leq 1$.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия в концентрациях, не превышающих ПДК, должно соблюдаться условие:

$$\frac{K_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{K_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{K_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1$$

В таблице гигиенических нормативов специальными символами выделены вещества с остронаправленным механизмом действия, требующих автоматического контроля за их содержанием в воздухе, канцерогены, аллергены и аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. В этих целях использованы следующие обозначения:

О – вещества с остронаправленным механизмом действия;

А – вещества, способные вызывать аллергические заболевания работников в производственных условиях;

К – канцерогены;

Ф – аэрозоли преимущественно фиброгенного действия;

п – пары и (или) газы;

а – аэрозоль;

п + а – смесь паров и аэрозолей;

(+) – соединения, при работе с которыми требуется специальная защита кожи и глаз;

(++) – соединения, при работе с которыми должен быть исключен контакт с органами дыхания и кожей.

Если в графе «величина ПДК» приведены два гигиенических норматива, это означает, что в числителе максимальная разовая, а в знаменателе – среднесменная ПДК, прочерк в числителе означает, что гигиенический норматив установлен в виде среднесменной ПДК. Если приведен один гигиенический норматив, то это означает, что он установлен как максимальная разовая ПДК.

Ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ) – временный гигиенический норматив содержания вредного вещества в воздухе рабочей зоны, устанавливаемый по экспериментальным данным путем расчета по параметрам токсикометрии и физико-химическим свойствам, использующийся для количественной оценки содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны на этапе опытных и полужаводских установок (производств), который может быть пересмотрен, заменен предельно допустимой концентрацией либо отменен в зависимости от перспективы применения вредного вещества и его токсических свойств.

Результатом *воздействия вредных веществ* могут быть острые и хронические отравления. Острые отравления являются следствием кратковременного воздействия вредных веществ, поступающих в организм в значительных количествах. Хронические отравления развиваются в результате длительного воздействия вредных веществ, поступающих в организм малыми дозами. Наиболее опасными являются хронические отравления, отличающиеся стойкостью симптомов отравления и приводящие к профессиональным заболеваниям.

Токсический эффект воздействия вредных веществ зависит от физиологических особенностей человека. К некоторым ядам более чувствителен женский организм, к другим – мужской. Характер и тяжесть выполняемой работы также влияют на восприимчивость организма к ядам. При тяжелой физической работе активизируются дыхание, кровообращение и потовыделение, что усиливает процесс проникновения ядовитых веществ в организм человека. Результат воздействия токсических веществ зависит от таких производственных факторов, как метеорологические условия, изменение барометрического давления, шум и вибрация. В большинстве случаев они увеличивают опасность отравления из-за функциональных изменений в организме и изменения токсических свойств самих веществ.

Производственная пыль подразделяется:

по происхождению на: *органическую* естественного (шерстяная, древесная и др.) и искусственного (пыль пластмасс, резины и др.) происхождения; *неорганическую*: пыль металлов (железная, медная и др.) и минералов (кварцевая, асбестовая и др.);

по токсичности на: *ядовитую*, вызывающую острые или хронические отравления (свинцовая, марганцевая и др.); *неядовитую*, оказывающую преимущественно фиброгенное действие, вызывающую раздражение слизистых оболочек дыхательных путей и оседающую в легких (чугунная, железная, алюминиевая и др.);

по дисперсности на: а) крупнодисперсные (> 10 мкм); б) среднедисперсные (5-10 мкм); в) мелкодисперсные (1-5 мкм); г) дым или пылевой туман (< 1 мкм);

по способу образования: на *аэрозоли дезинтеграции* (образуются при измельчении, дроблении твердых веществ и т. д.); *аэрозоли конденсации* (при электросварке и т. д.).

Пыль как вредное вещество может оказывать на организм человека фиброгенное, токсическое, раздражающее, аллергенное, канцерогенное действие. Чем мельче частицы пыли, тем глубже они проникают в дыхательные пути и легче попадают в легкие.

Пылевые профессиональные заболевания. К основным из них относятся пневмокониозы, хронический бронхит и заболевания верхних дыхательных путей. Наиболее часто встречаются следующие виды пневмокониозов: *силикоз* – наиболее тяжелая форма пневмокониоза, развивающаяся при вдыхании пыли, содержащей свободный кремнезем (SiO_2), и сопровождающаяся изменениями легочной ткани; *силикатоз* – склеротическое заболевание легких, развивающееся при вдыхании пыли, содержащей SiO_2 в связанном с другими элементами состоянии (Mg, Ca, Al, Fe и др.); *электросварочный пневмокониоз* – развивается при высокой концентрации сварочного аэрозоля, содержащего оксид железа, соединения марганца или фтора; *асбестоз* – возникает при вдыхании пыли асбеста и др.

Методы контроля параметров воздушной среды. Для определения содержания вредных веществ в воздухе отбор проб должен проводиться в зоне дыхания на рабочих местах постоянного и (или) непостоянного пребывания работников при характерных производственных условиях с учетом основных технологических процессов, источников выделения вредных веществ и функционирования технологического оборудования. В течение смены и (или) на отдельных этапах технологического процесса в одной точке должно быть последовательно отобрано не менее двух проб. Для аэрозолей преимущественно фиброгенного действия допускается отбор одной пробы.

Периодичность контроля воздуха рабочей зоны определяется в зависимости от класса опасности вредного вещества, характера технологического процесса, результатов производственного контроля за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны и устанавливается в следующем порядке:

– один раз в год в случаях, когда интенсивность выделения в воздушную среду вредных веществ 3 и 4 классов опасности сохраняется на протяжении двух последних лет на уровне и ниже ПДК или ОБУВ;

– один раз в полугодие в случаях имеющихся превышений ПДК или ОБУВ вредных веществ 3 и 4 классов опасности в предшествующем году, а так же в первые два года проведения производственного контроля в организации;

– один раз в полугодие при стабильной регистрации в воздухе рабочей зоны содержания вредных веществ 1 и 2 классов опасности на уровне и ниже ПДК или ОБУВ за два последних года;

– один раз в квартал в случаях имеющихся превышений ПДК или ОБУВ в воздухе рабочей зоны вредных веществ 1 и 2 классов опасности в предшествующем году, а так же в первые два года проведения производственного контроля в организации.

Отбор проб для производственного контроля за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны должен осуществляться при ведении производственного процесса в соответствии с технологическим регламентом и эксплуатации производственной вентиляции.

Среднесменная концентрация должна определяться на основании непрерывного или прерывистого отбора проб воздуха при суммарном времени не менее 75% продолжительности рабочей смены с учетом всех технологических операций (основных, вспомогательных) и перерывов в работе. Количество отборов проб воздуха должно быть не менее пяти в течение рабочей смены.

Меры защиты от вредных веществ. Для обеспечения необходимого качества воздуха в рабочей зоне производственных помещений при разработке и организации технологических процессов, и конструировании оборудования требуется выполнение ряда инженерно-технических, санитарно-технических, лечебно-профилактических, организационных и других мероприятий.

К инженерно-техническим мероприятиям относятся: применение технологических процессов, устраняющих образование вредных веществ или исключают непосредственный контакт работников с вредными веществами; замена вредных веществ безвредными или менее вредными; замена сухих способов переработки пылящих материалов мокрыми; применение различных способов пылеподавления (смачивание, гранулирование, брикетирование и т.д.); обеспечение непрерывности технологических процессов; использование пневмотранспорта; применение различных способов пылеподавления; механизация и автоматизация технологических процессов с применением дистанционного управления; герметизация промышленного оборудования; рациональная организация рабочих мест; улавливание и нейтрализация промышленных выбросов; автоблокировка технологического оборудования и санитарно-технических устройств; рациональная организация рабочих мест; использование газоанализаторов и газосигнализаторов, связанных с автоматической системой защиты (автоблокировка, аварийная вентиляция и др.); сокращение водопотребления и

водоотведения, широкое использование оборотного и повторного водоснабжения.

Доставка сырья и материалов на предприятия должна осуществляться способами, максимально устраняющими ручные операции, исключаящими опасность травматизма и физического перенапряжения, а также непосредственный контакт работников с вредными веществами. При всех транспортных и перегрузочных операциях следует предусматривать меры, предотвращающие загрязнение воздуха рабочей зоны, а также кожных покровов и одежды работающих.

При проведении технологических процессов, связанных с выделением пыли веществ 1 и 2 классов опасности предусматриваются поточные непрерывные линии или оборудование повышенной герметичности. Аспирационные системы, а также системы орошения и пылеподавления следует блокировать с пусковыми устройствами технологического оборудования.

К *санитарно-техническим средствам* нормализации воздуха в рабочей зоне относятся: организация систематического санитарно-химического контроля воздуха рабочей зоны; санитарно-бытовое обеспечение работающих; спецподготовка и инструктаж работающих; лечебно-профилактическое обеспечение работающих; применение средств индивидуальной защиты; организация надежной вентиляции производственных помещений.

Наиболее важное значение для профилактики профессиональных заболеваний и нормализации воздушной среды имеет вентиляция.

2.1. Вредные вещества, выделяющиеся при протекании технологических процессов

При протекании технологических процессов в воздухе рабочей зоны фиксируются вредные вещества, характеристика которых приведена в табл. 2.1.

Воздействие токсических веществ на организм человека в условиях производства не может быть изолировано от влияния других неблагоприятных факторов, таких как высокая или низкая температура, повышенная влажность, вибрация, шум и др. При сочетанном воздействии вредных веществ с другими факторами эффект может оказаться более значительным, чем при изолированном воздействии фактора. Так, при одновременном воздействии вредных веществ и высокой температуры возможно усиление токсического эффекта. Шум может усилить токсический эффект. Вибрация усиливает токсическое действие ядов. Физическая нагрузка, оказывает мощное и разностороннее влияние на все органы и системы организма (дыхание и кровообращение, усиливает активность нервной и эндокринной систем). Увеличение легочной вентиляции приводит к возрастанию дозы газообразных веществ, проникающих в организм через дыхательные пути.

Таблица 2.1

Характеристика вредных веществ, выделяющихся в воздух рабочей зоны

Наименование вещества	Класс опасности	ПДК ₃ мг/м ³	Токсикологическая характеристика
1	2	3	4
Оксид углерода	4	20	Угнетает центральную нервную систему, вызывает головные боли, головокружение, тошноту, нарушение дыхания. При большой концентрации приводит к смерти от кислородного голодания
Ацетон	4	200	Действует как наркотик, раздражает глаза и слизистые оболочки носа и гортани
Сернистый ангидрид	3	10	Вызывает расширение сосудов и снижает кровяное давление, поражает ткань легких, вызывая их отек
Метиловый спирт	3	5	Сильный нервный и сосудистый яд, раздражает слизистые оболочки верхних дыхательных путей и глаз
Ксилол	3	50	Раздражают нервную систему, при длительном воздействии влияют на кровеносные органы
Толуол	3	150	
Фурфурол	3	10	Нервный яд, вызывает паралич и судороги, раздражает слизистые оболочки и кожу
Хром шестивалентный	1	0,01	Вызывает местное раздражающее действие на кожу и слизистые оболочки, поражает почки, печень, сердечно-сосудистую систему
Фенол	2	0,3	Сильный нервный яд, оказывает общетоксическое действие, всасывается через кожу
Формальдегид	2	0,5	Раздражающий газ, обладает общей ядовитостью, раздражает кожу и слизистые оболочки
Фуран	2	0,5	Приводит к падению кровяного давления, параличу дыхания, судорогам, при длительном воздействии вызывает дистрофию печени
Оксид азота	3	5	Оказывает действие на центральную нервную систему, вызывает расширение сосудов и снижает кровяное давление, приводит к отеку легких
Кремнийсодержащая пыль	4	2	Раздражает слизистые оболочки, приводит к силикозу
Алюминиевая пыль (алюминий и его соединения)	4	2,0	При вдыхании вызывает профзаболевание легких (алюминоз), раздражает слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей
Аммиак	4	20,0	Раздражающе действует на слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей, вызывает кашель, удушье
Бора карбид	4	6,0	Вызывает острые и хронические заболевания верхних дыхательных путей. Возможно развитие пневмокониоза
Калия гидроксид	2	0,5	Вызывает сильные ожоги кожи, глаз, что может привести к слепоте
Калия цианид	2	0,3	Сильный яд. При воздействии на кожу вызывает зуд, экзему. При вдыхании паров наступает внезапное резкое падение кровяного давления, паралич дыхания и сердца
Кислота азотная	3	2,0	Вызывает тяжелые ожоги, раздражает дыхательные пути, вызывает разрушение зубов, конъюнктивиты и поражения роговицы глаза

1	2	3	4
Кислота серная	2	1,0	Вызывает тяжелые ожоги кожи. Аэрозоль раздражает и обжигает слизистые верхних дыхательных путей, поражает легкие
Кислота соляная (водорода хлорид)	2	5,0	Вызывает ожоги, раздражение слизистых оболочек (носа), конъюнктивит и помутнение роговицы глаза, насморк, кашель, удушье
Кислота цианистоводородная (цианистый водород)	1	0,3	Сильный яд, в воздухе в виде паров, вдыхание которых вызывает резкое падение кровяного давления, паралич дыхания и сердца
Натрия гидроксид	2	0,5	Вызывает сильные ожоги кожи, глаз, что может привести к слепоте
Натрия нитрит	1	0,1	Вызывает головокружение, рвоту, бессознательное состояние, расширение сосудов
Свинец	1	0,005	Вызывает отравление и изменения в центральной нервной системе, крови и сосудах

Наиболее важное значение для профилактики профессиональных заболеваний и нормализации воздушной среды имеет вентиляция.

2.2. Расчетные задания по теме

Задача 2.1. Выполнить расчет воздушного душирования при выделении вредных веществ. Исходные данные для расчета принимаются по табл. 2.2. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 2.2

Исходные данные для расчета

Исходные данные	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Концентрация газов в рабочей зоне, мг/м^3 , K_{pz}	15	8	6	12	23	7	3,2	6	212	63
Предельно допустимая концентрация газов на рабочем месте, мг/м^3 , $K_{ГДК}$	10	5	4	10	20	6	2	5	200	50
Концентрация газов в воздухе, подаваемом из душирующего патрубка, мг/м^3 , K_0	0,2	0,4	0,3	0,1	0,4	0,1	0,1	0,2	2	1
Температура воздуха в рабочей зоне, t_{pz} , °С	25	27	28	24	28	25	27	26	28	27
Скорость движения воздуха в рабочей зоне, v_{pz} , м/с	3	2	3,5	2	3,5	2	3	3	3,5	3,5
Расстояние от душирующего патрубка до рабочей зоны, X , м	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Порядок расчета

1. Определить отношение разностей концентраций газов по формуле:

$$P_k = \frac{K_{pz} - K_{пдк}}{K_{pz} - K_0},$$

где K_{pz} – концентрация газов в рабочей зоне (принимается исходя из условий работы), мг/м³;

$K_{пдк}$ – предельно допустимая концентрация газов на рабочем месте, мг/м³;

K_0 – концентрация газов в воздухе, подаваемом из душирующего патрубка, мг/м³.

2. Выбрать тип воздухораспределителя и определить коэффициенты m и n по табл. 2.3.

Таблица 2.3

Характеристики типовых душирующих воздухораспределителей

Тип воздухораспределителя	Марка	Расчетная площадь, $F_0, \text{ м}^2$	Коэффициенты		
			m	n	ξ
Универсальный душирующий воздухораспределитель типа УДВ	УДВ-1	0,17	6	4,9	2,1
	УДВ-2	0,38			
	УДВ-3	0,68			
Патрубок поворотный душирующий типа ППД	ППД-5	0,1	6,3	4,5	4
	ППД-6	0,16			
	ППД-8	0,26			
Патрубок душирующий с увлажнением воздуха типа ПД с верхним и нижним подводом воздуха	ПДв-3	0,14	5,3	4,5	1,6
	ПДв-4	0,13			
	ПДв-5	0,36			
	ПДн-3	0,14	4,5	3,1	3,2
	ПДн-4	0,23			
ПДн-5	0,36				

3. Определить сечение душирующего патрубка $F_0, \text{ м}^2$;
если $P_k < 0,4$, F_0 рассчитывается по формуле:

$$F_0 = \left(\frac{P_k \cdot x}{0,4n} \right)^2,$$

где x – расстояние от душирующего патрубка до рабочей зоны, м;

- если $0,4 \leq P_k \leq 1$, F_0 рассчитывается по формуле:

$$F_0 = \left(\frac{x + 3,7P_k - 1,4}{0,75n} \right)^2,$$

4. Зная F_0 , выбрать по табл. 2.3 марку воздухораспределителя с учетом ранее выбранного типа.

5. Определить скорость воздуха на выходе из патрубка v_0 , м/с: если $P_k < 0,4$, v_0 рассчитывается по формуле:

$$v_0 = \frac{v_p \cdot x}{0,7m \cdot \sqrt{F_0}},$$

где v_p – скорость воздуха на рабочем месте согласно категории работ по тяжести (табл. 2.2);

если $0,4 \leq P_k \leq 1$, v_0 рассчитывается по формуле:

$$v_0 = \frac{v_p}{0,55 + 0,14(0,8m \cdot \sqrt{F_0} - x)},$$

6. Определить температуру воздуха, выходящего из патрубка t_0 , °С если $P_k < 0,4$, t_0 рассчитывается по формуле:

$$t_0 = \frac{t_{pz} - (t_{pz} - t_{пдк}) \cdot x}{0,45n \cdot \sqrt{F_0}},$$

где t_{pz} – температура окружающего воздуха на рабочем месте (принимается исходя из условий работы), °С;

$t_{пдк}$ – нормируемая температура на рабочем месте, принимается по табл. 1.1, 1.2;

если $0,4 \leq P_k \leq 1$, t_0 рассчитывается по формуле:

$$t_0 = \frac{t_{pz} - (t_{pz} - t_{пдк}) \cdot x}{0,45 + 0,25(0,75n \cdot \sqrt{F_0} - x)}.$$

7. Определить расход воздуха, подаваемого через душирующий патрубок, м³/ч

$$Q = 3600 F_0 \cdot v_p.$$

Задача 2.2. Рассчитать местный отсос (зонт) у нагревательной печи.

Местные отсосы применяются в случаях, когда выделяющиеся вредности легче окружающего воздуха и поток вредных выделений направлен вверх. Они выполняются в виде различных укрытий, вытяжных шкафов,

вытяжных зонтов, бортовых отсосов, могут быть стационарными, поворотными, выдвижными, телескопическими.

Вытяжной зонт представляет собой металлический колпак, располагаемый над источником вредных выделений. Всасывающее сечение колпака имеет форму, геометрически подобную горизонтальной проекции зеркала вредных выделений.

Исходные данные для расчета принимаются по табл. 2.4. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 2.4

Исходные данные для расчета

Исходные данные	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Размеры загрузочного отверстия печи, $b \times h$, м	1×0,6									
Температура в печи, $t_{п}$, °С	1000	1100	980	950	1050	1120	940	1030	850	1200
Температура воздуха в помещении, $t_{в}$, °С	23	25	21	20	23	24	20	22	20	25

Схема зонта над загрузочным отверстием печи представлена на рисунке 2.1.

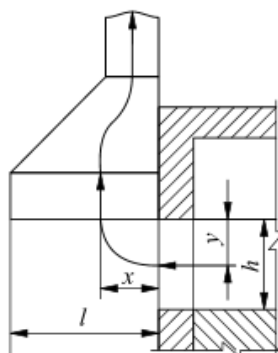


Рис.2.1. Схема зонта над загрузочным отверстием печи

Порядок расчета

1. Определить эквивалентный диаметр зонта, м

$$d_{\text{экв}} = \frac{2b \cdot h}{b + h}$$

2. Определить плотность горячего воздуха, выбивающегося из отверстия печи, и плотность воздуха в помещении, кг/м^3

$$\rho_{\text{п}} = \frac{375}{273 + t_{\text{п}}};$$

$$\rho_{\text{в}} = \frac{375}{273 + t_{\text{в}}}.$$

3. Определить перепад давления в плоскости загрузочного отверстия печи, Па

$$\Delta P = \frac{2}{3} h \cdot g \cdot (\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{в}}),$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

4. Определить среднюю скорость выхода горячего воздуха из отверстия печи, м/с

$$v_{\text{ср}} = \mu \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_{\text{п}}}},$$

где μ – коэффициент расхода (для расчета вытяжных зонтов принимается равным 0,65).

5. Определить критерий Архимеда

$$Ar = \frac{g \cdot d_{\text{экв}}}{v_{\text{ср}}^2} \cdot \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{в}}}{T_{\text{в}}},$$

где $T_{\text{п}}$, $T_{\text{в}}$ – температуры в печи и внутреннего воздуха, К;

$$T_{\text{п}} = 273 + t_{\text{п}},$$

$$T_{\text{в}} = 273 + t_{\text{в}}.$$

6. Определить расстояние x , м, на котором искривленная ось струи пересекается с плоскостью приемного отверстия зонта-козырька:

$$x = \sqrt[3]{\frac{m \cdot y \cdot d_{\text{экв}}^2}{0,5 Ar}},$$

где m – коэффициент затухания скорости в струе (при расчете зонтов $m=4$);
 $y = h/2$ (см. рис. 2.1).

7. Определить диаметр струи на расстоянии x от печного отверстия, м, по формуле для осесимметричной струи на начальном участке

$$d_x = d_{\text{ЭКВ}} \cdot \left(6,8 \frac{a \cdot x}{d_{\text{ЭКВ}}} + 1 \right),$$

где $a = 0,1$ – коэффициент турбулентности для прямоугольного отверстия.

8. Определить вылет зонта l , м, (см. рис. 2.1)

$$l = x + \frac{d_x}{2}.$$

9. Определить количество газов, выходящих из печи

$$L_{\text{П}} = 3600 v_{\text{ср}} \cdot h \cdot b, \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$G_{\text{П}} = L_{\text{П}} \cdot \rho_{\text{П}}, \text{ кг/ч}.$$

10. Определить количество отводимых под зонты газов L_x , $\text{м}^3/\text{ч}$, с учетом температурного эффекта

$$L_x = L_{\text{П}} \cdot \left[1 + \left(1,52 \frac{a \cdot x}{d_{\text{ЭКВ}}} + 5,28 \left(\frac{a \cdot x}{d_{\text{ЭКВ}}} \right)^2 \right) \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{В}}}{T_{\text{П}}}} \right].$$

11. Определить количество воздуха, подмешиваемого из помещения в струю, кг/ч

$$G_{\text{В}} = \left[1,52 \frac{a \cdot x}{d_{\text{ЭКВ}}} + 5,28 \left(\frac{a \cdot x}{d_{\text{ЭКВ}}} \right)^2 \right] \cdot \rho_{\text{В}} \cdot L_{\text{П}}.$$

12. Определить температуру смеси (газ+воздух), отводимой под зонты, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{\text{см}} = \frac{G_{\text{П}} \cdot t_{\text{П}} + G_{\text{В}} \cdot t_{\text{В}}}{G_{\text{П}} + G_{\text{В}}}.$$

13. Если $t_{\text{см}} > 160^{\circ}\text{C}$, то необходимо увеличить количество воздуха, подмешиваемого в струю газа

$$G_B = \frac{G_H \cdot (t_H - t_{CM})}{t_{CM} - t_B}.$$

14. Определить количество газов, отводимых зонтом, кг/ч

$$G_{CM} = G_B + G_H.$$

15. Определить количество тепла, удаляемого под зонт, кВт

$$Q = \frac{G_{CM}}{3600 \cdot (t_{CM} - t_B) \cdot c_{CM}},$$

где $c_{CM} = 1,005$ кДж/кг·°С – удельная теплоемкость воздуха.

3. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Вентиляция – обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных и других веществ с целью обеспечения допустимых параметров микроклимата и чистоты воздуха в рабочей зоне.

По способу перемещения воздуха вентиляция бывает *с естественным и механическим побуждением*. Возможно также сочетание естественной и механической вентиляции (смешанная вентиляция). В зависимости от того, для чего служит система вентиляции, – для подачи (притока) или удаления (вытяжки) воздуха из помещения или (и) для того и другого одновременно, она подразделяется на *приточную, вытяжную или приточно-вытяжную*. По месту действия вентиляция бывает *общеобменной и местной*.

В производственных помещениях, в которых возможно внезапное поступление в воздух рабочей зоны больших количеств вредных паров и газов, наряду с рабочей предусматривается устройство *аварийной вентиляции*.

На производстве часто устраивают комбинированные системы вентиляции (общеобменную с местной, общеобменную с аварийной и т.п.).

3.1. Естественная вентиляция

Воздухообмен при естественной вентиляции происходит вследствие разности температур воздуха в помещении и наружного воздуха, а также в результате действия ветра. Разность температур воздуха внутри (более высокая температура) и снаружи помещения, а следовательно, и разность плотностей вызывают поступление холодного воздуха в помещение и вытеснение из него теплого воздуха. При действии ветра с наветренной стороны зданий создается пониженное давление, вследствие чего происходит вытяжка теплого или загрязненного воздуха из помещения; с наветренной стороны здания создается избыточное давление, и свежий воздух поступает в помещение на смену вытягиваемому воздуху.

Естественная вентиляция производственных помещений может быть неорганизованной и организованной. При *неорганизованной вентиляции* поступление и удаление воздуха происходит через неплотности и поры наружных ограждений (инфильтрация), через окна, форточки, специальные проемы (проветривание).

Организованная (поддается регулировке) *естественная вентиляция* производственных помещений осуществляется аэрацией и дефлекторами.

Аэрация осуществляется в холодных цехах за счет ветрового давления, а в горячих цехах – за счет совместного или раздельного действия гравитационного и ветрового давлений. Аэрация осуществляется следующим образом: свежий воздух поступает в помещение через нижние проемы, располагаемые на небольшой высоте от пола (1-1,5 м), а удаляется через проемы в светоаэрационном фонаре здания (рис. 3.1).

Поступление наружного воздуха в зимнее время происходит через проемы, расположенные на высоте 4-7 м от пола. Высота принимается с таким расчетом, чтобы холодный наружный воздух, опускаясь до рабочей зоны, успел достаточно нагреться за счет перемешивания с теплым воздухом помещения.

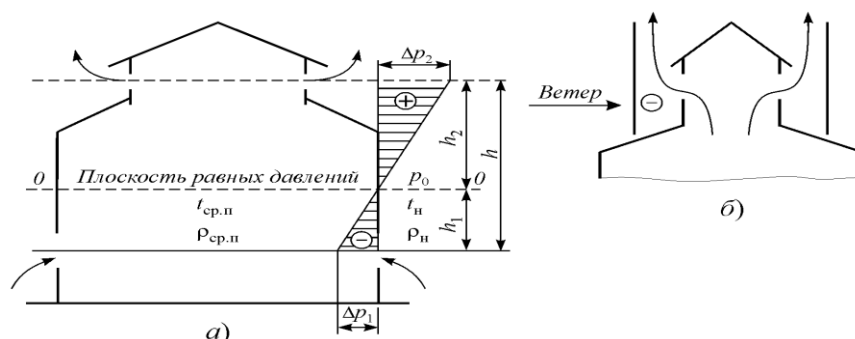


Рис. 3.1. Аэрация зданий:

а – распределение давления воздуха в здании цеха; *б* – незадуваемый фонарь

Дефлекторы представляют собой специальные насадки, устанавливаемые на вытяжных воздуховодах и использующие энергию ветра. Их применяют для удаления загрязненного или перегретого воздуха из помещений сравнительно небольшого объема, а также для местной вентиляции.

3.2. Механическая вентиляция

В системах механической вентиляции движение воздуха осуществляется вентиляторами и в некоторых случаях эжекторами.

Установки *приточной вентиляции* обычно состоят из устройства для забора чистого воздуха (в местах, где содержание вредных веществ минимально), воздуховодов, фильтров для очистки воздуха от пыли, калориферов, вентилятора, приточных отверстий или насадков, регулирующих устройств.

Установки *вытяжной вентиляции* состоят из вытяжных отверстий или насадков, вентилятора, воздуховодов, устройства для очистки воздуха от пыли или газов, устройства для выброса воздуха.

Эжекторы применяют в вытяжных системах в тех случаях, если необходимо удалить очень агрессивную среду, пыль, способную к взрыву, или легко воспламеняющиеся взрывоопасные газы.

Местная приточная вентиляция служит для создания требуемых условий воздушной среды в ограниченной зоне производственного помещения. К установкам местной приточной вентиляции относятся воздушные души и оазисы, воздушные и воздушно-тепловые завесы.

Воздушное душирование применяют на рабочих местах, характеризуемых воздействием лучистого потока теплоты интенсивностью 350 Вт/м² и более. Воздушный душ представляет собой направленный на

рабочего поток воздуха. Скорость обдува составляет 1-3,5 м/с в зависимости от интенсивности облучения. Эффективность душирующих агрегатов повышается при распылении воды в струе воздуха.

Воздушные оазисы позволяют улучшить метеорологические условия на ограниченной площади помещения, которая для этого отделяется со всех сторон легкими передвижными перегородками и заполняется воздухом более холодным и чистым, чем воздух помещения.

Воздушные и воздушно-тепловые завесы устраивают для защиты людей от охлаждения проникающим через ворота холодным воздухом. Завесы бывают двух типов: воздушные с подачей воздуха без подогрева и воздушно-тепловые с подогревом подаваемого воздуха в калориферах.

Местная вытяжная вентиляция. Применение ее основано на улавливании и удалении вредных веществ непосредственно у источника их образования. Устройства местной вытяжной вентиляции делают в виде укрытий или местных отсосов (вытяжные шкафы, кабины и камеры).

Вытяжные зонты применяют для локализации вредных веществ, поднимающихся вверх, а именно при тепло- и влаговыведениях; любых вредных веществах с тепловыделениями, создающими устойчивый восходящий поток (при отсутствии постоянного рабочего места у источника выделения вредных веществ).

Всасывающие панели. Принцип действия состоит в том, что затягиваемый в щель воздух, двигаясь над поверхностью ванны, увлекает с собой вредные вещества, не давая им распространиться вверх по помещению. Отсосы располагают или у одного борта при ширине ванны до 0,7 м, или у двух противоположных бортов при ширине ванны 0,7-1 м.

3.3. Расчетные задания по теме

Задача 3.1. Определить количество воздуха, которое необходимо подавать в цех для снижения концентрации газа (паров) в воздухе до ПДК, если в помещении выделяется в течение часа определенное количество газа (паров). Приточный воздух практически чист.

Исходные данные для расчета принимаются по табл. 3.1. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 3.1

Исходные данные для расчета

№ варианта	Газ, пары	ПДК ₃ мг/м ³	Размеры помещения			Масса газа (паров), выделяющегося в помещении в течение часа, P, кг
			длина, a, м	ширина, b, м	высота, h, м	
1	2	3	4	5	6	7
1	Аммиак	20	15	12	8	0,08
2			24	12	6	0,10

1	2	3	4	5	6	7
3	Оксид углерода	20	36	18	8	0,2
4			24	12	6	0,2
5	Формальдегид	0,5	12	9	3,5	0,1
6			15	9	3,5	0,15
7			21	12	5,0	0,3
8	Кислота серная	1,0	12	15	5	0,06
9			15	12	7	0,08
0			24	12	6	0,10

Порядок расчета

1. Определить концентрацию газа (паров) в воздухе помещения, мг/м^3

$$C = \frac{P}{V} = \frac{P}{a \cdot b \cdot h},$$

- где P – масса газа (паров), мг;
 $V = a \cdot b \cdot h$ – объем помещения, м^3 ;
 a, b, h – длина, ширина, высота помещения соответственно, м.
2. Определить кратность воздухообмена, 1/ч

$$K = \frac{C}{\text{ПДК}},$$

где ПДК – предельно допустимая концентрация газа (пара), мг/м^3 .

3. Определить воздухообмен или объем воздуха, подаваемый в помещение в течение часа для снижения концентрации газа (паров) в воздухе рабочей зоны до ПДК, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$Q = K \cdot V = K \cdot a \cdot b \cdot h.$$

Задача 3.2. Определить достаточен ли воздухообмен в помещении, если в воздух помещения просачивается из систем и оборудования газ или пары. В помещении существует 4-х кратный воздухообмен.

Исходные данные для расчета принимаются по табл. 3.2. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Исходные данные для расчета

№ варианта	Газ, пары	ПДК, мг/м ³	Размеры помещения			Масса газа (паров), просачивающегося из систем и оборудования в течение часа, P, кг
			длина, a, м	ширина, b, м	высота, h, м	
1	Оксид углерода	20,0	15	12	8	0,08
2			12	9	6	0,04
3			18	9	6	0,05
4			21	12	8	0,15
5			21	12	6	0,10
6	Хлорид водорода	5,0	30	18	8	0,02
7			36	18	12	0,01
8			42	24	10	0,02
9			48	15	15	0,01
0			60	18	15	0,02

Порядок расчета

1. Определить требуемый воздухообмен для снижения содержания газа (паров) в воздухе помещения до предельно допустимой концентрации, м³

$$Q_{\text{треб}} = \frac{P}{\text{ПДК}},$$

где P – масса газа (паров), просачивающегося из баллонов, аппаратов или трубопроводов, мг;

ПДК – предельно допустимая концентрация газа (паров), мг/м³.

2. Определить воздухообмен, существующий в помещении, м³

$$Q_{\text{сущ}} = K \cdot V = K \cdot a \cdot b \cdot h,$$

где V = a · b · h – объем помещения, м³;

a, b, h – длина, ширина, высота помещения соответственно, м.

K = 4 – кратность воздухообмена.

3. Провести анализ воздухообмена в помещении:

при $Q_{\text{треб}} < Q_{\text{сущ}}$ – достаточен;
 при $Q_{\text{треб}} > Q_{\text{сущ}}$ – недостаточен.

4. Определить недостающий воздухообмен в помещении, м³

$$Q = Q_{\text{треб}} - Q_{\text{сущ}}.$$

Задача 3.3. Исходя из степени воздействия (опасности) вредных веществ определить на содержание какого вещества в воздухе помещения следует ориентироваться при выборе кратности воздухообмена на плавильном участке, если при работе электродуговой печи в течение часа выделяются марганец, оксиды железа, оксиды азота и оксиды углерода. Объем помещения – 432 м³.

Остальные данные для расчета принимаются по табл. 3.3. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 3.3

Исходные данные для расчета

Вредное вещество (пыль, газ)	ПДК, мг/м ³	Масса выделяющихся в воздух помещения вредных веществ при плавке металла, P, г										
		№ варианта										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
Марганец	0,2	0,4	0,35	0,3	0,28	0,25	0,22	0,18	0,55	0,26	0,29	
Оксид железа	6,0	5,0	4,4	3,8	3,6	2,6	3,2	3,7	3,1	2,9	2,6	
Оксид азота	5,0	3,0	4,8	2,7	3,5	3,0	2,6	2,9	3,3	3,1	2,5	
Оксид углерода	20,0	15	19	17	18	14	22	16	14	16	24	

Порядок расчета

1. Определить требуемый воздухообмен, т.е. объем воздуха, необходимый для снижения содержания вредных веществ в воздухе помещения до допустимых величин, м³

$$Q = \frac{P}{\text{ПДК}},$$

где P – масса каждого из веществ (пыли или газа) в воздухе, мг;

ПДК – предельно допустимая концентрация пыли или газа, мг/м³.

2. Определив соответственно воздухообмен, необходимый для снижения концентрации в воздухе до ПДК каждого из веществ (марганца, оксида железа, оксида азота и оксида углерода), ориентироваться на наибольшее из полученных значений.

3. Определить кратность воздухообмена в помещении, 1/ч

$$K = \frac{Q_{\max}}{V},$$

где V – объем помещения, м³;

Q_{\max} – максимальная величина (из всех расчетных значений) воздухообмена.

Задача 3.4. Рассчитать кратность воздухообмена общеобменной механической вентиляции в производственном помещении, в воздух рабочей зоны которого выделяется пыль, вредные вещества, избыточные тепловыделения.

Исходные данные для расчета принимаются по табл. 3.4. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 3.4

Исходные данные для расчета

Показатель	№ варианта										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
1. Объем производственного помещения, м ³	6912	10368	9216	5184	7776	8294	6030	3456	5184	6912	
2.	Количество выделяемой пыли, г/ч										
	с содержанием SiO ₂ 6,8 %		47	38			36		17	26	
	с содержанием SiO ₂ 32 %		30	26		23	25	17			
	с содержанием SiO ₂ 79 %				14						18
	оксид железа	19				24		22		16	
	сажа	27			18				36		14
3.	Количество выделяемых вредных веществ, г/ч										
	оксид углерода	27			24	33		18		16	28
	фенол		6	7			5		4		
	формальдегид		9	10			7		6		
	азота оксиды	4,7			3,9	4,2		5		6,4	3,6
4. Избыточные тепловыделения, кДж/ч	14300	23400	29600	16400	39900	28000	19080	32400	14800	17800	
5. Температура приточного воздуха, °С	14	16	15	18	16	19	16	17	16	18	

Порядок расчета

1. Определить воздухообмен производственного помещения для снижения концентрации пыли и вредных веществ.

Расчет производится для каждого вида пыли и вредных веществ

$$L = \frac{G \cdot 1000}{\text{ПДК} - C_{\text{пр}}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где G – количество выделяемой пыли вредного вещества, г/ч;

ПДК – предельно допустимая концентрация пыли или вредного вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м³ (определяется по табл. 3.5);

$C_{\text{пр}}$ – концентрация пыли вредного вещества в приточном воздухе, мг/м³.
 Значение $C_{\text{пр}}$ принимается в соответствии с данными табл. 3.6.

Таблица 3.5

Предельно допустимые концентрации пыли и вредных веществ

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³
Пыль с содержанием SiO ₂ до 70 %	2,0
Пыль с содержанием SiO ₂ свыше 70 %	1,0
Оксид железа	6,0
Сажа	4,0
Оксид углерода	20,0
Фенол	0,3
Формальдегид	0,5
Азота оксиды	5,0

Таблица 3.6

Концентрация пыли и вредных веществ в приточном воздухе

Наименование вещества	Концентрация, мг/м ³
Пыль с содержанием SiO ₂ 6,8 %	0,6
Пыль с содержанием SiO ₂ 32 %	0,3
Пыль с содержанием SiO ₂ 79 %	0,1
Оксид железа	0,7
Сажа	0,15
Оксид углерода	0,7
Азота оксиды	0,5
Фенол	0,2
Формальдегид	0,1

2. Определить кратность воздухообмена для снижения концентрации пыли и вредных веществ до допустимых значений, 1/ч

$$K = \frac{L}{V},$$

где L – необходимый воздухообмен, м³/ч;
 V – объем помещения, м³.

3. Определить воздухообмен в производственном помещении для уменьшения избыточного тепла, м³/ч

$$L_T = \frac{Q_{\text{изб}}}{c_B \cdot (t_{\text{уд}} - t_{\text{пр}}) \cdot \rho},$$

где $Q_{\text{изб}}$ – избыточное тепло, выделяемое в помещении, кДж/ч;

c_v – удельная теплоемкость воздуха, кДж/кг · °С (c_v принять равным 1,005 кДж/кг · °С);

$t_{уд}$ – температура удаленного воздуха, °С ($t_{уд}$ определить как температуру в рабочей зоне для работ Пб категории для теплого периода года, табл. 1.2);

$t_{пр}$ – температура приточного воздуха, °С;

ρ – плотность приточного воздуха, кг/м³.

При барометрическом давлении 760 мм ртутного столба

$$\rho = 1,293 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_{пр}), \text{ кг/м}^3,$$

где $t_{пр}$ – температура приточного воздуха, °С.

4. Определить кратность воздухообмена для уменьшения избыточного тепла, 1/ч

$$K = \frac{L_T}{V}.$$

5. Для обеспечения безвредных условий труда в производственном помещении принять K по максимальному значению.

Задача 3.5. В смесеприготовительном отделении чугунолитейного цеха земля из бункера подается на транспортер через течку под углом $\alpha = 45^\circ$ в количестве W_M , м³/ч. Материал падает с высоты $H = 2,5$ м. В целях предотвращения пыления в цехе транспортер имеет укрытие, причем площадь щелей в укрытии F_T , м². Определить расход воздуха, удаляемого от укрытия. При расчете учесть следующие данные: скорость проникновения воздуха через неплотности укрытия $v = 1,5$ м/с; коэффициент трения сухой земли о поверхность течки $f_M = 0,5$.

Остальные данные для расчета принимаются по табл. 3.7. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 3.7

Исходные данные для расчета

Исходные данные	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
W_M , м ³ /ч	200	150	100	250	175	200	150	100	250	175
F_T , м ²	0,3	0,4	0,1	0,5	0,3	0,4	0,3	0,5	0,1	0,2

Порядок расчета

1. Определить скорость движения материала при входе в укрытие, м/с

$$v_M = \sqrt{19,62 \cdot H \cdot (1 - 1,2 \cdot f_M \cdot \operatorname{ctg} a)}.$$

2. Определить объемный расход воздуха, вносимого в укрытие с поступающей землей, м³/ч

$$L_M = 0,12 \cdot K_y \cdot W_M \cdot v_M^2,$$

где $K_y = 3$, коэффициент, характеризующий конструкцию укрытия.

3. Определить объемный расход воздуха, проникающего из помещения через неплотности укрытия, м³/ч

$$L_{BC} = 3600 \cdot v \cdot F_T.$$

4. Определить общий объемный расход воздуха удаляемого из-под укрытия, м³/ч

$$L = L_M + L_{BC}.$$

4. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

В зависимости от источника света производственное освещение может быть *естественным, искусственным и совмещенным* (ТКП 45-2.04-153–2009 «Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования»).

Естественное освещение – это освещение помещений дневным светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях. По конструктивному исполнению подразделяется на:

боковое (одно- и двухстороннее – через проемы в наружных стенах);

верхнее (через светоаэрационные фонари, световые проемы в перекрытиях, а также через проемы в местах перепада высот здания);

комбинированное (представляет собой сочетание верхнего и бокового освещения). Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь, как правило, естественное освещение.

Искусственное освещение по функциональному назначению подразделяется на *рабочее, аварийное, охранное и дежурное*.

Рабочее освещение предусматривается для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

Аварийное освещение разделяют на *освещение безопасности* (предусматривается, если отключение рабочего освещения может привести к взрыву, пожару, длительному нарушению технологического процесса, и должно обеспечить возможность продолжения работ) и *эвакуационное* (предназначено для безопасной эвакуации людей).

Охранное освещение (при отсутствии специальных технических средств охраны) должно предусматриваться вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время.

Дежурное освещение – энергосберегающее освещение, используемое в нерабочее время.

При искусственном освещении по месту расположения светильников используются две системы: *общее* и *комбинированное* освещение. При *общем* освещении светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное) или группируются с учетом расположения оборудования (общее локализованное). Система *комбинированного* освещения включает общее и местное освещение. Применение одного местного освещения (без общего) внутри помещений не допускается.

Совмещенное освещение представляет собой дополнение естественного освещения искусственным в темное и светлое время суток при недостаточном естественном освещении. Его следует предусматривать:

для производственных помещений, в которых выполняются работы I – III разрядов;

для производственных и других помещений в случаях, если по условиям технологии, организации производства или климата в месте строительства

требуются объемно-планировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормированное значение КЕО (многоэтажные здания большой ширины, одноэтажные многопролетные здания с пролетами большой ширины и т. п.).

4.1. Нормирование освещения

При выборе требуемого минимального уровня освещенности рабочего места необходимо установить разряд выполняемой зрительной работы. Его определяют по наименьшему размеру объекта различения (мм). Все зрительные работы, проводимые в производственных помещениях, делятся на восемь разрядов (табл. 4.1).

Нормирование естественного освещения. Непостоянство естественного света вызвало необходимость нормировать естественное освещение с помощью относительного показателя – коэффициента естественной освещенности КЕО (e). КЕО – это отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения $E_{вн}$, к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности $E_{нар}$, создаваемой светом полностью открытого небосвода, выраженное в процентах:

$$КЕО(e) = \frac{E_{вн}}{E_{нар}} \cdot 100. \quad (4.1)$$

Для зданий, расположенных в различных районах местности, нормированные значения КЕО (e_N) определяют по формуле:

$$e_N = e_n \cdot m, \quad (4.2)$$

где e_n – значения КЕО (табл. 4.1);

m – коэффициент светового климата для соответствующего номера группы районов (табл. 4.2);

N – номер группы административного района стран СНГ по ресурсам светового климата.

При боковом одно- и двухстороннем естественном освещении нормируется минимальное значение КЕО; при боковом одностороннем – на расстоянии 1 м от стены в точке, наиболее удаленной от световых проемов и на высоте 0,8 м от пола (уровень условной рабочей поверхности), при боковом двухстороннем – в точке посередине помещения.

При верхнем или комбинированном естественном освещении нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола). Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности стен (перегородок) или осей колонн.

Таблица 4.1

**Нормы проектирования естественного и искусственного
освещения ТКП 45-2.04-153–2009**

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение	
						Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации		КЕО, e_n , %			
						при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения			при верхнем или комбинированном	при боковом	при верхнем или комбинированном	при боковом
						всего	в том числе от общего		P	$K_{П}$, %				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	малый	темный	5000	500	–	20	10	–	–	6,0	2,0
				4500	500	–	10	10						
			б	малый	средний	4000	400	1250	20	10				
				средний	темный	3500	400	1000	10	10				
			в	малый	светлый	2500	300	750	20	10				
				средний	средний	2000	200	600	10	10				
			г	большой	темный	1500	200	400	20	10				
				большой	средний	1250	200	300	10	10				
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30 включ.	II	а	малый	темный	4000	400	–	20	10	–	–	4,2	1,5
				3500	400	–	10	10						
			б	малый	средний	3000	300	750	20	10				
				средний	Темный	2500	300	600	10	10				
			в	малый	светлый	2000	200	500	20	10				
				средний	средний	1500	200	400	10	10				
			г	большой	темный	1000	200	300	20	10				
				большой	средний	750	200	200	10	10				

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Высокой точности	От 0,31 до 0,50 включ.	III	а	малый	темный	2000 1500	200 200	500 400	40 20	15 15	-	-	3,0	1,2
			б	малый средний	средний темный	1000 750	200 200	300 200	40 20	15 15				
			в	малый средний большой	светлый средний темный	750 600	200 200	300 200	40 20	15 15				
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	400	200	200	40	15				
Средней точности	Св. 0,5 до 1,0 включ.	IV	а	малый	темный	750	200	300	40	20	4	1,5	2,4	0,9
			б	малый средний	средний темный	500	200	200	40	20				
			в	малый средний большой	светлый средний темный	400	200	200	40	20				
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	-	-	200	40	20				
Малой точности	Свыше 1,1 до 5 включ.	V	а	малый	темный	400	200	300	40	20	3	1	1,8	0,6
			б	малый средний	средний темный	-	-	200	40	20				
			в	малый средний большой	светлый средний темный	-	-	200	40	20				
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	-	-	200	40	20				

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	200	–	20	3	1	1,8	0,6
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIII	а	Независимо от характеристики фона и контраста объекта с фоном		–	–	200	–	20	3	1	1,8	0,6
			б			–	–	75	–	–	1	0,3	0,7	0,2
			в			–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями			г			–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1

Таблица 4.2

Значения коэффициента светового климата m

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата m	
		Брестская область, Гомельская область	Остальная территория
В наружных стенах зданий	С	0,9	1
	СВ, СЗ	0,9	1
	З, В	0,9	1
	ЮВ, ЮЗ	0,85	1
	Ю	0,85	0,95
В прямоугольных и трапецевидных фонарях	С-Ю	0,9	1
	СВ-ЮЗ, ЮВ-СЗ	0,9	1
	В-З	0,85	1
В фонарях типа «Шед»	С	0,9	1
В зенитных фонарях	–	1	1
Примечание. С – северная, СВ – северо-восточная, СЗ – северо-западная, В – восточная, З – западная, С-Ю – север-юг, В-З – восток-запад, Ю – южная, ЮЗ – юго-западная.			

При **нормировании искусственного освещения** оценивается освещенность непосредственно на поверхности. При выборе нормы освещенности кроме характера (разряда) зрительной работы необходимо также учесть контраст объекта различения с фоном и характеристику фона, на котором рассматривается этот объект, т. е. определить подразряд зрительной работы (а, б, в или г).

При оценке и нормировании **совмещенного освещения** необходимо по данным табл. 4.1 выбрать нормативную величину КЕО для выполняемого разряда зрительной работы и конструктивного исполнения естественного освещения и освещенность от системы общего искусственного освещения.

Таблица 4.3

Наименьшая освещенность в помещениях общеобразовательных учреждений

Название помещений, рабочей поверхности	Плоскость Г – горизонтальная, В – вертикальная, высота над полом	Освещенность рабочих поверхностей в люксах (лк)		Естественная освещенность КЕО, %	
		при комбинированном освещении	при общем освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
1	2	3	4	5	6
Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, лаборатории	В – 1,5 (на середине доски)	–	400	4,0	1,5
	Г – 0,8 м (на рабочих столах и партах)	–	400		

1	2	3	4	5	6
Кабинеты информатики и вычислительной техники	В – 1,0 м (на экране дисплея) Г – 0,8 м (на рабочих столах)	– 500/300	200 400	3,5	1,2
Кабинеты технического черчения и рисования	В – на доске Г – 0,8 м (на рабочих столах и партах)	– –	500 500	4,0	2,0
Читальные залы	Г – 0,8 м	500/300	400	1,2	2,1
Лингафонные кабинеты	Г – 0,8 м	–	300	3,0	1,0
Спортзалы	Пол, Г – 0,0 В – на уровне 2 м от пола на продольных стенах помещения	–	200 75	2,5	0,7

4.2. Методы расчета освещения

4.2.1. Принципы расчета естественного освещения

Для расчета естественного освещения необходимы следующие основные данные: размеры помещения (длина, ширина, высота); характеристика зрительных работ (наименьший размер объекта различения, мм); вид освещения (боковое, верхнее, комбинированное); место расположения здания (группа административного района по ресурсам светового климата); вид остекления (блочное, ленточное); расстояние до существующего противостоящего здания, высота этого здания до карниза и др.

Расчет естественной освещенности сводится к определению площади световых проемов помещения, выбору типа окон и расчету их количества.

Расчет площади световых проемов при боковом освещении помещений производится по формуле:

$$S_0 = \frac{S_{\Pi} \cdot e_N \cdot K_3 \cdot \eta_0 \cdot K_{зд}}{\tau_0 \cdot r_1 \cdot 100}, \quad (4.3)$$

где S_0 – площадь световых проемов окон (при боковом освещении), м²;
 S_{Π} – площадь пола помещения, м²;
 e_N – нормированное значение коэффициента естественной освещенности;
 K_3 – коэффициент запаса, учитывающий снижение коэффициента естественного освещения и освещенности в процессе эксплуатации вследствие загрязнения и старения светопрозрачных заполнений в световых проемах, источников света (ламп) и светильников, а также снижение отражающих свойств поверхностей помещения (табл. 4.4);

η_0 – световая характеристика окон (табл. 4.5);

$K_{зд}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями (табл. 4.6);

r_1 – коэффициент, учитывающий повышение e_N , благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и земли, прилегающей к зданию (табл. 4.7, 4.8);

τ_0 – общий коэффициент светопропускания, определяемый по формуле:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (4.4)$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала оконного заполнения (табл. 4.9);

τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах окна (табл. 4.10);

τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах (табл. 4.11) (при боковом освещении $\tau_3 = 1$);

τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях (табл. 4.12);

τ_5 – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимается равным 0,9.

Таблица 4.4

Значения коэффициента запаса K_3

Помещения и территории	Искусственное освещение			Естественное освещение			
	Коэффициент запаса K_3			Коэффициент запаса K_3			
	Количество чисток светильников в год			Количество чисток остекления светопроемов в год			
	Эксплуатационная группа светильников			Угол наклона светопропускающего материала к горизонту, град.			
	1-4	5-6	7	0-15	16-45	46-75	76-90
1	2	3	4	5	6	7	8
Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне:							
а) свыше 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	$\frac{2,0}{18}$	$\frac{1,7}{6}$	$\frac{1,6}{4}$	$\frac{2,0}{4}$	$\frac{1,8}{4}$	$\frac{1,7}{4}$	$\frac{1,5}{4}$
б) свыше 1 до 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	$\frac{1,8}{6}$	$\frac{1,6}{4}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,8}{3}$	$\frac{1,6}{3}$	$\frac{1,5}{3}$	$\frac{1,4}{3}$
в) менее 1 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	$\frac{1,5}{4}$	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,4}{1}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,3}{2}$
г) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот, щелочей, а также обладающих большой коррозивирующей способностью	$\frac{1,8}{6}$	$\frac{1,6}{4}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{2,0}{3}$	$\frac{1,8}{3}$	$\frac{1,7}{3}$	$\frac{1,5}{3}$

Таблица 4.5

Значение световой характеристики окна η_0

Отношение длины помещения L_{Π} к его глубине B	Отношения глубины помещения B к расстоянию от уровня условной рабочей поверхности до верха окна h_1							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
4 и более	6,5	7	7,5	8	9	10	11	12,5
3	7,5	8	8,5	9,6	10	11	12,5	14
2	8,5	9	9,5	10,5	11,5	13	15	17
1,5	9,5	10,5	13	15	17	19	21	23
1	11	15	16	18	21	20	26,5	29
0,5	18	23	31	37	45	54	66	–

Примечание.
Глубина помещения B при боковом естественном освещении – расстояние между наружной поверхностью стены со светопроемами и наиболее удаленной от нее стеной помещения.
Длина помещения L_{Π} – расстояние между стенами, перпендикулярными наружной стене.

Таблица 4.6

Значение коэффициента $K_{зд}$

Отношение расстояния до противостоящего здания P к высоте расположения карниза противостоящего здания над подоконником окна H_k	Значение $K_{зд}$
0,5	1,7
1	1,4
1,5	1,2
2	1,1
3 и более	1

Таблица 4.7

Значение коэффициента r_1 при боковом освещении

Отношение B/h_1	Отношение L_{Π}/B	Средневзвешенный коэффициент отражения поверхностей помещения, $\rho_{ср}$								
		0,5			0,4			0,3		
		Отношение длины помещения L_{Π} к его глубине B								
		0,5	1	2 и более	0,5	1	2 и более	0,5	1	2 и более
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
От 1 до 1,5	0	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1,05	1	1
	0,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1
	1	2,1	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3	1,4	1,3	1,2
От 1,5 до 2	0	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1
	0,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05
	0,5	1,8	1,6	1,3	1,5	1,35	1,2	1,3	1,2	1,1
	0,7	2,45	2,15	1,7	2	1,7	1,4	1,55	1,4	1,25
От 2,5 до 3,5	1	3,8	3,3	2,4	2,8	2,4	1,8	2	1,8	1,5
	0,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1	1	1	1
	0,2	1,15	1,1	1,05	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05
	0,3	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05
	0,4	1,35	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1
	0,5	1,6	1,45	1,3	1,35	1,25	1,2	1,25	1,15	1,1
	0,6	2	1,75	1,45	1,6	1,45	1,3	1,4	1,3	1,2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0,7	2,6	2,2	1,7	1,9	1,7	1,4	1,6	1,5	1,3
	0,8	3,6	3,1	2,1	2,35	2	1,55	1,9	1,7	1,4
	0,9	5,3	4,2	3	2,9	2,45	1,9	2,2	1,85	1,5
	1	7,2	5,4	4,3	3,6	3,7	2,4	2,6	2,2	1,7
Более 3,5	0,1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1
	0,2	1,4	1,2	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,05	1,05
	0,3	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,25	1,2	1,1
	0,4	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,4	1,3	1,2
	0,5	3,4	2,9	2,5	2	1,8	3,5	1,7	1,5	1,3
	0,6	4,6	3,8	3,1	2,1	2,1	1,8	2	1,8	1,5
	0,7	6	4,7	3,7	2,9	2,6	2,1	2,6	2	1,7
	0,8	7,4	5,8	4,7	3,4	2,9	2,4	2,6	2,3	1,9
	0,9	9	7,1	5,6	4,3	3,6	3	3	2,6	2,1
	1	10	7,3	5,7	6	4,1	3,5	3,5	3	2,5

Таблица 4.8

Значение коэффициента ρ_1 при боковом двустороннем освещении

Отношение B/h_1	Отношение L_{Π} / B	Средневзвешенный коэффициент отражения поверхностей помещения, $\rho_{\text{ср}}$								
		0,5			0,4			0,3		
		Отношение длины L_{Π} к его глубине B								
		0,5	1	2 и более	0,5	1	2 и более	0,5	1	2 и более
От 1 до 1,5	0	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1,05	1	1
	0,5	1,35	1,25	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	1	1,6	1,4	1,25	1,45	1,3	1,15	1,15	1,15	1,1
От 1,5 до 2	0	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1
	0,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05
	0,5	1,8	1,45	1,25	1,4	1,25	1,15	1,25	1,15	1,1
	0,7	2,1	1,75	1,5	1,75	1,45	1,25	1,3	1,25	1,2
	1	2,35	2	1,6	1,9	1,6	1,5	1,5	1,35	1,2
От 2,5 до 3,5	0,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1	1	1	1
	0,2	1,15	1,1	1,05	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05
	0,3	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05
	0,4	1,35	1,2	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1
	0,5	1,5	1,4	1,25	1,3	1,2	1,15	1,2	1,1	1,1
	0,6	1,8	1,6	1,35	1,5	1,35	1,2	1,35	1,25	1,15
	0,7	2,25	1,9	1,45	1,7	1,5	1,25	1,5	1,4	1,2
	0,8	2,8	2,4	1,9	1,9	1,6	1,3	1,65	1,5	1,25
	0,9	3,65	2,9	2,6	2,2	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3
	1	4,45	3,35	2,65	2,4	2,1	1,6	2	1,7	1,4
Более 3,5	0,1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1
	0,2	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,05	1,05
	0,3	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,25	1,2	1,1
	0,4	2,35	2	1,75	1,6	1,4	1,3	1,25	1,25	1,15
	0,5	3,25	2,8	2,4	1,9	1,7	1,45	1,65	1,5	1,4
	0,6	4,2	3,5	2,85	2,25	2	1,7	1,95	1,7	1,4
	0,7	5,1	4	3,2	2,55	2,3	1,85	2,1	1,8	1,5
	0,8	5,8	4,5	2,6	2,8	2,4	2,95	2,25	2	1,5
	0,9	6,2	4,9	3,8	3,4	2,8	2,3	2,45	2,1	1,7
	1	6,3	6	4	3,5	2,9	2,4	2,6	2,25	1,8

Таблица 4.9

Значение коэффициента τ_1

Вид светопропускающего материала		Значение τ_1
Стекло оконное листовое	одинарное	0,9
	двойное	0,8
	тройное	0,75
Стекло витринное толщиной 6-8мм		0,8
Стекло листовое армированное		0,6
Стекло листовое узорчатое		0,65
Стекло листовое со специальными свойствами	солнцезащитное	0,65
	контрастное	0,75
Органическое стекло	прозрачное	0,9
	молочное	0,6
Пустотелые стеклянные блоки	светорассеивающие	0,5
	светопрозрачные	0,55
Стеклопакеты		0,7

Таблица 4.10

Значение коэффициента τ_2

Вид переплета		Значение τ_2
Переплеты для окон и фонарей промышленных зданий		
Деревянные	одинарные	0,75
	спаренные	0,7
	двойные раздельные	0,6
Стальные	одинарные открывающиеся	0,75
	одинарные глухие	0,9
	двойные открывающиеся	0,6
	двойные глухие	0,9
Переплеты для окон жилых, общественных и вспомогательных зданий		
Деревянные	одинарные	0,8
	спаренные	0,75
	двойные раздельные	0,85
	с тройным остеклением	0,5
Металлические	одинарные	0,9
	спаренные	0,85
	двойные раздельные	0,8
	с тройным остеклением	0,7
Стекложелезобетонные панели с пустотелыми стеклянными блоками при толщине шва	20 мм и менее	0,9
	более 20 мм	0,85

Таблица 4.11

Значение коэффициента τ_3

Несущие конструкции покрытий		Значение τ_3
Стальные фермы		0,9
Железобетонные и деревянные фермы и арки		0,8
Балки и рамы сплошные при высоте сечения	50 см и более	0,8
	менее 50 см	0,9

Значение коэффициента τ_4

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

4.2.2. Принципы расчета искусственного освещения

Основной задачей расчета искусственного освещения является определение необходимой мощности электрической осветительной установки для создания в производственном помещении заданной освещенности или, при известном числе и мощности ламп, определение ожидаемой освещенности на рабочей поверхности.

При проектировании осветительной установки необходимо выполнять следующие требования:

1) *выбрать тип источника света.* Для освещения производственных зданий должны применяться газоразрядные лампы. Если температура воздуха менее +10 °С и напряжение в сети переменного тока может падать ниже 90 % номинального, следует отдать предпочтение лампам накаливания;

2) *выбрать систему освещения.* Экономичнее система комбинированного освещения, но в гигиеническом отношении более совершенна система общего освещения;

3) *выбрать тип светильника* с учетом загрязненности воздушной среды в соответствии с требованиями распределения яркостей в поле зрения и с требованиями взрыво- и пожаробезопасности;

4) *определить количество светильников;*

5) *определить нормируемую освещенность на рабочем месте.* Для этого необходимо определить характер выполняемой работы по наименьшему размеру объекта различения, оценить контраст объекта с фоном и фон на рабочем месте и по ТКП 45-2.04-153–2009 в соответствии с выбранной системой освещения и источником света найти минимальную нормируемую освещенность.

Для расчета искусственного освещения пользуются *методом светового потока* (методом коэффициента использования светового потока), который является основным для расчета общего равномерного освещения производственных помещений.

Световой поток лампы $F_{л}$ при лампах накаливания или световой поток группы ламп светильника при люминисцентных лампах определяется по формуле:

$$F_{л} = \frac{E_{н} \cdot S \cdot K_{з} \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (4.5)$$

где $E_{н}$ – нормированная минимальная освещенность по разряду выполняемых работ согласно табл. 4.1;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

$K_{з}$ – коэффициент запаса, принимаемый согласно табл. 4.4;

Z – коэффициент минимальной освещенности, равный отношению $E_{ср}/E_{\min}$, принимаемый равным 1,15 для ламп накаливания и дуговых ртутных ламп ДРЛ и 1,1 для люминисцентных ламп (при отраженном освещении $Z = 1,0$);

N – количество светильников в помещении;

n – количество ламп с светильнике;

η – коэффициент использования светового потока ламп, зависящий от КПД и кривой распределения силы света светильников, коэффициентов отражения светового потока от потолка $\rho_{пт}$, стен $\rho_{ст}$ и рабочей поверхности $\rho_{р}$, высоты подвеса светильников и размеров помещения.

Таким образом, величина η может быть представлена в виде

$$\eta = \eta_{с} \cdot \eta_{п}, \quad (4.6)$$

где $\eta_{с}$ – коэффициент полезного действия светильника, определяемый согласно табл. 4.14;

$\eta_{п}$ – показатель освещаемого помещения.

Значение $\eta_{п}$ определяется по табл. 4.15 в зависимости от коэффициентов отражения светового потока от потолка $\rho_{пт}$, стен $\rho_{ст}$ и рабочей поверхности $\rho_{р}$, кривых силы света светильников КСС и индекса помещения i , определяемого из отношения

$$i = \frac{A \cdot B}{H_{р} \cdot (A + B)}, \quad (4.7)$$

где A – длина помещения, м;

B – ширина помещения, м;

$H_{р}$ – расчетная высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м.

$$H_{р} = H - (h_{с} + H_0), \quad (4.8)$$

где H – высота помещения, м;

$h_{с}$ – расстояние светильника от перекрытия («свес» светильника), м;

H_0 – высота рабочей поверхности, м.

Значения коэффициентов отражения потолка, стен помещения и рабочей поверхности, в зависимости от используемых материалов, приведены в табл. 4.16.

Необходимое число светильников N определяется в следующем порядке (рис. 4.1).

Определяют расстояние между центрами светильников

$$L = H_p \cdot \gamma, \quad (4.9)$$

где γ – наивыгоднейшее отношение для данного помещения L/H_p .

L рекомендуется принимать 5-6 м для производственных помещений.

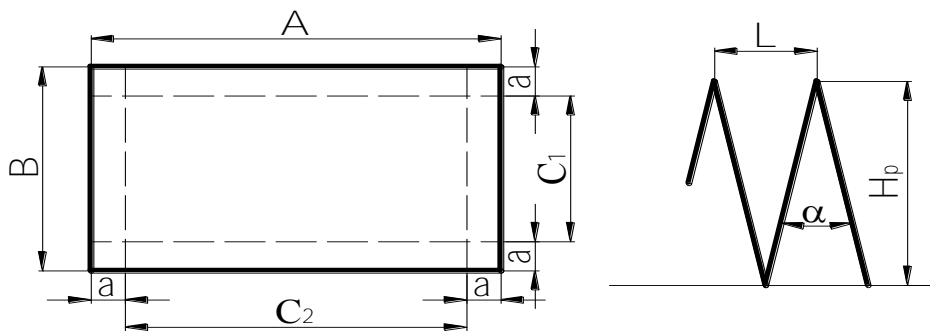


Рис. 4.1. Схема размещения светильников

Для определения коэффициента полезного действия светильника необходимо сначала определить $\gamma = L/H_p$ и по этому значению выбрать классификационную кривую светильника согласно табл. 4.13. Пользуясь данными табл. 4.14 выбрать светильник и соответствующий ему коэффициент полезного действия.

Расстояние от стен до первого ряда светильников при наличии у стен рабочих мест принимается равным $a = 1/3 L$, а при отсутствии рабочих мест у стен – $a = 1/2 L$.

Таблица 4.13

Наиболее выгодные значения $\gamma = L/H_p$ для типовых светильников

Классификационная кривая (КСС)	$\gamma = L/H_p$
Д-1	1,3
Д-2	0,93
Г-1	0,91
Г-2	0,77
Г-3	0,66
Г-4	0,57
К-1	0,49
К-2	0,42
К-3	0,36

Расстояние между крайними рядами светильников, расположенными у противоположных стен равно:

по ширине помещения

$$C_1 = B - 2a, \quad (4.10)$$

по длине

$$C_2 = A - 2a. \quad (4.11)$$

Тогда количество рядов светильников, которые можно расположить между крайними рядами, равно:

по ширине

$$n_1 = (C_1 / L) - 1, \quad (4.12)$$

по длине

$$n_2 = (C_2 / L) - 1. \quad (4.13)$$

Общее количество рядов светильников:

по ширине

$$n' = n_1 + 2, \quad (4.14)$$

по длине

$$n'' = n_2 + 2. \quad (4.15)$$

Тогда общее число светильников в помещении равно

$$N = n' \cdot n''. \quad (4.16)$$

Подсчитав световой поток ламп $F_{л}$, по табл. 4.14 подбирают ближайшую стандартную лампу и определяют электрическую мощность всей осветительной системы. Допускается отклонение потока выбранной лампы от расчетного $-10...+20\%$, в противном случае задается другая схема расположения светильников.

Выбор источников света и осветительных приборов, рекомендуемых для различных производств, необходимо производить согласно табл. 4.17 – 4.20.

Основные параметры светильников

Тип КСС	Типы светильников	КПД (η), %		Тип лампы, мощность, Вт, и световой поток, лм																				
		ρ	ρ	Лампы накаливания								Люминесцентные лампы						Дуговые ртутные лампы						
				60	100	150	200	300	500	1000	1500	15	20	30	40	65	80	125	250	400	700	1000		
				715	1350	2100	2920	4600	8300	18600	29000	1500	760	1180	2100	3000	4650	5220	5600	12500	22000	38500	55000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
Д-1	НСП18, ППД		68																					
	РСП11		60																					
	ПВЛМ, ЛСП12		75		x		x		x							2x								
	ПВЛ1, ЛСП16		60													2x	2x	2x			x			
	ПВЛМ, ЛСП14		65													2x								
Д-2	ППД2РЛ		63																					
	ППД, НСП18		67																					
	УПМ15, НСП22		75		x		x														x			
	НСП01, "Астра", НСП21		76						x	x	x													
	ПВЛМ, ЛСП02		75		x		x									2x	2x	2x						
	ЛСП06		70													2x	2x	2x						
Г-1	СД2ДРЛ, УПД2РЛ, РСП05, РСП08, РСП20		70																	x		x		
	РСП13, РСП17		70																		x		x	
	ППД2ДРЛ		63																x			x		
	РСП17, УПД		75						x							2x					x		x	
	ПВЛМ, ЛСП12		65												2x			2x		x		x		
	ШОД	43	42					x	x						2x			2x						
	ЛД		70													2x		2x						
Г-2	РСП18		70																x	x	x	x	x	
	ЛСП13		75													2x	2x							
Г-3	СЗДРЛ, РСП10, РСП13, РСП17		75				x		x											x	x	x	x	
	РСП05, РСП08, РСП17		80				x	x												x	x	x	x	

Окончание таблицы 4.14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Г-4	РСП14		77																			2х	
	РСП18		75																х	х	х	х	
	ГС, ГсУ		80						х	х	х												
К-1	С35ДРЛ, РСП13		75							х									х	х	х	х	
	РСП08, ГК, ГкУ, РСП05		80							х	х								х	х	х	х	
К-2	РСП10, РСП18		75																х	х	х	х	
К-3	РСП08		80															х	х	х			
	С, СУ		80				х		х														
	ЛСП13		75													2х	2х						

Таблица 4.15

Значения коэффициента использования (показатель освещаемого помещения) $\eta_{\text{п}}$

$\rho_{\text{пр}}$	0,7						0,7						0,7						0,5						
$\rho_{\text{ст}}$	0,5						0,5						0,3						0,5						
$\rho_{\text{р}}$	0,3						0,1						0,1						0,3						
КСС	Индекс помещения /																								
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	
Д-1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79	28	40	49	59	68	74	36	48	57	66	76	85	
Д-2	44	52	68	84	93	103	42	51	64	76	84	92	33	43	56	74	80	76	42	51	65	71	90	85	
Г-1	49	60	75	90	101	106	46	57	71	82	89	94	42	52	69	78	73	76	46	56	65	78	76	84	
Г-2	58	68	82	96	102	109	55	64	78	86	92	96	48	60	73	84	90	94	55	66	80	92	96	103	
Г-3	64	74	85	96	100	105	62	70	79	86	90	93	57	66	76	86	83	91	63	72	83	91	96	100	
Г-4	70	77	84	90	94	99	65	71	78	83	86	87	62	69	76	81	84	85	68	73	81	87	91	94	
К-1	74	83	90	96	100	106	69	76	83	88	91	92	65	73	81	86	89	90	70	78	86	92	96	100	
К-2	75	84	95	104	108	115	71	78	87	96	97	100	67	75	84	93	97	100	72	80	91	99	103	108	
К-3	76	85	96	106	110	116	73	80	90	94	99	102	68	77	86	95	98	101	74	83	93	101	106	110	

Окончание таблицы 4.15

$\rho_{\text{шт}}$	0,5						0,5						0,3						0					
$\rho_{\text{ст}}$	0,5						0,3						0,1						0					
$\rho_{\text{р}}$	0,1						0,1						0,1						0					
КСС	Индекс помещения /																							
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
Д-1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73	27	36	42	52	61	68	21	33	40	49	58	66
Д-2	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86	28	36	48	63	75	81	25	33	47	61	70	78
Г-1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88	35	45	60	73	68	77	34	44	56	71	68	74
Г-2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93	43	54	68	79	85	90	43	53	66	77	82	86
Г-3	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90	53	62	73	80	84	86	53	61	71	78	82	85
Г-4	65	71	78	81	84	85	62	68	74	81	83	85	61	66	72	78	81	83	59	65	71	78	80	81
К-1	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90	62	71	77	83	86	88	60	69	77	84	85	86
К-2	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99	68	72	80	89	93	97	65	71	79	88	92	95
К-3	72	79	88	94	97	99	68	76	85	93	95	99	64	73	83	90	94	97	64	72	81	88	91	94

Таблица 4.16

Значение коэффициента отражения ρ

Материал	Условный коэффициент отражения ρ
Белая краска, белый мрамор, свежая побеленная поверхность	0,7
Светло-серый бетон, белый силикатный кирпич, очень светлые краски (бело-желтая, бледно-зеленая, бледно-розовая)	0,6
Серый бетон, известняк, желтый песчаник, светло-зеленая, бежевая, светло-серая краска, светлые породы мрамора, побеленная в сырых помещениях поверхность	0,5
Серый офактуренный бетон, серая, светло-коричневая, желтая, голубая, зеленая краска, светлое дерево	0,4
Розовый силикатный кирпич, темно-голубая, темно-бежевая, светло-коричневая краска, потемневшее дерево, грязный бетон, светлые обои	0,3
Темно-серый мрамор, гранит, темно-коричневая, синяя, темно-зеленая, красная краска	0,2
Черный гранит, мрамор, грязная поверхность (кузницы), темные обои	0,1

Таблица 4.17

Характерные строительные параметры основных отделений литейных цехов и рекомендуемые источники света и осветительные приборы общего освещения

Отделения цеха	Строительный модуль, м	Высота, м	Источник света	Кривая силы света	Типы светильников
1	2	3	4	5	6
Шихтовой двор и склад формовочных материалов	6x18 6x24	12-18	ДРЛ	Г-3, Г-4, К-1, К-2	С34ДРЛ, РСР05, С35ДРЛ, РСР14
Стержневое, формовочное и плавно-заливочное отделения, отделение первичной обработки литья	6x9 6x12 6x18 6x24 6x30	8-10 8-12 8-18 8-20	ДРЛ	Г-3, Г-4, К-1, К-2	РСР08, РСР10, РСР12, РСР13, УПДРЛ
Смесеподготовительное и смесеприготовительное отделение	6x9 6x12	8-10 8-12	ДРЛ	Г-3, Г-4, К-1, К-2	С34ДРЛ, РСР05, С35ДРЛ, РСР08, РСР10, РСР13, РСР14, УПДРЛ
Отделения выбивки, обруб-ки, очистки литья	6x18 6x24 6x30	8-18 8-20	ДРЛ	Г-3, Г-4	РСР10, РСР12

Окончание таблицы 4.17

1	2	3	4	5	6
Отделение вторичной обработки литья	6x9 6x12 6x18 6x24 6x30	8-10 8-12 8-18 8-20	ДРЛ	Г-3, Г-4, К-1, К-2	С34ДРЛ, РСР05, С35ДРЛ, РСР08, РСР10, РСР13, РСР14, УПДДРЛ

Таблица 4.18

Характерные строительные параметры помещений механических цехов и рекомендуемые источники света и осветительные приборы общего освещения

Строительный модуль, м	Высота, м	Источник света	Кривая силы света	Типы светильников
6x12	6-7,2	ЛЛ	Г-2, Г-1, Д-2	ЛД, ЛСП02, ЛСП13
	3,2-6	ЛЛ	Г-1, Д-2	ЛД, ЛСП02
6x18	4,8-6	ЛЛ	Г-1, Д-2	ЛД, ЛСП02
		ЛЛ	Г-2	ЛСП13
	6-12	ДРЛ	Г-1, Г-2	РСР17, РСР18
		ДРЛ	Г-3, Г-4, К-1	РСР10, РСР17, РСР18, С34ДРЛ, С35ДРЛ
6x24	5,4-6	ЛЛ	Д-1, Г-1	ЛД, ЛСП02
	6-12	ЛЛ	Г-2	ЛСП13
		ДРЛ	Г-1, Г-2	РСР17, РСР18
	12-15	ДРЛ	Г-3, Г-4, К-1	РСР10, РСР17, РСР18, С34ДРЛ, С35ДРЛ
6x30	12,6-15	ДРЛ	Г-3, Г-4, К-1	РСР10, РСР17, РСР18, С34ДРЛ, С35ДРЛ
	15-18	ДРЛ	К-1, К-2	РСР10, РСР17, РСР18, С34ДРЛ, С35ДРЛ

Таблица 4.19

Характерные строительные параметры помещений сборочных цехов и рекомендуемые источники света и осветительные приборы общего освещения

Строительный модуль, м	Высота, м	Источник света	Кривая силы света	Типы светильников
6x9 - 6x18	3,6-6	ЛЛ	Д-2, Г-1	ЛД, ЛСП02, ЛСП06
6x9 - 6x30	6-12	ЛЛ	Г-2	ЛСП13
6x9 - 6x30	6-10	ДРЛ	Г-1	УПДДРЛ, РСР05, РСР08, РСР13, СД2ДРЛ, РСР20, РСР14
6x6 - 6x30	8 и выше	ДРЛ	Г-3	РСР05, РСР08, С34ДРЛ, РСР17
			Г-3, К-2	РСР10, РСР13, С35ДРЛ, РСР18

Таблица 4.20

**Характерные строительные параметры помещений
гальванических цехов и рекомендуемые источники света и
осветительные приборы общего освещения**

Строительный модуль, м	Высота, м	Источник света	Кривая силы света	Типы светильников
Участки мойки, травления, покрытия				
6x6 - 6x18	6-12	ЛЛ	Д-2, Г-1	ЛСП12, ПВЛМ
6x6 - 6x18	6-12	ДРЛ	Д-2, Г-1	УПДДРЛ, РСП11
Участки шлифовки и полировки				
6x6 - 6x18	3-6	ЛЛ	Д-1	ЛСП14, ПВЛП, ПВЛ1

4.3. Расчетные задания по теме

Задача 4.1. Определить необходимую площадь световых проемов при одностороннем боковом естественном освещении помещения длиной $L_{п}$, шириной B . Стены в помещении окрашены в светло-коричневый цвет, потолок белого цвета, пол – темно-коричневый. Окна расположены под углом 90° к горизонту. Высота от рабочей поверхности до верха окна h_1 . Расстояние до здания, расположенного напротив окон P . Высота карниза здания над подоконниками окон в рассматриваемом производственном помещении H_k . Расстояние от окна до самого удаленного от него рабочего места l . Средневзвешенный коэффициент отражения света от поверхностей помещения и земли $\rho=0,3$. Светопроникающий материал – стекло оконное листовое, гладкое, двойное. Вид оконного переплета – деревянные двойные отдельные рамы. Светозащитные устройства – горизонтальные стационарные жалюзи. Несущие конструкции – железобетонные фермы.

Необходимые данные для расчета принимаются по табл. 4.21. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 4.21

Исходные данные для расчета

Исходные данные	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$L_{п}$, м	12,0	9	18	10	15	6	20	9	14	8
B , м	6	4,5	8	6	8	4	10	5	6	4
h_1 , м	3,2	3,0	2,7	3,4	3,6	2,8	4	2,6	2,9	3,8
P , м	12	7	16	8	10	6	11	9	15	14
H_k , м	6	5,3	6,1	5,4	6,0	5,7	5,7	5,5	5,9	6,3
l , м	5	4	7	5,5	7	3,5	9	4,5	5,5	3,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Концентрация пыли в помещении, мг/м ³	0,5	4,3	0,9	2	8	6,4	5	4	2,4	0,8
Разряд зрительной работы	II	III	II	V	VI	IV	II	III	V	VI
Ориентация световых проемов	С	Ю	ЮЗ	З	СВ	В	С	СЗ	Ю	ЮВ
Область	Минская	Брестская	Гомельская	Витебская	Могилевская	Гродненская	Минская	Витебская	Брестская	Гомельская

Порядок расчета

1. По табл. 4.1, зная разряд зрительной работы, определить значение e .
2. Определить коэффициент светового климата m по табл. 4.2.
3. Вычислить нормированное значение e_n по формуле (4.3).
4. Определить отношение длины L_n помещения к глубине помещения (L_n / B), отношение глубины помещения к высоте h_1 от уровня условной рабочей поверхности до верха окон (B / h_1).
5. По табл. 4.5 установить световую характеристику световых проемов η_o .
5. Определить по табл. 4.6 значение коэффициента $K_{зд}$, учитывающего затенение окон противостоящими зданиями в зависимости от отношения расстояния P между рассматриваемым и противостоящим зданием к высоте H_k расположения карниза противостоящего здания над подоконником рассматриваемого окна.
6. Рассчитать значение τ_o по формуле (4.4), предварительно определив значения τ_1, τ_2, τ_3 и τ_4 из табл. 4.9, 4.10, 4.11, 4.12.
7. Вычислить площадь ограждающих конструкций всего помещения (стен, пола, потолка), $S_{ст}, S_{пл}, S_{пт}$.
8. По табл. 4.16 принять коэффициенты отражения стен ($\rho_{ст}$), пола ($\rho_{пл}$), потолка ($\rho_{пт}$).
9. Рассчитать средневзвешенный коэффициент отражения стен, пола, потолка по формуле:

$$\rho_{ср} = \frac{\rho_{ст} \cdot S_{ст} + \rho_{пт} \cdot S_{пт} + \rho_{пл} \cdot S_{пл}}{S_{ст} + S_{пт} + S_{пл}},$$

где $S_{ст}, S_{пт}, S_{пл}$ – соответственно площади стены, потолка и пола.

10. По табл. 4.7 установить значение r_1 .

11. По табл. 4.4 определить коэффициент запаса K_3 , учитывающий загрязнение оконных проемов.

12. Рассчитать площадь световых проемов для одной стороны помещения по формуле (4.3). Установленные расчетом размеры световых проемов допускается изменять на $\pm 10\%$.

13. Определить необходимое количество окон, обеспечивающих равномерное освещение площади помещения, предварительно приняв размеры окна по табл. 4.22.

Количество окон определяется по формуле:

$$n_0 = \frac{\sum S_0}{S_0}$$

где n_0 – количество окон (фонарей), шт;
 S_0 – площадь одного окна (фонаря), m^2 ;
 $\sum S_0$ – общая площадь световых проемов.

Таблица 4.22

Габаритные размеры окон, применяемых в промышленных зданиях

Стальные окна						
Высота, мм	2100	1800	1575	1425	1275	
Ширина, мм	1555	1555	1555	1555	1555	1555
	1260	1260	1260	1260	1260	1260
	1060	1060	1060	1060	1060	1060
	860	860	860	860	860	860
	565	565	665	665	665	665
			565	565	565	565
Деревянные окна						
Высота, мм	1770	1760	1170	1160	860	570
Ширина, мм	2955	2945	2955	2945	1760	1145
	2390	2360	2390	2360	1743	870
	1790	1785	1790	1785	1170	

Задача 4.2. Рассчитать общее равномерное люминесцентное освещение цеха по следующим исходным данным: размеры помещения цеха, коэффициенты отражения потолка, стен и расчетной поверхности, характеристика зрительной работы, параметры светильников. Рабочие места в цехе расположены у стен. Концентрация пыли в цехе 2 мг/м^3 .

Необходимые данные для расчета принимаются по табл. 4.23. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Исходные данные для расчета

Исходные данные	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Размеры помещения, м: высота (H)	6	8	6	8	6	8	10	8	10	8
длина (A)	18	24	30	24	24	18	24	30	24	24
ширина (B)	12	18	6	18	12	12	18	6	18	6
Высота рабочей поверхности (H_0), м	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Коэффициент отражения: потолка ($\rho_{пт}$)	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7
стен ($\rho_{ст}$)	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,5
расчетной поверхности (ρ_p)	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Свес светильников (h_c), м	6	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5
Характеристика зрительной работы	IIВ	IIIВ	IIГ	IIIБ	IIIВ	IIIБ	IVБ	IIIБ	IVБ	IIIБ

Порядок расчета

Расчет производится методом коэффициента использования светового потока.

1. Определить расчетную высоту подвеса светильников H_p по формуле (4.8).

2. Определить $\gamma = L/H_p$ (L рекомендуется принимать 5–6 м для производственных помещений). По этому значению выбрать классификационную кривую светильника согласно табл. 4.13.

3. Пользуясь данными табл. 4.14 выбрать светильник.

4. Определить индекс помещения i по формуле (4.7).

5. Определить по табл. 4.15 в зависимости от коэффициентов отражения светового потока от потолка $\rho_{пт}$, стен $\rho_{ст}$ и рабочей поверхности ρ_p , кривой силы света светильников КСС и индекса помещения i показатель освещаемого помещения $\eta_{п}$.

6. Определить по формуле (4.6) коэффициент использования светового потока η .

7. Определить расстояние (a) от стен до первого ряда светильников. При наличии у стен рабочих мест принимается равным $a = 1/3 L$.

8. Определить расстояние (C_1) между крайними рядами светильников, расположенными у противоположных стен по ширине цеха по формуле (4.10).

9. Определить расстояние (C_2) между крайними рядами светильников, расположенными у противоположных стен по длине цеха по формуле (4.11).

10. Определить количество рядов светильников (n_1), которые можно расположить между крайними рядами по ширине цеха по формуле (4.12).

11. Определить количество рядов светильников (n_2), которые можно расположить между крайними рядами по длине цеха по формуле (4.13).

12. Определить общее количество рядов светильников по ширине (n') по формуле (4.14).

13. Определить общее количество рядов светильников по длине (n'') по формуле (4.15).

14. Определить общее число светильников в помещении (N) по формуле (4.16).

15. Выбрать по табл. 4.4 коэффициент запаса (K_3) с учетом концентрации пыли в помещении.

16. Определить нормированную минимальную освещенность E_n по ряду выполняемых работ согласно табл. 4.1.

17. Определить световой поток $F_{л}$ по формуле (4.5).

18. По полученному результату расчета, т.е. требуемому световому потоку, выбрать ближайшую стандартную лампу (табл. 4.14) для выбранного типа светильника. При выборе ближайшей стандартной лампы по полученному в результате расчета световому потоку допускается отклонение светового потока лампы не более чем на $-10...+20\%$. Для этого выполняется проверка по формуле:

$$\Delta = \frac{F_{\text{станд}} - F_{л}}{F_{л}} \cdot 100\%$$

где $F_{\text{станд}}$ – световой поток лампы, принятый по табл. 4.5.

19. При невозможности выбора лампы с таким приближением корректируется количество светильников.

20. Определить мощность системы освещения

$$P = P_{л} \cdot N \cdot n,$$

где $P_{л}$ – мощность лампы, принятая по табл. 4.5.

5. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ

5.1. Источники, характеристика и классификация шума

В зависимости от происхождения шум подразделяется на:

механический (возникает при движении, соударении, трении деталей машин и механизмов);

аэро(гидро)динамический (возникает при движении газа, пара, жидкости в результате пульсации давления из-за турбулентного перемешивания потоков);

термический (возникает при турбулизации потока и флуктуации плотности газов при горении, а также мгновенном изменении интенсивности выделения тепла, приводящего к мгновенному повышению давления при взрыве или разряде);

взрывной (импульсный) при работе двигателей внутреннего сгорания.

При рассмотрении шума используются следующие термины и определения:

шум (звук) – упругие колебания в частотном диапазоне, воспринимаемом органом слуха человека, распространяющиеся в виде волн в газообразных средах или образующие в ограниченных областях этих сред стоячие волны;

допустимый уровень шума – такой уровень шума, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к шуму;

звуковое давление – переменная составляющая давления воздуха или газа, возникающая в результате звуковых колебаний, Па;

максимальный уровень звука – уровень звука, соответствующий максимальному показанию измерительного прибора при визуальном отсчете, или значение уровня звука, превышаемое в течение 1% времени измерения при регистрации автоматическим устройством, дБА;

предельно допустимый уровень (ПДУ) шума – уровень шума, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всей трудовой деятельности, не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья человека, дБА;

уровень звука – выраженное в логарифмических единицах отношение среднего квадратического значения звукового давления, скорректированного по стандартизованной частотной характеристике «А», к стандартизованному исходному значению звукового давления, равному $2 \cdot 10^{-5}$ Па, дБА;

уровень звукового давления – выраженное в логарифмических единицах отношение среднего квадратического значения звукового давления в определенной полосе частот к стандартизованному исходному значению звукового давления, равному $2 \cdot 10^{-5}$ Па, дБА;

эквивалентный по энергии уровень звука непостоянного шума – уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет такое же среднее квадратическое звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение заданного интервала времени, дБА.

С физической стороны шум характеризуется частотой колебаний, звуковым давлением, интенсивностью или силой звука. При распространении звуковой волны происходит перенос энергии. Энергия, переносимая звуковой волной в единицу времени через поверхность, перпендикулярную направлению распространения волны, называется *интенсивностью звука I*.

$$I = P^2 / (\rho \cdot c),$$

где P – звуковое давление;

ρ – плотность среды распространения звука;

c – скорость звука в воздухе.

Ухо человека воспринимает слышимые звуковые колебания воздуха с частотой от 16 до 20000 Гц. Колебания с частотой ниже 16 Гц называются инфразвуковыми, а свыше 20000 Гц – ультразвуковыми. Инфразвук и ультразвук не вызывают слуховых ощущений, но оказывают биологическое действие на организм человека. Слуховой аппарат человека обладает неодинаковой чувствительностью к звукам различной частоты (рис. 5.1). Минимальное звуковое давление и минимальная интенсивность звуков, воспринимаемых слуховым аппаратом человека, определяют порог слышимости.

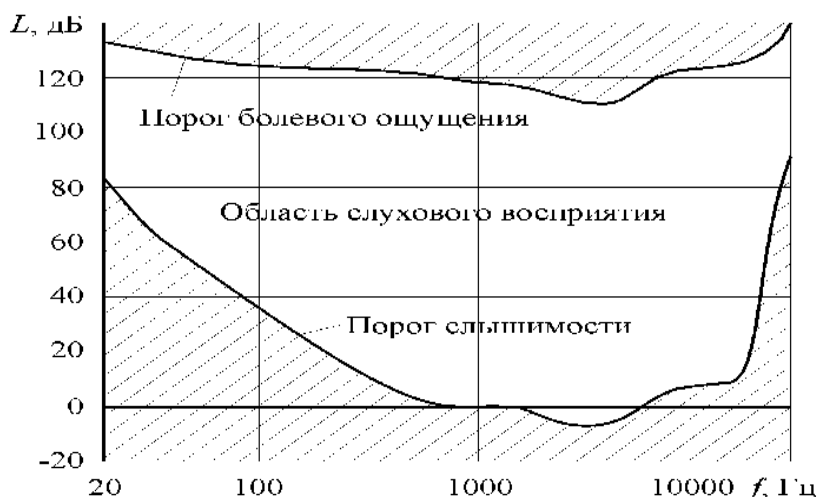


Рис. 5.1. Область слухового восприятия человека

За эталонный принят звук с частотой 1000 Гц. При этой частоте порог слышимости по интенсивности составляет $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², а соответствующее ему звуковое давление $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па. Верхняя граница воспринимаемых человеком звуков принимается за порог болевого ощущения. При час-

тоте 1000 Гц порог болевого ощущения возникает при $I = 10 \text{ Вт/м}^2$ и $P = 2 \cdot 10^2 \text{ Па}$. Между порогом слышимости и болевым порогом лежит область слышимости.

Ухо человека реагирует не на абсолютное, а на относительное изменение интенсивности звука. По закону Вебера – Фехнера раздражающее действие шума на человека пропорционально не квадрату звукового давления, а логарифму от него. Поэтому для характеристики шума пользуются двумя логарифмическими величинами: уровнем интенсивности L_I и уровнем звукового давления L_P , выражаемыми в децибелах (дБ):

$$L_I = 10 \lg(I/I_0), \text{ дБ},$$

$$L_P = 20 \lg(P/P_0), \text{ дБ},$$

где I – интенсивность звука в данной точке, Вт/м^2 ;

$I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ – интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости при частоте 1000 Гц;

P – среднее квадратическое значение звукового давления в определенной полосе частот, Па;

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ – исходное значение звукового давления в воздухе на частоте 1000 Гц.

1 дБ – едва заметное на слух изменение громкости, соответствующее изменению интенсивности звука на 26% или звукового давления на 12%.

Логарифмическая шкала в децибелах (0...140) позволяет определить чисто физическую характеристику шума независимо от частоты. Наибольшая чувствительность слухового аппарата человека характерна для средних и высоких частот (800...1000 Гц), наименьшая – для низких (20...100 Гц). Поэтому, чтобы приблизить результаты объективных измерений к субъективному восприятию, введено понятие скорректированного уровня звукового давления. Суть коррекции – введение зависящих от частот звука поправок к уровню соответствующей величины. Наиболее употребительна коррекция A . Скорректированный уровень звукового давления ($L_A = L_P - \Delta L_A$) называется уровнем звука и измеряется в дБА.

Весь диапазон частот разбивают на октавные полосы частот и определяют мощность процесса, приходящегося на каждую полосу. Чаще всего используют октавные ($f_2/f_1 = 2$) и 1/3-октавные ($f_2/f_1 = \sqrt[3]{2}$) полосы частот, где f_2 и f_1 – верхняя и нижняя граничные частоты соответственно. При этом в качестве частоты, характеризующей полосу в целом, берется среднегеометрическая частота f .

$$f = \sqrt{f_1 \cdot f_2}.$$

Октавную полосу (22,4...45) Гц выражает среднегеометрическая частота 31,5 Гц; (45...90) Гц – 63 Гц; (90...180) Гц – 125 Гц; (180...355) Гц – 250 Гц и т.д. В результате сформирован стандартный ряд из 9 октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

В соответствии с ГОСТ 12.1.003 «Шум. Общие требования безопасности» и Санитарными нормами, правилами и гигиеническим нормативом «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» (утв. постановлением Министерства здравоохранения 16.11.2011 г. № 115) шумы классифицируются:

по характеру спектра на:

широкополосный шум – шум с непрерывным спектром шириной более одной октавы;

тональный шум – шум, в спектре которого имеются выраженные дискретные (тональные) составляющие (превышение уровня звукового давления в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ);

по временным характеристикам на:

постоянный шум – шум, уровень звука которого за 8-часовой день (рабочую смену) или за время измерения изменяется во времени не более чем на 5 дБА;

непостоянный шум – шум, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) или за время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени более чем на 5 дБА.

Непостоянный шум подразделяется на:

колеблющийся шум – шум, уровень звука которого непрерывно изменяется во времени;

прерывистый шум – шум, уровень звука которого изменяется во времени ступенчато (на 5 дБА и более), причем длительность интервалов, в течение которых уровень звука остается постоянным, составляет 1 с и более;

импульсный шум – шум, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов каждый длительностью менее 1с.

5.2. Воздействие шума на организм человека

Интенсивное шумовое воздействие вызывает в слуховом анализаторе изменения, составляющие специфическую реакцию организма. Процесс адаптации слуховой системы выражается во временном смещении (повышение порогов слуховой чувствительности).

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но и в первую очередь действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди проявлений неблагоприятного воздействия

шума на организм можно выделить снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда и появление шумовой патологии, нарушение координации движений, шум травмоопасен.

Среди многообразных проявлений шумовой патологии ведущим клиническим признаком является медленно прогрессирующее снижение слуха по типу кохлеарного неврита. Развитие хронической профессиональной тугоухости – процесс длительный и постепенный. Время протекания этого процесса различно и зависит от интенсивности, спектра, динамики изменения воздействия шума во времени, индивидуальной чувствительности к шуму, а также многих других факторов. Типичная картина акустической кривой на ранних стадиях развития процесса обычно характеризуется максимальной потерей слуха на частоте около 4000 Гц. Снижение слуха на 10 дБ практически неощутимо, на 20 дБ едва заметно. Только потеря слуха более чем на 20 дБ начинает серьезно мешать человеку. Субъективное ощущение понижения слуха наступает по мере прогрессирования процесса, когда снижение восприятия затрагивает область звуковых частот 500, 1000, 2000 Гц. Оно развивается медленно и постепенно увеличивается со стажем работы.

При действии интенсивного шума изменения со стороны нервной системы значительно более выражены и предшествуют развитию патологии органа слуха. У рабочих преобладают жалобы на головные боли, несистематические головокружения, снижение памяти, повышенную утомляемость, нарушение сна, сердцебиения и боли в области сердца, снижение аппетита и др.

Согласно Гигиеническому нормативу «Критерий оценки комбинированного действия шума и вибрации на организм работающих» (утв. постановлением Министерства здравоохранения 12.11.2012 г. № 173) при комбинированном воздействии шума и вибрации с уровнями, превышающими предельно допустимые, в течение более 50 % времени рабочей смены вредность условий труда необходимо устанавливать на 1 степень выше относительно наибольшей степени вредности одного из факторов. Если по одному из факторов (шум или вибрация) установлен класс вредности 3.4, то при их комбинированном воздействии с уровнями, превышающими предельно допустимые, в течение более 50 % времени рабочей смены условия труда необходимо относить к опасным.

5.3. Нормирование шума

Нормируемыми параметрами постоянного шума на рабочих местах и в транспортных средствах являются:

уровни звукового давления L_p (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц;
уровень звука L_A (дБА).

Оценка постоянного шума на рабочих местах на соответствие предельно допустимым уровням должна проводиться как по уровням звукового давления, так и по уровню звука. Превышение хотя бы одного из указанных показателей квалифицируется как несоответствие санитарным нормам.

Нормируемыми параметрами непостоянного шума на рабочих местах являются:

эквивалентный (по энергии) уровень звука непостоянного шума, определяемый по формуле:

$$L_{A\text{экв}} = 10 \lg \left\{ T^{-1} \int_0^T [P_A(t) / P_0]^2 dt \right\},$$

где $P_A(t)$ – текущее значение среднего квадратического звукового давления с учетом коррекции «А» шумомера, Па;

P_0 – исходное значение звукового давления (в воздухе $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па);

T – время действия шума, ч;

максимальный уровень звука (дБА) – уровень звука, соответствующий максимальному показанию шумомера при визуальном отсчете, или значение уровня звука, превышаемое в течение 1% времени измерения при регистрации автоматическим устройством.

Предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровни звука постоянного шума, а также эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест с учетом условий тяжести и напряженности труда указаны в табл. 5.1.

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с разными условиями тяжести и напряженности труда, не указанные в табл. 5.1, определяются по табл. 5.2.

Для тонального и импульсного шума ПДУ принимается на 5 дБ (дБА) меньше значений, указанных в табл. 5.1 и 5.2. Для шума, создаваемого в помещениях установками кондиционирования воздуха, вентиляции и воздушного отопления, ПДУ принимаются на 5 дБ (дБА) меньше значений, указанных в табл. 5.1 и 5.2.

Для колеблющегося во времени и прерывистого шума максимальный уровень звука не должен превышать 110 дБА, а для импульсного шума – 125 дБА.

Пребывание людей в зонах с уровнем звука или уровнем звукового давления в любой октавной полосе свыше 135 дБА (дБ) запрещается.

Таблица 5.1

Предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровни звука постоянного шума, а также эквивалентные по энергии уровни звука непостоянного шума для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест с учетом условий тяжести и напряженности труда

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные по энергии уровни звука непостоянного шума, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, обучение и воспитание, медицинская деятельность. Рабочие места проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, для приема пациентов в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2. Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
3. Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами; работа, требующая постоянного слухового контроля: операторская работа по точному графику с инструкцией; диспетчерская работа. Рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону; машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4. Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами. Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления, без речевой связи по телефону; в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Окончание таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5. Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий (за исключением работ, перечисленных в пп.1-4)	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Подвижной состав железнодорожного и городского рельсового транспорта										
6. Рабочие места в кабинах машинистов тепловозов, электровозов, поездов метрополитена, дизель-поездов и автомотрис	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
7. Рабочие места в кабинах машинистов поездов дальнего следования и пригородных электропоездов, в кабинах водителей и обслуживающего персонала пассажирских помещений трамваев	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
8. Помещения для персонала вагонов поездов дальнего следования, служебные помещения рефрижераторных секций, вагонов-электростанций, помещения для отдыха багажных и почтовых отделений	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
9. Служебные помещения багажных и почтовых вагонов, вагонов-ресторанов, межобластных вагонов	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70
Морские, речные, рыбопромысловые и другие суда										
10. Рабочая зона в помещениях машинного (энергетического) отделения судов с постоянной вахтой	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
11. Рабочие зоны в центральных постах управления судов	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
12. Рабочие зоны в служебных помещениях судов	89	75	66	59	54	50	47	45	44	55
13. Производственно-технологические помещения на судах рыбной промышленности	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Автобусы, троллейбусы, грузовые, легковые и специальные автомобили, а также грузопассажирские автомобили и другой автомобильный транспорт, предназначенный для перевозки пассажиров										
14. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала грузовых автомобилей	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
15. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала троллейбусов, а также грузопассажирских автомобилей и другого автомобильного транспорта, предназначенного для перевозки пассажиров	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70
Сельскохозяйственные машины и оборудование, строительно-дорожные, мелиоративные и другие аналогичные виды машин										
16. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала тракторов самоходных шасси, прицепных и навесных сельскохозяйственных машин, строительно-дорожных и других аналогичных машин	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Пассажирские и транспортные самолеты и вертолеты										
17. Рабочие места в кабинах и салонах самолетов и вертолетов	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Таблица 5.2

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные по энергии уровни звука непостоянного шума на рабочих мест с разными условиями тяжести и напряженности труда, не указанных в таблице 5.1

Классы условий по напряженности труда	Уровни звука и эквивалентные по энергии уровни звука на рабочих местах для разных условий тяжести труда, дБА
Класс условий по тяжести труда – оптимальные и допустимые	
Оптимальные, допустимые	80
Вредные 1 степени	65
Вредные 2 степени	50
Класс условий по тяжести труда – вредные 1 степени	
Оптимальные, допустимые	75
Вредные 1 степени	65
Класс условий по тяжести труда – вредные 2 степени	
Оптимальные, допустимые	75

5.4. Способы и средства защиты от шума

Мероприятия по борьбе с шумом могут быть техническими, архитектурно-планировочными, организационными и медико-профилактическими. Технические средства борьбы с шумом ведутся по трем основным направлениям – устранение причин возникновения шума или снижение его в источнике образования за счет конструктивных, технологических и эксплуатационных мероприятий; снижение шума на пути его распространения от источника к рабочим местам; непосредственная защита работающих.

Снижение шума в источнике его возникновения. Наиболее эффективным средством снижения шума является замена шумных технологических операций на малошумные или полностью бесшумные. Однако этот путь борьбы с шумом не всегда возможен, поэтому большое значение имеет снижение его в источнике. Этого можно добиться усовершенствованием конструкции или схемы установки, производящей шум, изменением режима ее работы, использованием в конструкции материалов с пониженными акустическими свойствами, оборудованием на источнике шума звукоизолирующих устройств или ограждений.

Методы снижения шума на пути его распространения. Снижение шума на пути его распространения от источника в значительной степени достигается проведением строительно- акустических мероприятий, требования к которым содержатся в ТКП 45-2.04-154-2009 «Защита от шума» и реализуются применением: кожухов, экранов, кабин наблюдения (при дистанционном управлении), звукоизолирующих перегородок между помещениями, звукопоглощающих облицовок, глушителей шума.

При **звукоизоляции** большая часть звуковой энергии отражается от преграды, часть энергии поглощается самой преградой и лишь незначительная ее часть проникает за ограждение. В качестве звукоизолирующих пре-

град используются акустические экраны, кожухи, кабины. Значительный эффект снижения шума оборудования дает применение *акустических экранов*, отгораживающих шумный механизм или источник шума от рабочего места или зоны обслуживания. Действие акустического экрана основано на отражении звуковых волн и образовании за экраном области звуковой тени. Эффект экранной защиты проявляется наиболее заметно в области высоких и средних частот и менее эффективен в области низких частот из-за значительной дифракции длинных волн, которые соизмеримы или больше линейных размеров экрана. *Звукоизолирующие кожухи* из листового металла с внутренней облицовкой звукопоглощающим материалом могут снижать шум на 20-30 дБ. В качестве материала для изготовления обшивки кожуха могут быть использованы сталь, алюминиевые сплавы, фанера, ДСП, стеклопластик. Звукоизолирующая способность кожуха определяется физическими параметрами материалов и конструктивными размерами его элементов. *Звукозащитные кабины* устанавливаются на автоматизированных линиях у постов управления там, где возможно на длительный срок изолировать человека от источника шума. Изготавливают кабины из стали, из ДСП и т.д. Окна с двойными стеклами по всему периметру заделываются резиновой прокладкой, двери выполняются двойными с резиновыми прокладками по периметру.

Звукопоглощение заключается в использовании шумопоглощающих конструкций или материалов, которыми облицовывают потолки и стены помещений. Процесс поглощения звука в материале происходит за счет перехода звуковой энергии в тепловую в результате вязкого трения воздуха в порах материала. Звукопоглощающие материалы по своей структуре являются пористыми (пенопласт, поролон, технический войлок, минеральная вата, керамзит, гипсовые плиты и др.). Применение звукопоглощающих облицовок для отделки потолка и стен шумных помещений приводит к изменению спектра шума в сторону более низких частот, что даже при относительно небольшом снижении уровня существенно улучшает условия труда (величина снижения уровня шума в зоне отраженного звука достигает 8–10 дБ в области низких и 10–12 дБ в области высоких частот).

Глушители шума – эффективные средства борьбы с шумом, возникающим при заборе воздуха и выбросе отработанных газов в вентиляторах, воздуховодах, пневмоинструменте, газотурбинных, дизельных, компрессорных установках. По принципу действия глушители шума делятся на глушители *активного (диссипативного)* типа и *реактивного (отражающего)* типа. В глушителях активного типа снижение шума происходит за счет превращения звуковой энергии в тепловую в звукопоглощающем материале, размещенном во внутренних полостях. В глушителях реактивного типа шум снижается за счет отражения энергии звуковых волн в системе расширительных и резонансных камер, соединенных между собой и с объемом воздуховода с помощью труб, щелей и отверстий. Шум снижается за счет отражения энергии звуковых волн. Камеры могут быть внутри облицованы

звукопоглощающим материалом; тогда в низкочастотной области они работают как отражатели, а в высокочастотной – как поглотители звука. Глушители, в которых существенно и поглощение, и отражение, называют комбинированными. В последние годы получил распространение новый вид активных глушителей шума из пористых материалов (поролон, пенопласт, высокопористые металлы и керамика). Уменьшение уровня звуковой мощности в этих глушителях обусловлено большими потерями на трение в порах материала при прохождении через него воздуха. Снижение уровня звуковой мощности в таких глушителях составляет от 15 дБ на низких и средних частотах до 25 – 30 дБ на высоких.

Средства индивидуальной защиты в зависимости от конструктивного исполнения делятся на наушники, вкладыши, шлемы и каски, костюмы. Наушники закрывают ушную раковину снаружи. Вкладыши перекрывают наружный слуховой проход или прилегают к нему. Шлемы и каски закрывают часть головы и ушную раковину. Противозумные костюмы закрывают тело человека и голову (или ее часть). *Вкладыши* изготавливаются из мягких эластичных материалов – резины, пластмасс, различного волокна. Эффективность вкладышей составляет 7 - 15 дБ. *Наушники* обладают большей эффективностью, чем вкладыши, в области средних и высоких частот (30 - 40 дБ). *Шлемы* закрывают большую часть головы и защищают ее не только от шума, но и от ушибов, холода и др. Шлемы применяют для защиты от особо интенсивного шума, когда он воспринимается не только органом слуха, но и проникает в организм вследствие костной проводимости через кости черепа.

Важнейшее значение имеет проведение предварительных и периодических *медицинских осмотров*.

5.5. Оценка эффективности мероприятий по снижению шума

Оценка социально-экономической эффективности мероприятий по снижению шума связана со степенью акустической безопасности труда, которая характеризуется вероятностью отсутствия повреждения слуха.

Социальный ущерб от производственного шума определяется числом рабочих, получивших повреждение слуха, а социальная эффективность мероприятий по снижению шума – их оздоровительным эффектом, т.е. уменьшением заболеваемости. Вероятность P повреждения слуха в зависимости от эквивалентного уровня звука и продолжительности его действия на человека приведена в табл. 5.3. При общем числе D работающих в данных производственных условиях число рабочих с поврежденным слухом будет $P \cdot D$.

Социальная эффективность мероприятий по снижению шума, %

$$C = (1 - P_2 \cdot D_2 / (P_1 \cdot D_1)) \cdot 100,$$

где D_1 и D_2 – число работающих;

P_1 и P_2 – вероятность повреждения слуха (табл. 5.3) соответственно до и после изменения интенсивности и продолжительности действия шума.

Таблица 5.3

Вероятность P повреждения слуха

Эквивалентный уровень звука L_A , дБА	Продолжительность работы t , лет				
	5	10	15	20	25
85	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07
90	0,04	0,1	0,14	0,16	0,16
95	0,07	0,17	0,24	0,28	0,29
100	0,12	0,29	0,37	0,42	0,43
105	0,18	0,48	0,53	0,58	0,60
110	0,26	0,55	0,71	0,78	0,78
115	0,36	0,71	0,83	0,87	0,84

Положительному социальному эффекту отвечают значения $C > 0$.

Экономический ущерб вследствие неблагоприятного действия производственного шума характеризуется увеличением затрат труда на производство единицы продукции, обусловленных ростом числа дней временной нетрудоспособности, частичной утратой общей трудоспособности, повышенным утомлением здоровых рабочих, а в некоторых случаях и более ранним выходом на пенсию и дополнительным отпуском.

Полные трудовые потери вследствие профессионально обусловленной заболеваемости составляют:

$$\Delta\Pi_1 = 0,16 (L_A - 85), \%$$

При эквивалентном уровне звука на рабочем месте $L_A < 85$ дБА повышенная заболеваемость рабочих вследствие производственного шума не наблюдается.

Полные трудовые потери вследствие повреждения слуха, вызывающего частичную стойкую утрату общей трудоспособности, и повышенного утомления здоровых рабочих через t_0 лет при действии шума с эквивалентным уровнем звука L_A в течение t лет составит

$$\Delta\Pi_2 = 2 \cdot \left(\Delta T_1 + \frac{t_0 - t}{t} \Delta T_2 \right), \%$$

где $\Delta T_1 = 7,5 \cdot 3^{1/\alpha} \beta^{-1}$ – средняя степень утраты общей трудоспособности вследствие повреждения слуха и повышенного утомления здоровых рабочих, отнесенная ко всем рабочим, через t лет работы в условиях шума;

$\Delta T_2 = 7,5 \cdot 3^{1/\alpha} \beta^{-1} \{1 - [1 - P(t)]^\beta\}$ – средняя степень утраты трудоспособности всех рабочих вследствие повреждения слуха у части из них.

$$\alpha = \lg[1 - P(10)]^{-1} \cdot \lg[1 - P(t)] - 1,$$

$$\beta = 1 + 0,477 / \lg[1 - P(10)],$$

где $P(t)$ и $P(10)$ – вероятность повреждения слуха при заданном эквивалентном уровне звука соответственно через t и 10 лет работы.

Полные трудовые потери вследствие профессионально обусловленной заболеваемости, повреждения слуха и повышенной утомляемости здоровых рабочих

$$\Delta\Pi = \Delta\Pi_1 + \Delta\Pi_2.$$

Ежегодный экономический ущерб в руб./год от вредного воздействия производственного шума через t_0 лет может быть вычислен по формуле:

$$y = \frac{1,5 \cdot Z \cdot D}{100} \Delta\Pi,$$

где Z – среднегодовая заработная плата рабочего, руб.;

D – число рабочих, подвергающихся действию шума.

При оценке экономической эффективности применения средств защиты от шума наибольший интерес представляет определение годового экономического эффекта, усредненного за нормативный срок окупаемости капитальных вложений, руб./год

$$\Xi = \frac{1,5\bar{Z} \cdot D}{100} \cdot (\Delta\bar{\Pi}_1 - \Delta\bar{\Pi}_2) - (KN + C_3),$$

где $\Delta\bar{\Pi}_1$ и $\Delta\bar{\Pi}_2$ – ежегодные полные трудовые потери, %, усредненные за нормативный срок окупаемости, при работе в условиях шума с эквивалентными уровнями звука на рабочих местах до и после применения средств защиты от шума;

\bar{Z} – средняя за нормативный срок окупаемости годовая заработная плата рабочего, руб.;

K – капитальные вложения в средства защиты от шума, руб.;

N – нормативный срок окупаемости капитальных вложений, год;

C_3 – среднегодовые эксплуатационные расходы на средства защиты от шума, руб.

Средняя годовая заработная плата приближенно равна

$$\bar{Z} = Z_0 (1 + \alpha \cdot N/200),$$

где Z_0 – среднегодовая заработная плата рабочего в первый год после снижения шума, руб./год;

α – темпы роста заработной платы (производительности труда), %.

Стоимость средств защиты от шума и их эксплуатации, как правило, мало влияет на значение экономического эффекта.

5.6. Расчетные задания по теме

Задача 5.1. Определить суммарный уровень шума в производственном помещении при работе пяти металлорежущих станков по данным табл. 5.4. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 5.4

Исходные данные для расчета

Исходные данные	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Уровень шума станков (L), дБА										
первого	89	90	88	93	87	91	86	86	84	92
второго	86	87	86	88	85	89	85	84	81	90
третьего	81	84	80	82	80	85	81	80	79	85
четвертого	79	78	75	77	75	80	76	77	76	81
пятого	76	76	73	74	74	77	73	75	71	78

Порядок расчета

1. Определить разность уровней шума первого и второго станков

$$\Delta L_{1-2} = L_1 - L_2 \text{ при } L_1 > L_2.$$

2. Определить добавку ΔL_{1-2} к большему уровню шума по найденной выше разнице (см. табл. 5.5).

Таблица 5.5

Добавки для энергетического суммирования уровней шума

Разность двух складываемых уровней, дБА	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Добавка к более высокому уровню, дБА	3,0	2,5	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

3. Определить суммарный уровень шума первого и второго станков

$$L_{\text{сум1-2}} = L_1 + \Delta L_{1-2}.$$

4. Определить разность уровней суммарного шума первого и второго станка $L_{\text{сум1-2}}$ и третьего станка L_3 и добавку ΔL_{1-2-3} .

5. Продолжить решение задачи аналогичным образом. При превышении уровня шума на рабочих местах в сравнении с ПДУ предусмотреть мероприятия по его снижению.

Задача 5.2. Определить эквивалентный уровень непостоянного (прерывистого) шума по данным табл. 5.6. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 5.6

Исходные данные для расчета

Исходные данные	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Уровень звука по ступеням L_{A1} , дБА:									
I ступень	92	90	90	87	84	90	89	95	91	88
II ступень	88	85	84	81	80	83	84	87	83	83
III ступень	83	80	79	77	75	77	79	78	75	77
	Продолжительность действия шума на ступенях, мин:									
I ступень	40	30	45	120	150	160	180	20	60	90
II ступень	170	160	375	150	150	120	150	250	320	120
III ступень	270	290	60	210	180	200	150	210	100	270

Порядок расчета

1. Определить поправки ΔL_{A1} к значениям уровней звука L_{A1} в зависимости от продолжительности воздействия шума в соответствии с табл. 5.7.

Таблица 5.7

Поправки к уровням звука в зависимости от времени воздействия шума

Продолжительность воздействия прерывистого шума, мин	480	420	360	300	240	180	120	60	30	15	6
Поправка ΔL_{A1} , дБА	0	0,6	1,2	2,0	3,0	4,2	6,0	9,0	12,0	15,1	19,0

2. Вычислить разность $L_{A1} - \Delta L_{A1}$, т.е. уровень звука с учетом поправки для каждой ступени шума. Полученные разности энергетически суммировать, для чего:

- вычислить разность 2-х наиболее высоких складываемых уровней звука;
- определить добавку к более высокому уровню в соответствии с табл. 5.6;
- прибавить добавку к более высокому уровню;
- затем аналогичные действия произвести с полученной суммой и третьим уровнем, потом – с полученной суммой и четвертым уровнем и т.д.

3. После определения значения эквивалентного уровня звука непостоянного шума необходимо сравнить его с допустимым эквивалентным

уровнем звука на постоянном рабочем месте, равным 80 дБА, и при превышении данной величины указать защитные средства по снижению воздействия шума на работающих.

Пример расчета.

Определить эквивалентный уровень непостоянного (прерывистого) шума по данным, приведенным в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Исходные данные для расчета

Степень	Уровень звука по ступеням, L_{AI} , дБ	Продолжительность ступени, мин
I	90	240
II	88	150
III	85	90

1. Определяем поправки ΔL_{AI} (табл. 5.7):

для I ступени шума $\Delta L_{AI} = 3,0$ дБА;
 для II ступени шума $\Delta L_{AI} = 5,1$ дБА;
 для III ступени шума $\Delta L_{AI} = 7,5$ дБА.

2. Определяем разности $L_{AI} - \Delta L_{AI}$, т.е. уровни звука с учетом поправки:

для I ступени шума $L_{AI} - \Delta L_{AI} = 90 - 3 = 87,0$ дБА;
 для II ступени шума $L_{AI} - \Delta L_{AI} = 88 - 5,1 = 82,9$ дБА;
 для III ступени шума $L_{AI} - \Delta L_{AI} = 85 - 7,5 = 77,5$ дБА.

3. Разность двух наиболее высоких уровней шума (для I и II ступеней):

$$87,0 - 82,9 = 4,1 \text{ дБА.}$$

Добавка к наиболее высокому уровню 1,5 дБА (табл. 5.5).

4. Суммарный уровень шума для I и II ступеней:

$$87,0 + 1,5 = 88,5 \text{ дБА.}$$

5. Разность суммарного уровня шума на I и II ступенях и уровня шума III ступени:

$$88,5 - 77,5 = 11 \text{ дБА. Добавка} - 0,4 \text{ дБА.}$$

6. Эквивалентный уровень непостоянного шума:

$$88,5 + 0,4 = 88,9 \text{ , т.е. } 89 \text{ дБА.}$$

6. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ВИБРАЦИЯ

6.1. Источники, характеристика и классификация вибрации

Вибрация – механические колебания и волны в твердых телах. Вибрация приводит тело или его части в колебательное движение с периодически противоположно направленными смещениями относительно положения равновесия, сопровождающееся затратой на эти перемещения механической энергии, получаемой от источника колебаний в зоне контакта тела с вибрирующей поверхностью.

По *направлению действия* вибрация подразделяется на:

общую, действующую вдоль осей ортогональной системы координат X_0 , Y_0 , Z_0 , где X_0 (от спины к груди) и Y_0 (от правого плеча к левому) – горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям; Z_0 – вертикальная ось, перпендикулярная опорным поверхностям тела в местах его контакта с сиденьем, полом;

локальную, действующую вдоль осей ортогональной системы координат $X_{л}$, $Y_{л}$, $Z_{л}$, где ось $X_{л}$ совпадает или параллельна оси места охвата источника вибрации (рукоятки, рулевого колеса, рычага управления, удерживаемого в руках обрабатываемого изделия), ось $Z_{л}$ совпадает с местом направления подачи или приложения силы нажатия, а ось $Y_{л}$ перпендикулярна первым двум направлениям.

Общая вибрация в зависимости от источника её возникновения подразделяется на:

общую вибрацию 1 категории – *транспортную вибрацию*, воздействующую на человека на рабочих местах самоходных машин, машин с прицепами и навесными приспособлениями, транспортных средств при движении по местности, агрофонам и дорогам (в том числе при их строительстве). К источникам транспортной вибрации относятся: тракторы промышленные, грузовые автомобили (в том числе тягачи, скреперы, грейдеры, катки), землеройное, подъемное и другое подвижное погрузочно-разгрузочное оборудование;

общую вибрацию 2 категории – *транспортно-технологическую вибрацию*, воздействующую на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок. К источникам транспортно-технологической вибрации относятся: экскаваторы, краны промышленные и строительные; путевые машины, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт, легковые автомобили и автобусы и др.;

общую вибрацию 3 категории – *технологическую вибрацию*, воздействующую на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации. К источникам технологической вибрации относятся: станки металло- и деревообрабатывающие, кузнечно-прессовое оборудование, стационарные

электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование промышленности стройматериалов.

Общую вибрацию 3 категории по месту действия подразделяют на типы:

3а – на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;

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

3в – на рабочих местах в помещениях заводоуправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, конторских помещениях и других помещениях для работников интеллектуального труда.

Локальная вибрация в зависимости от источника возникновения подразделяется на передающуюся от: ручных машин с двигателем или ручного механизированного инструмента; органов управления автомобилей, автобусов и троллейбусов; органов управления машин и оборудования; ручных инструментов без двигателей и обрабатываемых деталей.

По *характеру спектра* вибрация подразделяется на:

узкополосную вибрацию, для которой уровень контролируемого параметра в одной третьоктавной полосе частот более чем на 15 дБ превышает уровень в соседних третьоктавных полосах;

широкополосную вибрацию с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

По *частотному составу* вибрация подразделяется на:

низкочастотную вибрацию (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1-4 Гц – для общей вибрации, 8-16 Гц – для локальной вибрации);

среднечастотную вибрацию (8-16 Гц – для общей вибрации, 31,5-63 Гц – для локальной вибрации);

высокочастотную вибрацию (31,5-63 Гц – для общей вибрации, 125-1000 Гц – для локальной вибрации).

По *временным характеристикам* вибрация подразделяется на:

постоянную вибрацию, для которой величина нормируемых параметров изменяется не более чем в 2 раза (6 дБ) за время наблюдения при измерении с постоянной времени 1 с;

непостоянную вибрацию, для которой величина нормируемых параметров изменяется более чем в 2 раза (6 дБ) за время наблюдения при измерении с постоянной времени 1 с, в том числе:

колеблющуюся во времени, для которой величина нормируемых параметров непрерывно изменяется во времени;

прерывистую, когда контакт человека с вибрацией прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1 с;

импульсную вибрацию, состоящую из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), каждый длительностью менее 1 с при частоте их следования менее 5,6 Гц.

Основными параметрами, характеризующими вибрацию, являются: частота (f , Гц), амплитуда (A , м), виброскорость (v , м/с) и виброускорение (a , м/с²), находящиеся в следующей зависимости:

$$v = 2\pi fA, \text{ м/с};$$

$$a = (2\pi f)^2 \cdot A, \text{ м/с}^2.$$

Вибрация может оцениваться также логарифмическими уровнями виброскорости L_v и виброускорения L_a , дБ.

Среднегеометрическая частота – квадратный корень из произведения граничных частот полосы.

Третьоктавная полоса частот – полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно $2^{1/3}$.

Октавная полоса частот – полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно 2.

Логарифмические уровни виброускорения L_{ai} , дБ, в i -й октавной или третьоктавной полосе – уровни, непосредственно измеряемые в октавных или третьоктавных полосах частот или определяемые по формуле:

$$L_{ai} = 20 \lg (a_i/a_0),$$

где a_i – средние квадратические значения виброускорения в октавных или третьоктавных полосах частот, м/с²;

a_0 – исходное значение виброускорения; $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ м/с².

Логарифмические уровни виброскорости L_{vi} , дБ, в i -й октавной или третьоктавной полосе – уровни, непосредственно измеряемые в октавных или третьоктавных полосах частот или определяемые по формуле:

$$L_{vi} = 20 \lg (v_i/v_0),$$

где v_i – средние квадратические значения виброскорости в октавных или третьоктавных полосах частот, м/с;

v_0 – исходное значение виброскорости; $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с.

Корректированный по частоте уровень параметра вибрации L_{Wj} , дБ, – одночисловая характеристика вибрации, измеряемая с применением виброметров с корректирующими фильтрами или определяемая как результат энергетического суммирования уровней вибрации в октавных (третьоктавных) полосах с учетом октавных (третьоктавных) весовых коэффициентов (поправок) по формуле:

$$L_W = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{Wi} + \Delta L_{Wi})},$$

где L_W – скорректированный по частоте уровень параметра вибрации, дБ;
 L_{Wi} – октавные (третьоктавные) уровни параметра вибрации, дБ;
 ΔL_{Wi} – октавные (третьоктавные) весовые поправки, дБ;
 i – порядковый номер октавной (третьоктавной) полосы;
 n – число октавных (третьоктавных) полос.

Эквивалентный по энергии скорректированный по частоте уровень параметра непостоянной вибрации $L_{W\text{ЭКВ}}$, дБ, – это скорректированный уровень параметра постоянной вибрации, которая имеет такое же среднее квадратическое скорректированное значение параметра, что и данная непостоянная вибрация, в течение определенного интервала времени (время наблюдения). Эквивалентный скорректированный уровень $L_{W\text{ЭКВ}}$ измеряется с применением интегрирующих виброметров или рассчитывается на основании эквивалентных уровней $L_{W\text{ЭКВ}i}$, измеренных в октавных (третьоктавных) полосах частот, по формуле:

$$L_{W\text{ЭКВ}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{W\text{ЭКВ}i} + \Delta L_{Wi})},$$

где $L_{W\text{ЭКВ}}$ – эквивалентный по энергии скорректированный по частоте уровень параметра непостоянной вибрации, дБ;

$L_{W\text{ЭКВ}i}$ – октавные (третьоктавные) эквивалентные уровни параметра вибрации, дБ.

Эквивалентный по энергии скорректированный по частоте уровень параметра непостоянной вибрации за время оценки $L_{W\text{ЭКВ}T}$, дБ, – это скорректированный уровень параметра вибрации с учетом времени воздействия вибрации в течение рабочей смены, определяемый по формуле:

$$L_{W\text{ЭКВ}T} = 10 \lg \left[(1/T) \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{W\text{ЭКВ}i}} \cdot t_i \right],$$

где $L_{W\text{ЭКВ}T}$ – эквивалентный скорректированный по частоте уровень параметра непостоянной вибрации за время оценки (восьмичасовая рабочая смена), дБ;

$L_{W\text{ЭКВ}i}$ – эквивалентный скорректированный по частоте уровень параметра вибрации за время t_i , дБ;

t_i – время воздействия вибрации с уровнем $L_{W\text{ЭКВ}i}$, ч;

n – общее число интервалов действия вибрации за смену;

$T = t_1 + t_2 + \dots + t_n$ – суммарное время действия вибрации за смену.

6.2. Воздействие вибрации на организм человека

Вибрация относится к факторам, обладающим значительной биологической активностью. Характер, глубина и направленность функциональных сдвигов со стороны различных систем организма определяются уровнями, спектральным составом и продолжительностью вибрационного воздействия. Степень распространения колебаний по телу зависит от их частоты и амплитуды, площади участков тела, соприкасающихся с вибрирующим объектом, места приложения и направления оси вибрационного воздействия, демпфирующих свойств тканей, явления резонанса и других условий. При низких частотах вибрация распространяется по телу с весьма малым затуханием, охватывая колебательным движением все туловище и голову.

Резонанс человеческого тела в биодинамике определяется как явление, при котором анатомические структуры, органы и системы под действием внешних вибрационных сил, приложенных к телу, получают колебания большей амплитуды. Область резонанса для головы в положении сидя при вертикальных вибрациях располагается в зоне между 20 и 30 Гц, при горизонтальных – 1,5-2 Гц. Для внутренних органов резонансными являются частоты 3-3,5 Гц, для всего тела в положении сидя – на частотах 4-6 Гц.

Длительное влияние вибрации, сочетающееся с комплексом неблагоприятных производственных факторов, может приводить к стойким патологическим нарушениям в организме работников, развитию *вибрационной болезни*.

Наибольшее распространение имеет вибрационная болезнь, обусловленная воздействием локальной вибрации. Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов, которые начинаются с концевых фаланг пальцев и распространяются на всю кисть, предплечье, захватывают сосуды сердца. Вследствие этого происходит ухудшение снабжения конечностей кровью. Одновременно наблюдается воздействие вибрации на нервные окончания, мышечные и костные ткани, выражающееся в нарушении чувствительности кожи, окостенении сухожилий мышц и отложениях солей в суставах кистей рук и пальцев, что приводит к болям, деформациям и уменьшению подвижности суставов. При локальной вибрации наблюдаются нарушения деятельности центральной нервной системы, как и при общей вибрации.

Сосудистые расстройства являются одним из основных симптомов вибрационной болезни. Чаще всего, они заключаются в нарушении периферического кровообращения, изменении тонуса капилляров. Больные жалуются на внезапно возникающие приступы побеления пальцев, которые чаще появляются при мытье рук холодной водой или при общем охлаждении организма. В развитии вибрационной болезни, вызванной воздействием локальной вибрации, различают 3 степени ее развития (I – начальные проявления; II – умеренно выраженные; III – выраженные).

Вибрационная болезнь, вызванная воздействием общей вибрации и толчками, наблюдается у водителей транспорта и операторов транспортно-технологических машин и агрегатов. Одним из основных ее синдромов является вестибулопатия (головокружение, головные боли и т. д.). Нередко возникают дисфункции пищеварительных желез, нарушения моторной и секреторной функций желудка. Типичны изменения в позвоночнике, являющиеся причиной нарушения трудоспособности. Систематическое воздействие общих вибраций может быть причиной вибрационной болезни – стойких нарушений физиологических функций организма, обусловленных преимущественно воздействием вибраций на центральную нервную систему. Эти нарушения проявляются в виде головных болей, головокружений, плохого сна, пониженной работоспособности, плохого самочувствия, нарушений сердечной деятельности.

К сопутствующим факторам производственной среды, усугубляющим вредное воздействие вибрации на организм, относятся чрезмерные мышечные нагрузки, шум высокой интенсивности, неблагоприятные микроклиматические условия.

6.3. Нормирование вибрации

В соответствии с Санитарными нормами и правилами «Требования к производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий» (утв. постановлением Министерства здравоохранения от 26.12.2013 г. № 132) *гигиеническая оценка* постоянной и непостоянной вибрации, воздействующей на человека, производится следующими методами:

частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра;
интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра;
интегральной оценкой с учетом времени вибрационного воздействия по эквивалентному по энергии скорректированному по частоте уровню нормируемого параметра.

Основным методом, характеризующим вибрационное воздействие на человека, является частотный анализ.

Нормируемый диапазон частот измерения вибрации устанавливается: для общей производственной вибрации – в октавных (широкополосная вибрация) или третьоктавных (узкополосная вибрация) полосах со среднегеометрическими частотами 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц;

для локальной производственной вибрации – в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц.

Нормируемыми параметрами постоянной производственной вибрации являются: средние квадратические значения виброускорения и виброскорости, измеряемые в октавных или третьоктавных полосах частот, или

их логарифмические уровни; скорректированные по частоте значения виброускорения или их логарифмические уровни.

Нормируемыми параметрами непостоянной производственной вибрации являются эквивалентные по энергии скорректированные по частоте значения виброускорения или их логарифмические уровни.

Предельно допустимые величины нормируемых параметров общей производственной вибрации на рабочих местах устанавливаются согласно Гигиеническому нормативу «Предельно допустимые и допустимые уровни нормируемых параметров при работах с источниками производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий» (утв. постановлением Министерства здравоохранения от 26.12.2013 г. № 132) и приведены в табл. 6.1 - 6.4, а локальной производственной вибрации – в табл. 6.5 (при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч)).

Таблица 6.1

Предельно допустимые значения виброускорения общей вибрации
1 категории – транспортной

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения виброускорения							
	м/с ²				дБ			
	1/3 октава		1/1 октава		1/3 октава		1/1 октава	
	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀
0,8	0,71	0,224			67	57		
1,0	0,63	0,224	1,12	0,40	66	57	71	62
1,25	0,56	0,224			65	57		
1,6	0,50	0,224			64	57		
2,0	0,45	0,224	0,80	0,40	63	57	68	62
2,5	0,40	0,280			62	59		
3,15	0,355	0,355			61	61		
4,0	0,315	0,450	0,56	0,80	60	63	65	68
5,0	0,315	0,560			60	65		
6,3	0,315	0,710			60	67		
8,0	0,315	0,900	0,56	1,60	60	69	65	74
10,0	0,40	1,12			62	71		
12,5	0,50	1,40			64	73		
16,0	0,63	1,80	1,12	3,15	66	75	71	80
20,0	0,80	2,24			68	77		
25,0	1,00	2,80			70	79		
31,5	1,25	3,55	2,24	6,30	72	81	77	86
40,0	1,60	4,50			74	83		
50,0	2,00	5,60			76	85		
63,0	2,50	7,10	4,50	12,50	78	87	83	92
80,0	3,15	9,00			80	89		
Корректированные и эквивалентные скорректированные уровни, и их абсолютные значения	–	–	0,56	0,40	–	–	65	62

Таблица 6.2

Предельно допустимые значения виброскорости общей вибрации
1 категории – транспортной

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения виброскорости							
	м/с·10 ⁻²				дБ			
	1/3 октава		1/1 октава		1/3 октава		1/1 октава	
	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀
0,8	14,0	4,5			129	119		
1,0	10,0	3,5	20,0	6,3	126	117	132	122
1,25	7,1	2,8			123	115		
1,6	5,0	2,2			120	113		
2,0	3,5	1,8	7,1	3,5	117	111	123	117
2,5	2,5	1,8			114	111		
3,15	1,8	1,8			111	111		
4,0	1,25	1,8	2,5	3,2	108	111	114	116
5,0	1,0	1,8			106	111		
6,3	0,8	1,8			104	111		
8,0	0,63	1,8	1,3	3,2	102	111	108	116
10,0	0,63	1,8			102	111		
12,5	0,63	1,8			102	111		
16,0	0,63	1,8	1,1	3,2	102	111	107	116
20,0	0,63	1,8			102	111		
25,0	0,63	1,8			102	111		
31,5	0,63	1,8	1,1	3,2	102	111	107	116
40,0	0,63	1,8			102	111		
50,0	0,63	1,8			102	111		
63,0	0,63	1,8	1,1	3,2	102	111	107	116
80,0	0,63	1,8			102	111		

Таблица 6.3

Предельно допустимые значения нормируемых параметров общей
вибрации 2 категории – транспортно-технологической

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X ₀ , Y ₀ , Z ₀							
	виброускорение				Виброскорость			
	м/с ²		дБ		м/с·10 ⁻²		дБ	
	1/3 октава	1/1 октава	1/3 октава	1/1 октава	1/3 октава	1/1 октава	1/3 октава	1/1 октава
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,6	0,25		58		2,50		114	
2,0	0,224	0,40	57	62	1,80	3,50	111	117
2,5	0,20		56		1,25		108	
3,15	0,18		55		0,90		105	
4,0	0,16	0,28	54	59	0,63	1,30	102	108
5,0	0,16		54		0,50		100	
6,3	0,16		54		0,40		98	
8,0	0,16	0,28	54	59	0,32	0,63	96	102
10,0	0,20		56		0,32		96	
12,5	0,25		58		0,32		96	
16,0	0,315	0,56	60	65	0,32	0,56	96	101

Окончание таблицы 6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
20,0	0,40		62		0,32		96	
25,0	0,50		64		0,32		96	
31,5	0,63	1,12	66	71	0,32	0,56	96	101
40,0	0,80		68		0,32		96	
50,0	1,00		70		0,32		96	
63,0	1,25	2,25	72	77	0,32	0,56	96	101
80,0	1,60		74		0,32		96	
Корректированные и эквивалентные корректированные уровни и их абсолютные значения	–	0,28	–	59	–	–	–	–

Таблица 6.4

Предельно допустимые значения нормируемых параметров общей вибрации 3 категории – технологической типа «а»

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_0, Y_0, Z_0							
	виброускорение				Виброскорость			
	м/с ²		дБ		м/с·10 ⁻²		дБ	
	1/3 октава	1/1 октава	1/3 октава	1/1 октава	1/3 октава	1/1 октава	1/3 октава	1/1 октава
1,6	0,090		49		0,90		105	
2,0	0,080	0,14	48	53	0,63	1,30	102	108
2,5	0,071		47		0,45		99	
3,15	0,063		46		0,32		96	
4,0	0,056	0,10	45	50	0,22	0,45	93	99
5,0	0,056		45		0,18		91	
6,3	0,056		45		0,14		87	
8,0	0,056	0,10	45	50	0,11	0,22	87	93
10,0	0,071		47		0,11		87	
12,5	0,090		49		0,11		87	
16,0	0,112	0,20	51	56	0,11	0,20	87	92
20,0	0,140		53		0,11		87	
25,0	0,180		55		0,11		87	
31,5	0,224	0,40	57	62	0,11	0,20	87	92
40,0	0,280		59		0,11		87	
50,0	0,355		61		0,11		87	
63,0	0,450	0,80	63	68	0,11	0,20	87	92
80,0	0,560		65		0,11		87	
Корректированные и эквивалентные корректированные уровни и их абсолютные значения	–	0,10	–	50	–	–	–	–

Таблица 6.5

**Предельно допустимые значения нормируемых параметров локальной
производственной вибрации**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_0, Y_0, Z_0			
	виброускорение		Виброскорость	
	м/с ²	дБ	м/с·10 ⁻²	дБ
8	1,4	73	2,8	115
16	1,4	73	1,4	109
31,5	2,7	79	1,4	109
63	5,4	85	1,4	109
125	10,7	91	1,4	109
250	21,3	97	1,4	109
500	42,5	103	1,4	109
1000	85,0	109	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные уровни и их абсолютные значения	2,0	76	–	–

Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими нормативные значения более чем на 12 дБ (в 4 раза), не допускается.

Нормируемыми параметрами импульсной локальной вибрации являются пиковый уровень виброускорения и соответствующее ему допустимое количество вибрационных импульсов за рабочую смену и 1 ч работы. Допустимое количество вибрационных импульсов в зависимости от пиковых уровней виброускорения устанавливается согласно табл. 6.6.

Таблица 6.6

**Допустимое количество вибрационных импульсов в зависимости от
пиковых уровней виброускорения**

Диапазон длительности импульсов, мс	Пиковые уровни виброускорения, дБ							
	120	125	130	135	140	145	150	155
	Допустимое количество вибрационных импульсов							
1-30	16000*	150000	50000	16000	5000	1600	500	160
	20000**	18750	6250	2000	625	200	62	20
31-1000	16000*	50000	16000	5000	1600	500	160	50
	20000**	6250	2000	625	200	62	20	6

* Величины соответствуют максимально возможному количеству импульсов за восьми-часовую рабочую смену при частоте следования вибрационных импульсов 5,6 Гц.

** Величины соответствуют допустимому количеству вибрационных импульсов за 1 ч.

Контроль вибрации на рабочих местах производится: при аттестации рабочих мест; периодически; по указанию санитарных служб. Контроль вибрации проводится в типовых условиях эксплуатации в точках, для которых определены санитарные и технические нормы в направлениях координатных осей, установленных стандартом. Периодичность контроля локальной вибрации должна быть не реже 2 раз в год, общей – не реже раза в год.

6.4. Методы обеспечения вибробезопасных условий труда

В соответствии с ГОСТ 12.4.046 «Вибрация. Методы и средства защиты» методы вибрационной защиты разделены на снижающие параметры вибраций воздействием на источник возбуждения и снижающие параметры вибраций на путях ее распространения от источника. Последние методы включают отстройку от режима резонанса, вибродемпфирование и динамическое гашение колебаний, виброизоляцию, снижение вредного воздействия вибраций на работников путем соответствующей организации труда, а также применением средств индивидуальной защиты и лечебно-профилактических мероприятий.

Борьба с вибрацией воздействием на источник возбуждения. При конструировании машин и проектировании технологических процессов предпочтение должно отдаваться кинематическим и технологическим схемам, при которых динамические процессы, вызванные ударами, резкими ускорениями и т. п., были бы исключены или предельно снижены.

Отстройка от режима резонанса. При работе технологического оборудования вибрацию устраняют двумя путями: либо изменением характеристик системы (массы или жесткости), либо установлением нового рабочего режима.

Вибродемпфирование. Это процесс уменьшения уровня вибраций защищаемого объекта путем превращения энергии механических колебаний данной колеблющейся системы в тепловую энергию. Для увеличения потерь энергии в системе используются конструкционные материалы с большим внутренним трением, нанесение на вибрирующие поверхности слоя упруго-вязких материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение.

Динамическое гашение вибрации. Чаще всего виброгашение осуществляют путем установки агрегатов на фундаменты. Массу фундамента подбирают таким образом, чтобы амплитуда колебаний подошвы фундамента в любом случае не превышала 0,1-0,2 дмм, а для особо ответственных сооружений – 0,005 мм. Для небольших объектов между основанием и агрегатом устанавливают массивную опорную плиту. Одним из способов увеличения реактивного сопротивления колебательных систем является установка динамических виброгасителей.

Виброизоляция. Этот способ защиты заключается в уменьшении передачи колебаний от источника возбуждения защищаемому объекту с помощью устройств, помещаемых между ними. Для виброизоляции стационарных машин с вертикальной вынуждающей силой чаще всего применяют виброизолирующие опоры типа упругих прокладок или пружин.

Средства индивидуальной защиты от вибраций. При работе с ручным механизированным, электрическим и пневматическим инструментом применяют средства индивидуальной защиты рук от воздействия вибрации. К ним относят рукавицы или перчатки с демпфирующими вкладышами, а также виброзащитные прокладки или пластины, которые снабжены

креплениями к руке; ботинки с амортизирующими подошвами, нагрудники с вкладышами, пояса, шлемы с фиксированным шейным позвонком.

В целях профилактики вибрационной болезни для работающих с вибрирующим оборудованием рекомендуется *специальный режим труда*. Так, при работе с ручными машинами суммарное время работы в контакте с источником вибрации не должно превышать 2/3 рабочей смены при продолжительности одноразового непрерывного воздействия вибрации, не превышающего 15-20 мин. Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на оператора на 1-12 дБ. При показателе превышения более 12 дБ запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию. При таком режиме труда рекомендуется устанавливать обеденный перерыв не менее 40 мин и два регламентированных перерыва (для отдыха, проведения производственной гимнастики и физиопрофилактических процедур): 20 мин через 1-2 ч после начала смены и 30 мин через 2 ч после обеденного перерыва.

Лица, занятые на работах с вибрирующими машинами и оборудованием, ежегодно проходят периодические медицинские осмотры. К работе в качестве оператора машин допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие предварительный медицинский осмотр, имеющие соответствующую квалификацию, сдавшие технический минимум по охране труда и ознакомленные с характером воздействия вибрации на организм.

6.5. Расчетные задания по теме

Задача 6.1. Рассчитать параметры пружинных виброизоляторов оборудования весом P , Н, если это оборудование установлено на массивном фундаменте, и в результате замеров известно, что на частоте f , Гц обеспечивается снижение уровня виброскорости ΔL , дБ. Для устройства пружинных виброизоляторов используются одиночные цилиндрические пружины или составные пружины сжатия. Необходимые данные для расчета приведены в табл. 6.7. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 6.7

Исходные данные для расчета

Исходные данные	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вес оборудования, P , Н	450	400	450	600	800	850	950	900	500	700
Частота, f , Гц	8	16	10	8	4	8	5	16	4	8
Снижение уровня виброскорости, ΔL , дБ	5	8	6	12	7	10	4	11	7	9
Число пружин для виброизоляции оборудования, n , шт.	4	4	4	6	8	8	8	8	4	6

Порядок расчета

1. Определить частоту собственных колебаний системы f_0 (Гц) по формуле:

$$f_0 = \frac{f}{10^{\frac{\Delta L}{40}}},$$

где f – частота, Гц;

ΔL – снижение уровня виброскорости, дБ.

2. Определить жесткость всех амортизаторов k_z (Н/м) в вертикальном направлении по формуле:

$$k_z = m \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_0)^2 = \frac{P}{g} \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_0)^2,$$

где m – масса станка, кг;

$g=9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

3. Определить амплитуду вертикальных колебаний объекта ξ_z (м) на рабочей частоте по формуле:

$$\xi_z = \frac{P}{(P/g) \cdot \omega^2 - k_z} = \frac{P}{(P/g) \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2 - k_z},$$

где $\omega=2\pi f$ – угловая частота колебаний системы, рад/с.

4. Определить динамическую нагрузку $P_{\text{дин}}$ (Н), приходящуюся на одну пружину по формуле:

$$P_{\text{дин}} = \xi_z \cdot \frac{k_z}{n},$$

где n – количество пружинных амортизаторов.

5. Определить расчетную нагрузку P_1 (Н) на одну пружину по формуле:

$$P_1 = P_{\text{ст}} + 1,5 \cdot P_{\text{дин}},$$

где $P_{\text{ст}} = P/n$ – статическая нагрузка, приходящаяся на одну пружину, Н.

6. Определить диаметр стального прутка пружины d (м) по формуле:

$$d = 1,6 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot P_1 \cdot \varepsilon}{[\tau]}},$$

где k – коэффициент, учитывающий добавочное напряжение среза, возникающее в точках сечения прутка, расположенных ближе всего к оси пружины, определяется по рис.6.1. В расчете принять $k=1,2$;

ε – индекс пружины: $\varepsilon = D/d$, где D – средний диаметр пружины, мм. В расчете принять $\varepsilon = 7$;

τ – допускаемое напряжение сдвига при кручении, Н/м (табл. 6.8).

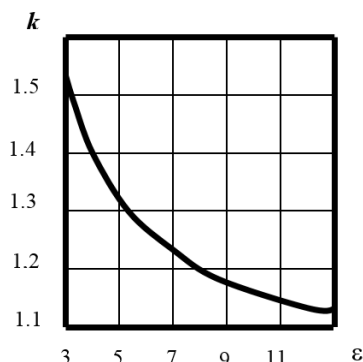


Рис. 6.1. Графическая зависимость для определения коэффициента k

Таблица 6.8

Допускаемые напряжения для пружинных сталей

Сталь		Модуль сдвига, G , Н/м ² ·10 ¹⁰	Допускаемые напряжения, τ		Назначение
Группа	Марка		Режим работы	Н/м ² ·10 ⁸	
Углеродистая	70	7,83	Легкий	4,11	Для пружин с относительно низкими напряжениями при диаметре проволоки менее 8 мм
			Средний	3,73	
			Тяжелый	2,47	
Хромованадиевая закаленная в масле	50ХФА	7,7	Легкий	5,49	Для пружин, воспринимающих динамическую нагрузку, при диаметре прутка не менее 12.5 мм
			Средний	4,90	
			Тяжелый	3,92	
Кремнистая	55 С 2 60 С 2 60 С 2 А 63 С 2 А	7,45	Легкий	5,49	Для пружин, воспринимающих динамическую нагрузку, при диаметре прутка более 10 мм, а также для рессор
			Средний	4,41	
			Тяжелый	3,43	

7. Определить число рабочих витков пружины i_1 по формуле:

$$i_1 = \frac{G \cdot d}{8 \cdot k_1 \cdot \varepsilon^3}$$

где G – модуль сдвига материала пружины, Н/м², определяемый по табл. 6.8.

8. Определить общее количество витков пружины i по формуле:

$$i = i_1 + i_2,$$

где i_2 – число нерабочих витков пружины (при $i_1 > 7$ i_2 принимается равным 2,5; при $i_1 < 7$ i_2 принимается равным 1,5).

9. Определить шаг пружины $h = D/4 \dots D/2$, где $D = \varepsilon \cdot d$.

10. Определить высоту пружины, сжатой до соприкосновения ее витков нагрузкой $P_{\text{пред}}$. (предельная нагрузка принимается равной $(1,1 \dots 1,25) \cdot P$):

$$H = (i - 0,5) \cdot d, \text{ мм.}$$

11. Определить высоту ненагруженной пружины по формуле:

$$H_0 = H + i_1 \cdot (h - d).$$

Задача 6.2. Рассчитать скорректированный уровень общей вибрации по данным, приведенным в табл. 6.9. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 6.9

Исходные данные для расчета

Частота в октавных полосах f , Гц	Значения уровней виброскорости L_{vj} , дБ									
	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
2	115	110	113	106	114	107	105	112	109	108
4	112	109	110	109	110	103	108	108	105	110
8	107	112	108	104	103	96	104	103	100	103
16	101	107	101	98	97	93	100	99	96	99
31,5	96	99	97	96	92	89	95	93	91	94
63	89	90	89	88	91	87	92	88	86	87

Порядок расчета

1. В начале расчета необходимо учесть значения весовых коэффициентов ΔL_{vj} для октавных полос частот по табл. 6.10, для чего их необходимо вычесть из значений уровней виброскорости L_{vj} .

Таблица 6.10

Значения весовых коэффициентов

Среднегеометрические частоты, Гц	Значение весовых коэффициентов							
	Виброускорение				Виброскорость			
	локальная		общая		локальная		общая	
	K^j	ΔL_{vj}	K^j	ΔL_{vj}	K^j	ΔL_{vj}	K^j	ΔL_{vj}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2			0,71	-3			0,16	-16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4			1,0	0			0,45	-7
8	1,0	0	1,0	0	0,5	-6	0,9	-1
16	1,0	0	0,5	-6	1,0	0	1,0	0
31,5	0,5	-6	0,25	-12	1,0	0	1,0	0
63	0,25	-12	0,125	-18	1,0	0	1,0	0
125	0,125	-18			1,0	0		
250	0,063	-24			1,0	0		
500	0,0315	-30			1,0	0		
1000	0,0160	-36			1,0	0		

2. Затем производится расчет корректированного уровня по формуле либо методом попарного суммирования.

Пример расчета

Рассчитать корректированный уровень общей вибрации по данным, приведенным в табл. 6.11.

Таблица 6.11

Исходные данные для расчета

Частота f , Гц	2	4	8	16	31,5	63
Уровень виброскорости L_{v_i} , дБ	118	118	116	111	104	96

Расчет по формуле

$$\begin{aligned}
 L_v &= 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{v_i} + \Delta L_{v_i})} = 10 \lg [10^{0,1(118-16)} + 10^{0,1(118-7)} + 10^{0,1(116-1)} + \\
 &+ 10^{0,1(111+0)} + 10^{0,1(104+0)} + 10^{0,1(96+0)}] = 10 \lg [1,58 \cdot 10^{10} + 12,59 \cdot 10^{10} + \\
 &+ 31,62 \cdot 10^{10} + 12,59 \cdot 10^{10} + 2,51 \cdot 10^{10} + 0,4 \cdot 10^{10}] = 10 \lg (61,29 \cdot 10^{10}) = \\
 &= 10 \cdot 11,787 = 117,87 \text{ дБ}; L_v = 118 \text{ дБ},
 \end{aligned}$$

где L_v – корректированный уровень параметра вибрации, дБ;

L_{v_i} – октавные (третьоктавные) уровни параметра вибрации, дБ;

ΔL_{v_i} – октавные (третьоктавные) весовые поправки, дБ;

i – порядковый номер октавной (третьоктавной) полосы;

n – число октавных (третьоктавных) полос.

Расчет методом попарного суммирования

При этом методе по разности двух уровней L_1 и L_2 определяют добавку по табл. 6.12, которую прибавляют к большему уровню, в результате получают уровень $(L_1 + L_2)$.

Таблица 6.12

Значения добавок в зависимости от разности слагаемых уровней

Разность слагаемых уровней $L_1 - L_2$, дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Добавка к уровню L_i , дБ	3	2,5	2,2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4

Аналогично суммируются уровни L_3 и L_4 , L_5 и L_6 , а затем $L_1 + L_2$ и $L_3 + L_4$ и т.д.

Результат вычислений округляют до целого числа.

$$L_1 - L_2 = 111 - 102 = 9 \text{ дБ}; \text{ добавка } 0,5 \text{ дБ}; \text{ сумма } 111 + 0,5 = 111,5 \text{ дБ};$$

$$L_3 - L_4 = 115 - 111 = 4 \text{ дБ}; \text{ добавка } 1,5 \text{ дБ}; \text{ сумма } 115 + 1,5 = 116,5 \text{ дБ};$$

$$L_5 - L_6 = 104 - 96 = 8 \text{ дБ}; \text{ добавка } 0,6 \text{ дБ}; \text{ сумма } 104 + 0,6 = 104,6 \text{ дБ};$$

$$(L_1 - L_2) - (L_3 - L_4) = 116,5 - 111,5 = 5 \text{ дБ}; \text{ добавка } 1,2 \text{ дБ}; \text{ сумма } 116,5 + 1,2 = 117,7 \text{ дБ}.$$

$$117,7 - 104,6 = 13,1 \text{ дБ}; \text{ добавка } 0,4 \text{ дБ}; \text{ сумма } 117,7 + 0,4 = 118,1 \text{ дБ}.$$

$$L_v = 118 \text{ дБ}.$$

В таблице 6.13 приведены данные выше приведенного расчета корректированного уровня вибрации.

Таблица 6.13

Данные расчета корректированного уровня вибрации

Частота, f , Гц	Уровень ви- броскорости, L_{vi} , дБ	Значение весовых коэффициентов, ΔL_{vi} , дБ	Корректированные уровни, $L_{vi} + \Delta L_{vi}$, дБ	Корректирован- ный уровень, L_v , дБ
2	118	- 16	102	118
4	118	- 7	111	
8	116	- 1	115	
16	111	0	111	
31,5	104	0	104	
63	96	0	96	

По окончании расчета необходимо сравнить полученные значения корректированного уровня общей вибрации с допустимым значением, которое равно 92 дБ.

Задача 6.3. Рассчитать эквивалентный скорректированный уровень общей вибрации по данным, приведенным в табл. 6.14. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 6.14

Исходные данные для расчета

Корректированные уровни виброскорости, дБ / Время действия вибрации данного уровня за смену, ч																			
№ варианта																			
1	2		3		4		5		6		7		8		9		0		
97	1,0	94	1,5	99	0,9	93	1,4	95	0,8	99	1,5	93	0,8	94	1,0	96	1,7	98	2,0
93	0,5	90	1,0	94	1,3	89	0,7	91	1,5	89	0,5	91	0,7	90	1,0	92	0,8	95	0,8
91	2,0	88	1,4	93	2,0	88	1,8	90	1,6	88	2,3	89	2,1	86	2,0	90	1,7	93	1,9
89	3,0	86	2,8	90	3,0	85	2,5	89	3,3	85	3,0	84	3,0	81	2,5	87	2,5	90	2,5
87	1,0	85	1,3	87	0,8	86	1,6	84	0,8	86	0,7	85	1,4	79	1,5	84	1,3	86	0,8

Порядок расчета

Если в течение смены скорректированный уровень вибрации, воздействующий на оператора, принимает значения $L_{W_{ЭКВ1}}, L_{W_{ЭКВ2}}, \dots, L_{W_{ЭКВn}}$ в течение интервалов времени t_1, t_2, \dots, t_n соответственно, то необходимо рассчитать эквивалентный скорректированный уровень вибрации с учетом времени воздействия за период оценки.

Эквивалентный (по энергии) скорректированный уровень параметра вибрации, являющийся одночисловой характеристикой непостоянной вибрации, рассчитывается путем усреднения фактических уровней с учетом времени действия каждого по формуле либо путем попарного энергетического суммирования уровней.

Пример расчета

В табл. 6.15 приведены скорректированные уровни виброскорости, воздействующие на оператора в течение определенных интервалов времени. К каждому скорректированному уровню виброскорости следует прибавить поправку по табл. 6.16 в зависимости от времени действия.

Таблица 6.15

Исходные данные для расчета

Корректированные уровни виброскорости, дБ	Время действия вибрации данного уровня за смену, ч	Поправка на время действия вибрации данного уровня, дБ	Уровни виброскорости с учетом поправки на время действия вибрации, дБ	Эквивалентный скорректированный уровень виброскорости, $L_{W_{ЭКВT}}$, дБ
97	1	- 9	88	97
93	0,5	- 12	81	
102	2	- 6	96	
89	3	- 4,2	84,8	
94	1	- 9	85	

Таблица 6.16

Значения поправки к корректированному уровню на время действия
вибрации для расчета эквивалентного уровня

Время действия, ч / мин	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	15 мин	5 мин
Время в % 8-часовой сме- ны	100	88	75	62	60	38	25	12	6	3	1
Поправка, дБ	0	-0,6	-1,2	-2	-3	-4,2	-6	-9	-12	-15	-20

Расчет по формуле

$$\begin{aligned}
 L_{\text{экв}T} &= 10 \lg\left[\left(\frac{1}{T}\right) \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{W_{\text{экв}i}} \cdot t_i}\right] = 10 \lg\left[\frac{1}{7,5} (10^{0,1 \cdot 97} \cdot 1 + 10^{0,1 \cdot 93} \cdot 0,5 + \right. \\
 &+ 10^{0,1 \cdot 102} \cdot 2 + 10^{0,1 \cdot 89} \cdot 3 + 10^{0,1 \cdot 94} \cdot 1) = 10 \lg\left[\frac{1}{7,5} (5,012 \cdot 10^9 + 1,995 \cdot 10^9 \cdot 0,5 + \right. \\
 &+ 15,85 \cdot 10^9 \cdot 2 + 0,794 \cdot 10^9 \cdot 3 + 2,512 \cdot 10^9 \cdot 1) = 10 \lg\left[\frac{1}{7,5} (5,012 \cdot 10^9 + \right. \\
 &+ 0,9975 \cdot 10^9 + 31,7 \cdot 10^9 + 2,382 \cdot 10^9 + 2,512 \cdot 10^9) = 10 \lg\left[\frac{1}{7,5} (42,6035 \cdot 10^9)\right] = \\
 &= 10 \lg(5,6805 \cdot 10^9) = 10 \cdot 9,75 = 97,5 \text{ дБ}.
 \end{aligned}$$

Расчет методом попарного суммирования

Проводим попарное энергетическое суммирование уровней с использованием табл. 6.16 по описанной выше методике.

$$88 - 81 = 7 \text{ дБ; добавка } 0,8 \text{ дБ; } 88 + 0,8 = 88,8 \text{ дБ;}$$

$$96 - 84,8 = 11,2 \text{ дБ; добавка } 0,2 \text{ дБ; } 96 + 0,2 = 96,2 \text{ дБ;}$$

$$96,2 - 88,8 = 7,4 \text{ дБ; добавка } 0,8 \text{ дБ; } 96,2 + 0,8 = 97 \text{ дБ;}$$

$$97 - 85 = 12 \text{ дБ; добавка } 0,2 \text{ дБ; } 97 + 0,2 = 97,2 \text{ дБ.}$$

$$L_{\text{экв}T} = 97 \text{ дБ.}$$

7. ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

7.1. Источники электромагнитных полей и их характеристика

Применяемые в промышленности установки с машинными и ламповыми генераторами для индукционной термической обработки материалов (заковки, плавки, пайки, сварки, отжига и т.п.) создают электромагнитные поля высокой частоты.

На расстоянии от источника излучения, меньшем чем $1/6 \lambda$ (т.е. $\lambda/2\pi$), преобладает поле индукции, на большем – поле излучения. Следовательно, при работе генераторов высоких и ультравысоких частот (при генерировании длинных, средних, коротких и ультракоротких волн) рабочие места находятся в зоне индукции, а при работе генераторов сверхвысоких частот (т.е. при генерировании волн длиной меньше 1 м) – в зоне излучения (волновой зоне). В зоне индукции человек находится в периодически сменяющихся одно другое электрических и магнитных полях. Облучение в этой зоне характеризуется напряженностями электрической (В/м) и магнитной (А/м) составляющих поля. В зоне излучения человек находится в электромагнитном поле, где энергия распространяется в форме бегущих волн разной конфигурации. Для электрической (E) и магнитной (H) составляющих поля справедливо равенство $E = 377H$. Интенсивность облучения в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ) оценивается величиной плотности потока мощности и выражается в ваттах на квадратный метр и его производных (Вт/м², мВт/см², мкВт/см²).

Источниками, создающими электромагнитные поля ВЧ, являются неэкранированные высокочастотные элементы установок: индукторы, трансформаторы, конденсаторы, фидерные линии. Может возникать паразитное излучение, проникающее наружу установок через отверстия и неплотности в ограждениях, смотровые и рабочие окна, линии передачи энергии. Источниками образования поля являются и отдельные элементы генераторов: катушки контура, катушки связи, конденсаторы, питающие линии.

7.2. Воздействие электромагнитных полей на организм человека

Биологическая активность электромагнитных полей зависит от длины волны. Наибольшее действие оказывают дециметровые волны, наименьшее – миллиметровые. Волны миллиметрового диапазона поглощаются поверхностными слоями кожи, сантиметрового – кожей и подкожной клетчаткой, дециметровые – внутренними органами. Эффект воздействия зависит от интенсивности поля и продолжительности контакта. При интенсивности до 10 мВт/см² поле СВЧ оказывает нетепловой эффект, при большей интенсивности – термическое воздействие. Воздействие поглощенной энергии организмом тем более выражено, чем больше частота поля. На частотах до 10 МГц размеры тела человека малы по сравнению с

длиной волны и поэтому диэлектрические процессы в тканях слабо выражены.

Электромагнитные волны могут вызывать острые и хронические поражения, которые проявляются в нарушениях нервной системы, сердечно-сосудистой системы, системы кроветворения, других органов. Острые поражения встречаются редко. Чаще наблюдаются легкие поражения, переходящие в хронические. Субъективные ощущения при этом – быстрая утомляемость, головные боли и т.п.; возможны также перегрев организма, изменение частоты пульса, сосудистых реакций. Облучение может вызвать катаракту (поражение хрусталика глаз). Это объясняется плохой теплорегуляцией глаза и незащищенностью его от воздействий; поэтому хрусталик перегревается.

Степень и характер воздействия электромагнитных полей на организм человека определяется: длиной волны, интенсивностью излучения, режимом облучения (непрерывный или прерывистый), продолжительностью воздействия, размером облучаемой поверхности тела, индивидуальными особенностями человека, комбинированным действием совместно с другими факторами производственной среды.

7.3. Нормирование электромагнитных полей

Санитарными нормами и правилами «Требования к электромагнитным излучениям радиочастотного диапазона при их воздействии на человека», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 23 от 05.03.2015 г.) установлены требования к обеспечению безопасности и безвредности воздействия на человека электромагнитного излучения радиочастотного диапазона (далее ЭМИ РЧ) 30 кГц-300 ГГц.

С целью защиты работников (лиц, работающих или обучающихся в зонах влияния источников, при условии прохождения этими лицами медицинских осмотров) от ЭМИ РЧ оценка воздействия ЭМИ РЧ осуществляется по энергетической экспозиции (далее – ЭЭ), которая определяется как произведение квадрата напряженности электрического или магнитного поля на время воздействия на человека.

С целью защиты населения от ЭМИ РЧ оценка воздействия ЭМИ РЧ осуществляется по интенсивности ЭМИ РЧ для следующих категорий лиц: работа или обучение которых не связана с производственной необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМИ РЧ; не прошедших обязательных медицинских осмотров по данному фактору; работающих или обучающихся, не достигших 18 лет; женщин в периоды беременности и кормления грудью; находящихся в жилых, общественных и производственных зданиях и помещениях, подвергающихся воздействию внешнего ЭМИ РЧ, находящихся на территории жилой застройки и в местах массового отдыха.

В диапазоне частот 30 кГц-300 МГц интенсивность ЭМИ РЧ оценивается значениями напряженности электрического поля (E , В/м) (далее – ЭП) и напряженности магнитного поля (H , А/м) (далее – МП).

В диапазоне частот 300 МГц-300 ГГц интенсивность ЭМИ РЧ оценивается значениями плотности потока энергии (далее – ППЭ, Вт/м²), (дробная величина – мкВт/см²).

Энергетическая экспозиция за рабочий день (рабочую смену) для работников не должна превышать значений, установленных Гигиеническим нормативом «Предельно допустимые уровни электромагнитных излучений радиочастотного диапазона при их воздействии на человека» (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Предельно допустимые значения энергетической экспозиции электромагнитного излучения радиочастотного диапазона в производственных условиях

Диапазоны частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция		
	по электрическому полю, (В/м) ² · ч	по магнитному полю, (А/м) ² · ч	по плотности потока энергии, (мкВт/см ²) · ч
30 кГц - 3 МГц	20000,0	200,0	–
3 - 30 МГц	7000,0	–	–
30 - 50 МГц	800,0	0,72	–
50 - 300 МГц	800,0	–	–
300 МГц - 300 ГГц	–	–	200,0

Значения уровней напряженностей ЭП и МП в зависимости от продолжительности воздействия ЭМИ РЧ не должны превышать ПДУ (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Предельно допустимые уровни напряженности электрической и магнитной составляющих электромагнитного излучения в диапазоне частот 30 кГц - 300 МГц в производственных условиях в зависимости от продолжительности воздействия

Продолжительность воздействия, T , ч	$E_{ПДУ}$, В/м			$H_{ПДУ}$, А/м	
	0,03 – 3 МГц	3 – 30 МГц	30 – 300 МГц	0,03 – 3 МГц	30 – 50 МГц
1	2	3	4	5	6
8,0 и более	50	30	10	5,0	0,30
7,5	52	31	10	5,0	0,31
7,0	53	32	11	5,3	0,32
6,5	55	33	11	5,5	0,33
6,0	58	34	12	5,8	0,34
5,5	60	36	12	6,0	0,36
5,0	63	37	13	6,3	0,38
4,5	67	39	13	6,7	0,40
4,0	71	42	14	7,1	0,42
3,5	76	45	15	7,6	0,45

Окончание таблицы 7.2

1	2	3	4	5	6
3,0	82	48	16	8,2	0,49
2,5	89	52	18	8,9	0,54
2,0	100	59	20	10,0	0,60
1,5	115	68	23	11,5	0,69
1,0	141	84	28	14,2	0,85
0,5	200	118	40	20,0	1,20
0,25	283	168	57	28,3	1,70
0,125	400	236	80	40,0	2,40
0,08 и менее	500	296	80	50,0	3,00

При продолжительности воздействия менее 0,08 часа дальнейшее повышение интенсивности воздействия не допускается.

Значения уровней ППЭ в зависимости от продолжительности воздействия ЭМИ РЧ не должны превышать ПДУ (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Предельно допустимые уровни плотности потока энергии в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц в производственных условиях в зависимости от продолжительности воздействия

Продолжительность воздействия, T , ч	Предельно допустимый уровень плотности потока энергии, ППЭ _{ПДУ} , мкВт/см ²
8,0 и более	25
7,5	27
7,0	29
6,5	31
6,0	33
5,5	36
5,0	40
4,5	44
4,0	50
3,5	57
3,0	67
2,5	80
2,0	100
1,5	133
1,0	200
0,5	400
0,25	800
0,20 и менее	1000
0,20 и менее (для случаев локального облучения кистей рук при работе с микрореполосковыми сверхвысокочастотными устройствами)	5000

При продолжительности воздействия менее 0,2 часа дальнейшее повышение интенсивности воздействия не допускается.

ПДУ ЭМИ РЧ определяются исходя из того, что воздействие имеет место в течение всего рабочего дня (рабочей смены). Сокращение продолжительности воздействия ЭМИ РЧ должно быть подтверждено технологическими, организационно-распорядительными документами и (или) результатами хронометража рабочего дня (рабочей смены).

Нахождение работников без средств индивидуальной защиты в местах, где интенсивность ЭМИ РЧ превышает ПДУ для минимальной продолжительности воздействия, запрещено.

Интенсивность ЭМИ РЧ на территории жилой застройки и местах массового отдыха и пребывания, в жилых, общественных и производственных зданиях (внешнее ЭМИ РЧ, включая вторичное излучение), на рабочих местах лиц, не достигших 18 лет, женщин в периоды беременности и кормления грудью не должна превышать ПДУ, установленных табл. 7.4 Гигиенического норматива.

Таблица 7.4

Предельно допустимые уровни электромагнитного излучения радиочастотного диапазона для населения, рабочих мест лиц, не достигших 18 лет, и женщин в периоды беременности и кормления грудью

Назначение помещений или территории	Диапазон частот				
	30-300 кГц	0,3-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	300 МГц- 300 ГГц
	Предельно допустимые уровни электромагнитного излучения радиочастотного диапазона				
	В/м				мкВт/см ²
Территория жилой застройки и мест массового отдыха; помещения жилых, общественных и производственных зданий (внешнее электромагнитное излучение радиочастотного диапазона, включая вторичное излучение); рабочие места лиц, не достигших 18 лет, и женщин в периоды беременности и кормления грудью	25,0	15,0	10,0	3,0	10,0

7.4. Методы измерения и контроля электромагнитных полей на рабочих местах

Измерения интенсивности ЭМИ должны проводиться: не реже одного раза в год в порядке текущего контроля; при внесении в условия и режимы работы источников ЭМИ изменений, влияющих на уровни излучения (из-

менение технологического процесса, изменение экранировки и средств защиты, увеличение мощности); после ремонта источников ЭМИ.

В производственных условиях измерения проводятся на постоянных рабочих местах персонала. При отсутствии постоянных рабочих мест выбирается несколько точек в пределах рабочей зоны, в которой работник проводит не менее 50 % рабочего времени. Измерения на рабочих местах в каждой точке проводятся на высоте 0,5, 1,0 и 1,7 м от пола (опорной поверхности). Определяющим в данной точке является максимально измеренная интенсивность ЭМИ РЧ. На открытой территории измерения проводятся на высоте 2 м от поверхности земли.

В зависимости от результатов динамического наблюдения за интенсивностью ЭМИ РЧ, создаваемой конкретными источниками, периодичность проведения измерений может быть увеличена по согласованию с соответствующими органами и учреждениями, осуществляющими государственный санитарный надзор, но не более чем до 3 лет.

7.5. Методы защиты работающих от электромагнитных полей

Защита работников от воздействия ЭМИ осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических мероприятий, лечебно-профилактических мероприятий, а также использования средств индивидуальной защиты.

К организационным мероприятиям относятся: выбор рациональных режимов работы источников ЭМИ; ограничение места и времени нахождения работников в зоне воздействия ЭМИ (защита расстоянием и временем); иные организационные мероприятия.

Инженерно-технические мероприятия включают: рациональное размещение источников ЭМИ; использование средств, ограничивающих поступление электромагнитной энергии на рабочие места (экраны, минимальная необходимая мощность генератора); обозначение и ограждение зон с повышенным уровнем ЭМИ.

К средствам индивидуальной защиты относятся защитные очки, щитки, шлемы, защитная одежда (комбинезоны, халаты и др.).

Способ защиты в каждом конкретном случае определяется с учетом рабочего диапазона частот, характера выполняемых работ, необходимой эффективности защиты.

Экранирование источников ЭМИ или рабочих мест осуществляется с помощью отражающих или поглощающих экранов (стационарных или переносных). Отражающие экраны выполняются из металлических листов, сетки, ткани с микропроводом и другого. В поглощающих экранах используются специальные материалы, обеспечивающие поглощение излучения соответствующей длины волны. В зависимости от излучаемой мощности и взаимного расположения источника ЭМИ и рабочих мест конструктивное решение экрана может быть различным (замкнутая камера, щит, чехол,

штора и другое). Экранирование смотровых окон, приборных панелей проводится с помощью радиозащитного стекла. Сплошные металлические экраны надежно экранируют любые источники полей СВЧ. Сетчатые экраны обладают худшими экранирующими свойствами по сравнению со сплошными экранами. Они применяются для ослабления потока мощности СВЧ, а также при необходимости улучшить вентиляцию или визуальное наблюдение за агрегатом. Эластичные экраны (из специальной ткани с вплетенной тонкой металлической сеткой) применяют для экранных штор, спецодежды и т.п. Поглощающие экраны для покрытия экранирующих ограждений изготавливают из прессованных листов резины и других специальных материалов. Смотровые окна камер экранируют мелкоячеистой металлической сеткой или используют оптически прозрачное стекло со специальной экранирующей пленкой.

Средства индивидуальной защиты используются в случаях, когда снижение уровней ЭМИ с помощью общей защиты технически невозможно. Если защитная одежда изготовлена из материала, содержащего в своей структуре металлический провод, она может использоваться только в условиях, исключающих прикосновение к открытым токоведущим частям установок.

При работе внутри экранированных помещений (камер) стены, пол и потолок этих помещений должны быть покрыты радиопоглощающими материалами. В случае направленного излучения ЭМИ РЧ должно применяться поглощающее покрытие на соответствующих участках стен, пола, потолка. В тех случаях, когда уровни ЭМИ РЧ на рабочих местах внутри экранированного помещения превышают ПДУ, работник должен выводиться за пределы камер с организацией дистанционного управления аппаратурой.

Лечебно-профилактические мероприятия. В целях предупреждения, ранней диагностики и лечения нарушений в состоянии здоровья работников, связанные с воздействием ЭМИ должны проходить предварительные и периодические медицинские осмотры. Все лица с начальными проявлениями клинических нарушений, обусловленных воздействием ЭМИ РЧ, а также с общими заболеваниями, течение которых может усугубляться под влиянием неблагоприятных факторов производственной среды должны браться под наблюдение с проведением соответствующих мероприятий, направленных на оздоровление условий труда и восстановление состояния здоровья работников.

7.6. Расчетные задания по теме

Задача 7.1. Рассчитать экран высокочастотной плавильной печи. В задаче приняты следующие обозначения:

a – радиус катушки индуктора печи, м;

l – длина катушки индуктора, м;

P – мощность плавильной печи, кВт;
 ω – число витков катушки индуктора;
 I – сила тока в катушке, А;
 f – частота тока, кГц;
 r – расстояние от оси катушки до рабочего места, м;
 α_c – радиус сердечника (нагреваемого металла, изделия), м;
 l_c – длина сердечника (заготовки), м;
 $W_{\text{п}}$ – допустимые потери мощности, Вт (обычно $\approx 1\%$ от мощности установки);
 ΔH – допустимое ослабление поля внутри катушки в результате экранирования (обычно $\approx 5\%$).

Параметры индуктора и расстояние до рабочего места приведены в табл. 7.5. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 7.5

Исходные данные для расчета

№ варианта	Параметры индуктора плавильной печи								Расстояние до рабочего места, r , м
	a , м	l , м	ω	I , А	f , кГц	α_c , м	l_c , м	P , кВт	
1	0,1	0,15	20	150	150	0,070	0,140	60	0,6
2	0,2	0,3	40	200	100	0,070	0,140	60	1,3
3	0,3	0,4	60	300	60	0,070	0,140	100	2,0
4	0,2	0,4	50	300	150	0,070	0,140	70	1,5
5	0,1	0,3	25	250	70	0,070	0,140	60	0,8
6	0,1	0,2	20	150	200	0,070	0,140	40	0,8
7	0,2	0,2	25	100	400	0,070	0,140	60	0,6
8	0,2	0,4	30	250	30	0,070	0,140	70	1,5
9	0,3	0,3	50	350	350	0,070	0,140	100	2,0
0	0,2	0,3	45	200	50	0,070	0,140	60	1,3

Порядок расчета

Экран рассчитывается методом подбора. Задаваясь материалом экрана, его конструкцией и размерами, определяют по приведенным ниже формулам основные характеристики экрана. Если эти характеристики оказываются неудовлетворительными, изменяют размеры экрана либо выбирают другой материал и вновь повторяют расчет.

Потери энергии в экране рассчитывают в следующем порядке.

Определяют глубину проникновения поля в экран по формуле:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_{\text{э}} \sigma_{\text{э}} \pi f}}, \text{ м,}$$

где $\sigma_{\text{э}}$ – удельная проводимость материала экрана, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$;

$\mu_{\text{Э}}$ – абсолютная магнитная проницаемость материала экрана, Гн/м,

$$\mu_{\text{Э}} = \mu_0 \cdot \mu'_{\text{Э}},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м;

$\mu'_{\text{Э}}$ – относительная магнитная проницаемость.

Для немагнитных материалов $\mu'_{\text{Э}} = 1$;

для алюминия $\mu'_{\text{Э}} = 1$; $\mu_{\text{Э}} = \mu_0 \cdot \mu'_{\text{Э}} = 4\pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м; $\sigma_{\text{Э}} = 3,55 \cdot 10^7$ Ом⁻¹·м⁻¹;

для стали $\mu'_{\text{Э}} \approx 2000$; $\mu_{\text{Э}} = \mu_0 \cdot \mu'_{\text{Э}} = 8\pi \cdot 10^{-4}$, Гн/м; $\sigma_{\text{Э}} = 1 \cdot 10^7$ Ом⁻¹·м⁻¹.

Как правило, глубина проникновения поля в экран меньше 1 мм, но исходя из соображений прочности экрана толщину его стенок d следует принимать не менее 1 мм. При этом $d > \delta$.

В этом случае потери энергии W в цилиндрическом экране рассчитывают по следующим формулам:

для катушек без сердечника, удовлетворяющих условию $l > 1,5(A - a)$:

$$W = \frac{2\pi \cdot \omega^2 \cdot l^2 \cdot a^4}{l \cdot A^2 \cdot \sigma_{\text{Э}} \cdot \delta}, \text{ Вт},$$

где A – радиус экрана, м. Вначале ориентировочно можно принять $A \approx 3a$.

для катушек без сердечника, удовлетворяющих условию $l < 1,5(A - a)$:

$$W = \frac{[3\pi(A - a) + 2a]a^4 l^2 \omega^2}{2A^4(A - a)\sigma_{\text{Э}}\delta}, \text{ Вт}; \quad (7.1)$$

для катушек с сердечником, удовлетворяющих условиям $l > 1,5(A - a)$;
 $l_{\text{с}} \ll l$:

$$W = \frac{2\pi\omega^2 l^2 a^4}{lA^3 \left[1 + \frac{a^2(A^2 - a^2)l_{\text{с}}}{A^2(a^2 - a_{\text{с}}^2)l} \right]^2 \sigma_{\text{Э}}\delta}, \text{ Вт}. \quad (7.2)$$

Для катушек с сердечником, удовлетворяющих условию $l < 1,5(A - a)$, следует произвести расчет дважды по формулам (7.1) и (7.2) и принять меньший из полученных результатов. Использование формул в данном случае ведет к некоторому завышению расчетных потерь по сравнению с действительными.

В случае экрана квадратного сечения можно пользоваться теми же формулами, приняв величину A равной половине стороны квадрата. Это приводит к некоторому занижению расчетных потерь мощности по сравнению с действительными.

Найденную величину потерь W следует сравнить с допустимой величиной потерь $W_{\text{п}}$. Если $W < W_{\text{п}}$, то можно уменьшить радиус экрана A , если этому не мешает конструкция самой установки. Если $W > W_{\text{п}}$, следует увеличить радиус экрана A и вновь произвести расчет.

Если для стального экрана приемлемых размеров потери энергии оказываются недопустимыми, следует принять алюминиевый экран.

Расчет по приведенным выше формулам является приближенным, и поэтому необходимо, чтобы условие $W < W_{\text{п}}$ выполнялось с некоторым запасом.

Чтобы избежать дополнительных потерь энергии в торцовых стенках экрана (верхняя, нижняя – дно), расстояние от этих стенок для ближайших витков катушки нужно брать не меньше $1/\gamma_c$, где γ_c – постоянная затухания симметричной волны, распространяющейся вдоль оси экрана:

$$\gamma_c = \frac{3,83}{A} \text{ – для цилиндрического экрана радиусом } A;$$

$$\gamma_c = \frac{3,14}{A_1} \text{ – для экрана квадратного сечения со стороной } 2A_1.$$

Если это условие выполнено, то торцовые стенки практически не вызывают дополнительных потерь энергии в экране. То же условие должно выполняться в отношении расстояния от витка до нижней стенки при открытом сверху экране.

Ослабление экраном поля внутри катушки рассчитывают для цилиндрического экрана радиусом A . При расчете экрана квадратной формы его следует заменить цилиндрическим, полагая, что

$$A = \frac{2A_1}{\sqrt{\pi}},$$

где $2A_1$ – сторона квадрата (при этом площадь квадрата равна площади круга).

Ослабление магнитного поля ΔH (%), обусловленное экранированием, определяют по формулам:

для катушки без сердечника при условии $l > 2a$, $l > 2(A - a)$

$$\Delta H = \frac{a^2}{A^2} 100;$$

то же при условии $l < 2a$

$$\Delta H = \frac{a^3}{A^3} 100;$$

то же при условии $l < 2(A - a)$, $l < 2a$

$$\Delta H = \frac{la^2}{2A^3} 100;$$

для катушек с сердечником при условии $l > 2(a - a_c)$, $l > 2(A - a)$, $l_c = l$

$$\Delta H = \frac{a^2 - a_c^2}{A^2 - a_c^2} 100.$$

Рассчитанное ослабление следует сравнить с допустимым. Если найденное ослабление превышает допустимое, нужно увеличить радиус экрана A .

Проверку экрана катушки на эффективность экранирования проводят следующим образом.

Требуемую эффективность экранирования $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ находят путем деления величины напряженности поля, создаваемого катушкой на рабочем месте при отсутствии экрана (H_p), на величину допустимой напряженности поля (H_n) по санитарным нормам

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = \frac{H_p}{H_n}.$$

Значение H_p можно найти по формуле:

$$H_p = \frac{\omega I a^2}{4 \rho^2},$$

где ρ – расстояние от катушки до рабочего места, м.

Требуемую величину эффективности экранирования нужно сравнить с фактической.

Для сплошного цилиндрического экрана радиусом A или квадратного со стороной $2A$ эффективность экранирования при $d > \delta$

$$\mathcal{E}' = \frac{A e^{\frac{d}{\delta}}}{2\sqrt{2}\delta\mu'_{\mathcal{E}}},$$

где $\mu'_{\mathcal{E}}$ – относительная магнитная проницаемость материала экрана;

d – толщина материала, м.

Эффективность экрана, имеющего форму трубы, открытой с одного конца, при отсутствии проникновения поля непосредственно сквозь материал экрана определяют по формуле:

$$\mathcal{E}'' = e^{\gamma_n Z}, \quad (7.3)$$

где Z – расстояние от открытого конца экрана до ближайшего витка катушки вдоль оси экрана, м;

$\gamma_n = \frac{1,84}{A}$ – для цилиндрического экрана радиусом A ; $\gamma_n = \frac{1,57}{A}$ – для экрана квадратного сечения со стороной $2A_1$.

Если экран имеет форму открытой с двух сторон трубы, то также можно пользоваться формулой (7.3), подставляя меньшее из двух значений Z .

Фактическая эффективность экранирования равна меньшей из величин \mathcal{E}' и \mathcal{E}'' . Формула (7.3) приближенная. Найденная по ней эффективность всегда больше действительной.

Задача 7.2. Рассчитать экран индукционной печи и определить эффективность экранирования по данным, приведенным в табл. 7.6. Наибольшая температура в рабочем пространстве печи 1823 К.

Таблица 7.6

Исходные данные для расчета

Исходные данные	Типы печей для расчета экрана				
	УИТ-800-1,0-1,0 X 2	ИСТ 0,04	ИПП	ИСТ 0,06	ИСТ 0,4
Мощность печи (максимальная), кВт	800	63	1100	60	400
Напряжение сети, В	400	400	400	400	400
Рабочая частота, f , Гц	2800	2800	500	2400	2400
Сила тока в катушке, I , А	200	200	200	200	2300
Число витков, ω , шт.	10	10	33	12	17
Радиус катушки, a , м	0,16	0,16	0,6	0,16	0,21
Относительная магнитная проницаемость, μ'_z	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
Расстояние от катушки до рабочего места, ρ , м	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3

Порядок расчета

Конструкция экрана закалочного индуктора не должна мешать проведению работ. Экран можно выполнить в виде открытого по концам цилиндра. Диаметр цилиндра должен составлять не менее двух диаметров катушки. Экран выполняют из металла и со стороны излучателя покрывают поглощающим материалом, чтобы снизить или исключить отражение от него электромагнитной энергии.

1. Определить глубину проникновения поля в экран по формуле:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_{\text{Э}} \sigma_{\text{Э}} \pi f}}, \text{ м,}$$

где $\sigma_{\text{Э}}$ – удельная проводимость материала экрана, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$; $\sigma_{\text{Э}} = 1 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$;

$\mu_{\text{Э}}$ – абсолютная магнитная проницаемость материала экрана, Гн/м ,
 $\mu_{\text{Э}} = \mu_0 \cdot \mu'_{\text{Э}}$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м ;

$\mu'_{\text{Э}}$ – относительная магнитная проницаемость;

f – рабочая частота, Гц .

2. Исходя из соображений прочности экрана выбрать толщину стенок экрана. Из соображений прочности экрана толщину его стенок d следует принимать не менее 1 мм. При этом $d > \delta$.

3. Определить требуемую эффективность экранирования $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ путем деления величины напряженности поля, создаваемого катушкой на рабочем месте при отсутствии экрана $H_{\text{р}}$, на величину допустимой напряженности поля $H_{\text{н}} = 25 \text{ А/м}$

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = H_{\text{р}} / H_{\text{н}}.$$

4. Определить значение $H_{\text{р}}$ по формуле:

$$H_{\text{р}} = \omega \cdot I \cdot a^2 / (4 \cdot r^3), \text{ А/м,}$$

где ω – число витков, шт.;

I – сила тока в катушке, А ;

a – радиус катушки, м ;

r – расстояние от катушки до рабочего места, м .

5. Определить требуемую эффективность экранирования:

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = 20 \lg (H_{\text{р}} / H_{\text{н}}).$$

6. Определить фактическую величину эффективности экранирования по формуле:

$$\mathcal{E} = 20 \lg \frac{ae^{d/\delta}}{2\sqrt{2}\delta\mu'_{\text{Э}}},$$

где d – толщина стенок экрана, м .

7. Если фактическая величина эффективности экранирования будет превышать требуемую эффективность экранирования, то рассчитанный экран будет обеспечивать необходимую защиту от электромагнитных полей.

8. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

8.1. Действие электрического тока на организм человека

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Основные причины несчастных случаев от воздействия электрического тока следующие: случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением; появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования в результате повреждения изоляции и других причин; появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения оборудования электроустановки; возникновение шагового напряжения на поверхности земли в результате замыкания на землю.

Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие.

Термическое действие выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, нервов и других тканей.

Электролитическое действие проявляется в разложении крови и других органических жидкостей, что вызывает изменения их физико-химических свойств.

Биологическое действие вызывает раздражение и возбуждение живых тканей организма (сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц), а также нарушение внутренних биоэлектрических процессов (прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения). Раздражающее действие тока на ткани организма может быть прямым, когда ток проходит непосредственно по этим тканям, и рефлекторным, т. е. через центральную нервную систему, когда путь тока лежит вне этих тканей.

Многообразие действий электрического тока нередко приводит к различным электротравмам, которые условно можно свести к двум видам: местным и общим (электрический удар).

Местные электротравмы – четко выраженные местные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги. К ним относятся:

1) *электрические ожоги* могут быть вызваны протеканием тока через тело человека (токовый или контактный ожог), а также воздействием электрической дуги на тело (дуговой ожог);

2) *электрические знаки* – четко очерченные пятна серого или бледно-желтого цвета диаметром 1-5 мм на поверхности кожи человека, подвергшегося действию тока;

3) *металлизация кожи* – проникновение в верхние слои кожи мельчайших частичек металла, расплавившегося под действием электрической дуги;

4) *электроофтальмия* – воспаление наружных оболочек глаз, возникающее в результате воздействия мощного потока ультрафиолетовых лучей электрической дуги.

Механические повреждения являются следствием резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через тело человека. В результате могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани, вывихи суставов и даже переломы костей.

К электротравмам общего характера относятся:

1) *электрический удар* – возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. Различают четыре степени ударов:

I степень – судорожное сокращение мышц без потери сознания;

II степень – судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца;

III степень – потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);

IV степень – клиническая смерть, т. е. отсутствие дыхания и кровообращения;

2) *клиническая («мнимая») смерть* – переходный процесс от жизни к смерти, наступающий с момента прекращения деятельности сердца и легких. У человека отсутствуют все признаки жизни: он не дышит, сердце не работает, болевые раздражения не вызывают никаких реакций, зрачки глаз расширены и не реагируют на свет. Однако почти во всех тканях продолжают обменные процессы на очень низком уровне, но достаточном для поддержания жизнедеятельности. Первыми начинают погибать очень чувствительные к кислородному голоданию клетки коры головного мозга, с деятельностью которых связаны сознание и мышление, поэтому длительность клинической смерти определяется временем с момента прекращения сердечной деятельности и дыхания до начала гибели клеток коры головного мозга и составляет от 4-5 до 7-8 мин. После этого происходит множественный распад клеток коры головного мозга и других органов;

3) *биологическая (истинная) смерть* – необратимое явление, характеризующееся прекращением биологических процессов в клетках и тканях организма и распадом белковых структур; она наступает по истечении периода клинической смерти.

8.2. Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током

Исход воздействия электрического тока зависит от следующих факторов: величины тока, длительности протекания электрического тока через тело человека, электрического сопротивления тела человека, рода и частоты тока, пути тока в организме и индивидуальных особенностей человека.

Электрическое сопротивление тела человека определяется сопротивлением кожи и внутренних тканей. Поверхностный слой кожи, называемый эпидермисом, состоящий в основном из мертвых ороговевших клеток, обладает большим сопротивлением, которое и определяет общее сопротивление тела человека. Сопротивление нижних слоев кожи и внутренних тканей человека незначительно. При сухой, чистой и неповрежденной коже сопротивление тела человека колеблется в пределах 2 тыс. - 2 млн Ом. При увлажнении, загрязнении и при повреждении кожи сопротивление тела оказывается равным около 500 Ом (сопротивление внутренних тканей тела). В расчетах сопротивление тела человека принимается равным 1000 Ом.

Величина тока, протекающего через тело человека, является главным фактором, от которого зависит исход поражения. *Ощутимый ток* – человек начинает ощущать протекающий через него ток промышленной частоты 50 Гц относительно малого значения: 0,5-1,5 мА. *Неотпускающий ток* – ток 10-15 мА вызывает сильные и весьма болезненные судороги мышц рук, которые человек самостоятельно преодолеть не в состоянии и оказывается, как бы прикованным к токоведущей части. При 25-50 мА действие тока распространяется и на мышцы грудной клетки, что приводит к затруднению и даже прекращению дыхания. При длительном воздействии этого тока – в течение нескольких минут – может наступить смерть вследствие прекращения работы легких. *Фибрилляционный ток* – при 100 мА ток оказывает непосредственное влияние и на мышцу сердца; при длительности протекания более 0,5 с такой ток может вызвать остановку или фибрилляцию сердца, т. е. быстрые хаотические и разновременные сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл), при которых сердце перестает работать как насос. В результате в организме прекращается кровообращение и наступает смерть.

Длительность протекания тока через тело человека влияет на исход поражения вследствие того, что со временем резко повышается ток за счет уменьшения сопротивления тела. Кроме того, длительное прохождение переменного тока нарушает ритм сердечной деятельности, вызывая трепетание желудочков сердца в связи с поражением нервов сердечной мышцы.

Род и частота тока в значительной степени определяют исход поражения. Наиболее опасным является переменный ток с частотой 20-100 Гц. При частоте меньше 20 или больше 100 Гц опасность поражения током заметно снижается. Токи частотой свыше 0,5 МГц не оказывают разд-

ражающего действия на ткани и поэтому не вызывают электрического удара. Однако они могут вызвать термические ожоги. При постоянном токе пороговый ощутимый ток повышается до 6-7 мА, пороговый неотпускающий ток – до 50-70 мА, а фибрилляционный при длительности воздействия более 0,5 с – до 300 мА.

Путь прохождения тока через тело человека. Наибольшую опасность представляет прохождение тока через жизненно важные органы (сердце, спинной мозг, органы дыхания и т.д.) по пути «рука – рука» и «рука – ноги», при этом ток проходит по кровеносным и лимфатическим сосудам, оболочкам нервных стволов и т.д. Менее опасен путь тока «нога – нога».

8.3. Анализ условий поражения человека электрическим током

Все случаи поражения человека электрическим током являются результатом замыкания электрической цепи через тело или, иначе говоря, результатом прикосновения человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует напряжение. Опасность такого прикосновения оценивается, как известно, значением тока, проходящего через человека ($I_{\text{ч}}$), или же напряжением, под которым оказывается человек – напряжением прикосновения ($U_{\text{пр}}$).

Схемы включения человека в цепь тока могут быть различны. Однако наиболее характерными являются две схемы включения: между двумя фазами и между одной фазой и землёй. Разумеется, во втором случае предполагается наличие электрической связи между сетью и землёй. Применительно к наиболее распространённым трёхфазным сетям первую схему принято называть двухфазным прикосновением, а вторую – однофазным.

Двухфазное прикосновение наиболее опасно, т.к. человек попадает под линейное напряжение, ток идёт по пути «рука – рука» и на его величину не влияют ни сопротивление обуви, пола, ни режим нейтрали сети и т.п. При таком включении ток, проходящий через человека ($I_{\text{ч}}$, А), находят по формуле:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{л}} / R_{\text{ч}}, \quad (8.1)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение (напряжение между фазными проводами сети), В;
 $R_{\text{ч}}$ – сопротивление тела человека, Ом ($R_{\text{ч}} = 1000$ Ом).

Однако такой способ включения человека в электрическую сеть на практике встречается редко, чаще человек подключается к одной фазе сети.

Однофазное прикосновение является, как правило, менее опасным, чем двухфазное, так как на величину тока, проходящего через тело человека, влияет много факторов: меньшая величина напряжения, сопротивление обуви, пола, режим нейтрали источника питания и режим работы сети (нормальный или аварийный).

Нейтраль – это точка соединения обмоток трансформатора или генератора:

а) непосредственно присоединённая к заземляющему устройству (глухозаземлённая нейтраль);

б) не присоединённая к заземляющему устройству или присоединённая к нему через аппараты с большим сопротивлением (изолированная нейтраль).

В трёхфазной четырёхпроводной сети с глухозаземлённой нейтралью цепь тока, проходящего через тело человека, включает в себя кроме сопротивления тела человека ($R_{ч}$) ещё:

– сопротивление его обуви ($R_{об}$), которое составляет 25-5000 кОм для сухой обуви; 0,2-2 кОм – для влажной; для сырой обуви или обуви, подбитой металлическими гвоздями, $R_{об}=0$;

– сопротивление пола, на котором стоит человек ($R_{п}$). Сопротивление сухих полов достигает значения более 2 кОм; для влажных или пропитанных щелочами или кислотами – 4...50 Ом; для сырых или металлических полов $R_{п}=0$;

– сопротивление заземления нейтрали источника тока (R_0), $R_0 \leq 10$ Ом.

При этом все эти сопротивления включены последовательно. Ток, проходящий через человека (рис. 8.1, а), определяется по формуле:

$$I_{ч} = U_{\phi} / (R_{ч} + R_{об} + R_{п} + R_0), \quad (8.2)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение (напряжение между началом и концом одной обмотки питающего сеть трансформатора (генератора) или между фазным и нулевым проводами сети), В.

$$U_{\phi} = U_{л} / \sqrt{3}.$$

Напряжение прикосновения ($U_{пр}$, В) будет равно:

$$U_{пр} = I_{ч} \cdot R_{ч} = U_{\phi} \cdot R_{ч} / (R_{ч} + R_{об} + R_{п} + R_0). \quad (8.3)$$

При аварийном режиме, когда одна фаза сети замкнута на землю, ток, проходящий через человека, будет равен:

$$I_{ч} = U_{\phi} \cdot (R_{зм} + R_0 \cdot \sqrt{3}) / [(R_{зм} \cdot R_0) + (R_{ч} + R_{об} + R_{п}) \cdot (R_{зм} + R_0)]. \quad (8.4)$$

где $R_{зм}$ – сопротивление замыкания, Ом.

Напряжение прикосновения:

$$U_{пр} = U_{\phi} \cdot R_{ч} \cdot (R_{зм} + R_0 \cdot \sqrt{3}) / [(R_{зм} \cdot R_0) + (R_{ч} + R_{об} + R_{п}) \cdot (R_{зм} + R_0)]. \quad (8.5)$$

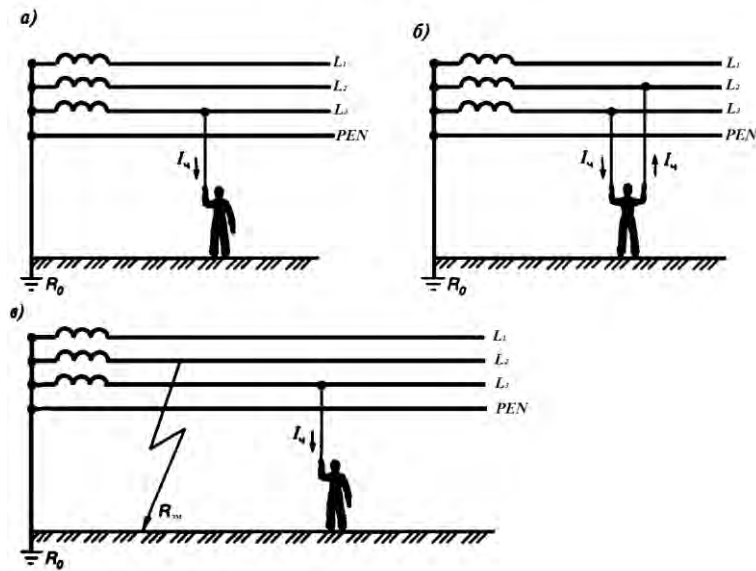


Рис. 8.1. Опасность трёхфазных электрических цепей с глухозаземлённой нейтралью

В трёхфазной трёхпроводной сети с изолированной нейтралью ток, проходящий через тело человека в землю, возвращается к источнику тока через сопротивление изоляции проводов сети, которое в исправном состоянии обладает большим сопротивлением. Для этого случая ток, проходящий через человека (рис. 8.2, а), определяется как:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{П}} + R_{\text{ИЗ}}/3), \quad (8.6)$$

где $R_{\text{ИЗ}}$ – сопротивление изоляции фаз относительно земли, Ом.

$R_{\text{ИЗ}} \geq 0,5 \text{ МОм}$ для $U_{\text{раб}} < 1000 \text{ В}$ или $R_{\text{ИЗ}} \geq 10 \text{ МОм}$ для $U_{\text{раб}} > 1000 \text{ В}$.

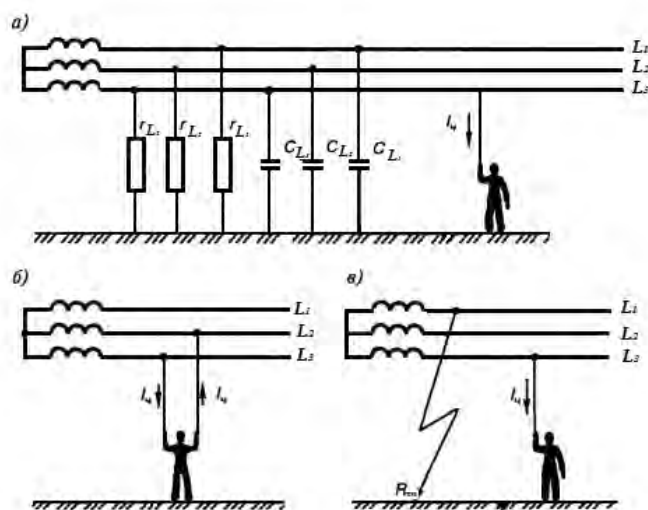


Рис. 8.2. Опасность трёхфазных электрических цепей с изолированной нейтралью

В случае же аварии (рис. 8.2, в), когда сопротивление одной из фаз относительно земли близко к нулю, ток, проходящий через тело человека, будет равен:

$$I_{\text{ч}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_{\text{зм}}), \quad (8.7)$$

а напряжение прикосновения:

$$U_{\text{пр}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}} \cdot R_{\text{ч}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_{\text{зм}}). \quad (8.8)$$

Замыкание провода на землю сопровождается растеканием тока в грунте, что приводит к возникновению нового вида опасности – возможности поражения человека электрическим током из-за попадания под напряжение шага ($U_{\text{ш}}$) или под напряжение прикосновения ($U_{\text{пр}}$).

Напряжение шага ($U_{\text{ш}}$) – это разность потенциалов между двумя точками на поверхности земли на расстоянии шага. Радиус зоны напряжения шага ~ 20 м.

Ток, проходящий через тело человека, обусловленный напряжением шага, равен:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ш}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}}). \quad (8.9)$$

$$U_{\text{ш}} = I_3 \cdot r \cdot a / [2 \cdot \pi \cdot x \cdot (x + a)],$$

где I_3 – ток замыкания в точке касания провода с землёй, А.

$$I_3 = U_{\text{ф}} / (R_{\text{зм}} + R_{\text{р.т}}),$$

где $R_{\text{р.т}}$ – сопротивление грунта растеканию тока, Ом;

r – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

a – расстояние шага ($a = 0,8$ м);

x – расстояние от точки замыкания до ноги человека, м.

Напряжение прикосновения ($U_{\text{пр}}$) – разность потенциалов между двумя точками, которых одновременно касается человек. В случае замыкания на землю $U_{\text{пр}}$ – разность потенциалов между точкой нахождения электроустановки, которой касается человек (φ_3), и точкой грунта, на которой он стоит (φ_a).

Ток, протекающий через тело человека при прикосновении, равен:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{пр}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}}). \quad (8.10)$$

$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 - \varphi_a,$$

где φ_3 – потенциал в точке расположения электроустановки, В;

φ_a – потенциал в точке нахождения человека, В.

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3,$$

где I_3 – ток замыкания, А;

R_3 – сопротивление заземлителя (или заземляющего устройства), Ом.

$$\varphi_a = I_3 \cdot r / (2 \cdot \pi \cdot x),$$

где x – расстояние между точкой замыкания и местом нахождения человека, м.

8.4. Классификация помещений по опасности поражения электрическим током

Все помещения делятся по опасности поражения электрическим током на три класса:

помещения без повышенной опасности – помещения, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность;

помещения с повышенной опасностью – характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырости или токопроводящей пыли, токопроводящих полов (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и др.); высокой температуры (+35 °С и более), возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

особо опасные помещения – характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости (влажность близка к 100%), химически активной или органической среды и одновременного двух и более условий повышенной опасности.

Сырые помещения – относительная влажность воздуха длительно превышает 75%. *Особо сырые помещения* – относительная влажность воздуха близка к 100 % (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой). *Жаркие помещения* – под воздействием различных тепловых излучений температура воздуха превышает постоянно или периодически (более суток) +35 °С. *Пыльные помещения* – по условиям производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что может оседать на проводах, проникать внутрь машин и т.п. Пыльные помещения разделяются на помещения с токопроводящей пылью и помещения с нетокопроводящей пылью. *Помещения с химически активной или органической средой* – постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образующие отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

8.5. Меры защиты от поражения электрическим током

Для предотвращения опасного воздействия электрического тока на человека в электроустановках применяются следующие меры защиты: защитное заземление; защитное зануление; применение малых напряжений; контроль и профилактика повреждений изоляции; двойная изоляция; защитное отключение; выравнивание потенциалов; защита от случайного прикосновения к токоведущим частям; оградительные устройства; электротехнические средства и приспособления; предупредительная сигнализация, блокировки, знаки безопасности.

Согласно ТКП 339-2011 «Правила устройства и защитные меры электробезопасности» и ГОСТ 12.1.019 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме применяются по отдельности или в сочетании следующие меры защиты от прямого прикосновения:

- основная изоляция токоведущих частей;
- ограждения и оболочки;
- установка барьеров;
- размещение вне зоны досягаемости;
- применение сверхнизкого (малого) напряжения.

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции применяются по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- защитное зануление;
- защитное автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;
- двойная или усиленная изоляция;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Меры защиты от поражения электрическим током предусматриваются в электроустановке или ее части либо применяются к отдельным электроприемникам и могут быть реализованы при изготовлении электрооборудования, либо в процессе монтажа электроустановки, либо в обоих случаях.

Контроль основной изоляции токоведущих частей. Состояние изоляции в значительной мере определяет степень безопасности эксплуатации электроустановок. Чтобы предотвратить замыкание на землю и другие повреждения изоляции, при которых возникает опасность поражения людей электрическим током, а также выходит из строя оборудование, проводят испытания повышенным напряжением и контроль сопротивления изоляции. Измерение сопротивления изоляции электроустановки производится на отключенной установке. Измеряется сопротивление изоляции каждой

фазы относительно земли и между каждой парой фаз на каждом участке между двумя последовательно установленными предохранителями, аппаратами защиты и т. п. или за последним предохранителем. Сопротивление изоляции силовых и осветительных сетей напряжением до 1кВ должно быть не ниже 0,5 МОм на фазу.

Размещение вне зоны досягаемости. Прикосновение к токоведущим частям всегда может быть опасным даже в сети напряжением до 1кВ с изолированной нейтралью, хорошей изоляцией и малой емкостью, не говоря уже о сетях с заземленной нейтралью и сетях напряжением выше 1кВ. Чтобы исключить возможность прикосновения или опасного приближения к изолированным токоведущим частям, обеспечивают недоступность с помощью ограждений, блокировок или расположения токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте.

Применение малых напряжений. Если номинальное напряжение электроустановки не превышает длительно допустимого значения напряжения прикосновения, то даже одновременный контакт человека с токоведущими частями разных фаз или полюсов будет безопасен. Наибольшая степень безопасности достигается при напряжениях 6-10 В, так как при таком напряжении ток, проходящий через тело человека, не превысит 1-1,5 мА. При использовании переносных электрических установок и ручного электрифицированного инструмента с целью повышения безопасности применяются напряжения 12, 36 и 42 В. Однако одним применением малых напряжений не достигается достаточная степень безопасности, поэтому дополнительно принимаются другие меры защиты – двойная изоляция, защита от случайных прикосновений и др.

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Принцип действия защитного заземления заключается в снижении до безопасных значений напряжения прикосновения $U_{пр}$ и тока $I_{ч}$, протекающего через человека. Назначение защитного заземления – устранение опасности поражения электрическим током в случае прикосновения человека к корпусу электрооборудования или к другим нетоковедущим металлическим частям, оказавшимся под напряжением. Оно служит для превращения замыкания на корпус К в замыкание на землю за счет создания цепи с малым сопротивлением R_3 . При этом необходимо иметь в виду, что сопротивление тела человека $R_{ч}$ может достигать значений порядка 10^4 - 10^6 Ом. Однако в расчетах применяется значение сопротивления тела человека $R_{ч} = 1000$ Ом. Таким образом, при возникновении аварийной ситуации (например, замыкание фазы на корпус), прикосновение человека к корпусу равносильно прикосновению к фазе. При этом через тело человека может пройти ток опасной величины. Опасность поражения при наличии надежного заземления снижается, так как для тока I_3 создается цепь имеющая малое сопротивление заземления

R_3 (4 Ом или 10 Ом), и вследствие чего происходит стекание тока по пути наименьшего сопротивления.

На рис. 8.3 показана принципиальная электрическая схема защитного заземления.

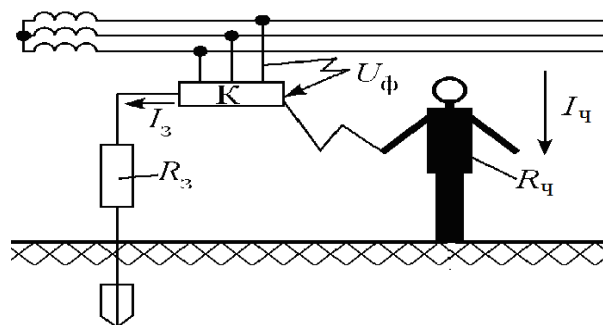


Рис. 8.3. Принципиальная схема защитного заземления:
К – корпус электроустановки; R_3 – сопротивление заземления;
 $R_ч$ – электрическое сопротивление тела человека

ТКП 339-2011 устанавливает значение наибольшего допустимого сопротивления защитного заземляющего устройства в электроустановках напряжением до 1кВ в сетях с изолированной нейтралью при мощности генератора или трансформатора до 100 кВА – 10 Ом, а при мощности более 100 кВА – 4 Ом. К частям, подлежащим заземлению, относятся: корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т.п.; приводы электрических машин; каркасы распределительных щитов, щитов управления и др. Каждое заземляющее устройство должно иметь паспорт, содержащий схему устройства, основные технические и расчетные данные, сведения о проведенных ремонтах, контрольных исследованиях, внесенных изменениях и др.

В соответствии с ТКП 339-2011 заземление или зануление электроустановок следует выполнять: при напряжении 400 В и выше переменного тока (во всех электроустановках); 440 В и выше постоянного тока (во всех электроустановках); номинальных напряжениях выше 42 В, но ниже 400 В переменного тока (только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных электроустановках); выше 110 В, но ниже 440 В постоянного тока (только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных электроустановках).

Защитное зануление – это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением (рис. 8.4). *Принцип действия зануления* – превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (между фазным и нулевым проводником) с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты и автоматически отключить поврежденное электрооборудование от питающей сети.

При этом необходимо учесть, что с момента возникновения аварии (замыкания на корпус) до момента автоматического отключения поврежденного оборудования от сети имеется небольшой промежуток времени, в течение которого прикосновение к корпусу опасно, так как он находится под напряжением U_{ϕ} . В этот период сказывается защитная функция заземления корпуса оборудования через повторное заземление нулевого защитного проводника R_{Π} .

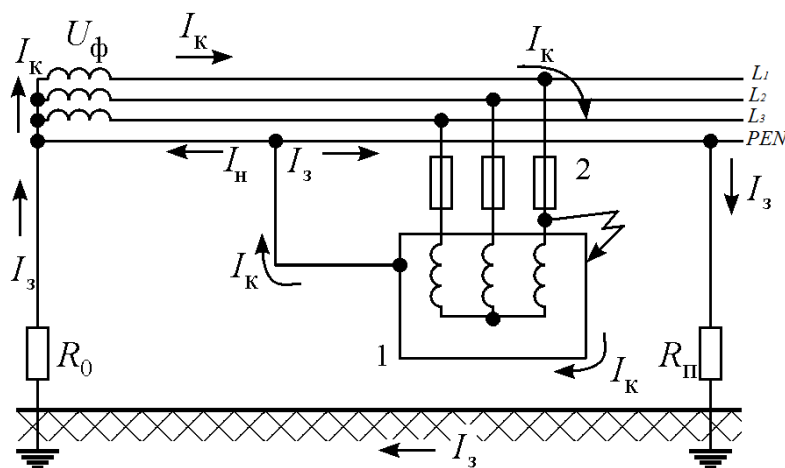


Рис. 8.4. Принципиальная схема зануления:

1 – корпус; 2 – аппараты защиты от токов короткого замыкания (плавкие предохранители, автоматы и т. п.); R_0 – сопротивление заземления нейтрали источника тока; R_{Π} – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника; I_k – ток короткого замыкания; $I_k = I_n + I_3$, I_n – часть тока короткого замыкания, проходящая по нулевому проводу; I_3 – часть тока короткого замыкания, проходящая через землю

Из рис. 8.4 видно, что схема зануления требует наличия в сети следующих элементов: нулевого защитного проводника; заземления нейтрали источника тока; повторного заземления нулевого защитного проводника.

Область применения зануления – трехфазные четырехпроводные сети напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью. Обычно это сети напряжением 400 (380)/230 (220) В (применяющиеся в машиностроительной и других отраслях), а также сети 230(220)/133(127) В и 690(660)/400(380) В.

Защитное автоматическое отключение (УЗО) – это быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения электрическим током. Такая опасность может возникнуть при замыкании фазы на корпус электрооборудования; при снижении сопротивления изоляции фаз относительно земли ниже определенного предела; появлении в сети более высокого напряжения; замыкании фазы на корпус. УЗО обеспечивает отключение неисправной электроустановки за время не более 0,2 с. Основными частями УЗО являются прибор защитного отключения и автоматический выключатель.

Прибор защитного отключения – совокупность отдельных элементов, которые реагируют на изменение какого-либо параметра электрической сети и дают сигнал на отключение автоматического выключателя. *Автоматический выключатель* – устройство, служащее для включения и отключения оборудования. Устройство защитного отключения в зависимости от параметра, на который оно реагирует, может быть отнесено к тому или иному типу, в том числе к типам устройств, реагирующих на напряжение корпуса относительно земли, на ток замыкания на землю, на напряжение фазы относительно земли и др.

Двойная изоляция – совокупность двух видов изоляции: *рабочая изоляция* – изоляция токоведущих частей электроустановки, обеспечивающая ее нормальную работу и защиту от поражения электрическим током; *дополнительная изоляция* – изоляция корпуса. Наиболее просто двойная изоляция осуществляется путем покрытия металлических корпусов и рукояток электрооборудования слоем электроизоляционного материала и применением изолирующих ручек. Область применения двойной изоляции ограничивается электрооборудованием небольшой мощности – электрифицированным ручным инструментом, некоторыми переносными устройствами, бытовыми приборами и ручными электролампами.

8.6. Электрозащитные средства

В процессе эксплуатации электроустановок могут возникать ситуации, когда конструктивное исполнение установки не обеспечивает безопасность работника. Поэтому наряду со стационарными устройствами защиты от поражения электрическим током требуется применение специальных защитных средств – приборов, аппаратов, переносных и перевозимых приспособлений и устройств, служащих для защиты персонала от поражения электрическим током, воздействия электрической дуги, электрического поля, продуктов горения и т.п. Эти средства не являются конструктивными частями электроустановок: они дополняют защитные функции ограждений, блокировок, защитного заземления, зануления и т.п.

Они называются электрозащитными средствами.

Согласно ТКП 290-2010 «Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках» электрозащитные средства делятся на основные и дополнительные.

Основные электрозащитные средства – средства защиты, изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановок, и которые позволяют работать на токоведущих частях, находящихся под напряжением.

Дополнительные электрозащитные средства – средства защиты, дополняющие основные средства, а также служащие для защиты от напряжения прикосновения и напряжения шага, которые сами по себе не могут при данном напряжении обеспечить защиту от поражения электрическим током.

ком, а применяются совместно с основными электроизолирующими средствами.

Классификация защитных средств в зависимости от напряжения электроустановки приведена в табл. 8.1 и 8.2.

Таблица 8.1

Электрозащитные средства для работ в электроустановках напряжением выше 1кВ

Основные	Дополнительные
Электроизолирующие штанги всех видов Электроизолирующие и электроизмерительные клещи Указатели напряжения Устройства и приспособления для обеспечения безопасности труда при проведении испытаний и измерений в электроустановках (указатели напряжения для проверки совпадения фаз, устройства для прокола и резки кабеля, указатели повреждения кабелей) Электроизолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ под напряжением в электроустановках (полимерные изоляторы, изолирующие лестницы, накладки)	Электроизолирующие перчатки и боты Электроизолирующие ковры и подставки Электроизолирующие колпаки и накладки Штанги для переноса и выравнивания потенциала Сигнализаторы наличия напряжения индивидуальные Лестницы приставные, стремянки электроизолирующие стеклопластиковые Заземления переносные Заземления переносные набрасываемые Плакаты и знаки безопасности Оградительные устройства

Таблица 8.2

Электрозащитные средства для работ в электроустановках напряжением до 1 кВ

Основные	Дополнительные
Электроизолирующие штанги всех видов Электроизолирующие и электроизмерительные клещи Указатели напряжения Электроизолирующие перчатки Ручной электроизолирующий инструмент Электроизолирующие средства и приспособления для проведения работ под напряжением на ВЛ 0,4 кВ	Электроизолирующие галоши Электроизолирующие ковры и подставки Электроизолирующие колпаки и накладки Заземления переносные Плакаты и знаки безопасности Оградительные устройства Лестницы приставные, стремянки электроизолирующие стеклопластиковые

Кроме перечисленных средств защиты в электроустановках применяются средства индивидуальной защиты следующих классов: средства защиты головы; средства защиты глаз и лица; средства индивидуальной защиты органов дыхания; средства защиты органов слуха; средства защиты рук; средства защиты от падения с высоты; одежда специальная защитная; обувь специальная защитная.

Порядок и правила пользования средствами защиты. Персонал, обслуживающий электроустановки, должен быть снабжен всеми необходимыми средствами защиты, обеспечивающими безопасность работы.

На предприятиях назначаются лица, ответственные за своевременное обеспечение персонала и комплектование электроустановок испытанными средствами защиты в соответствии с нормами комплектования, организацию правильного хранения и создание необходимого резерва.

Средства защиты должны находиться в качестве инвентарных средств в распределительных устройствах в цехах электростанций и предприятий, на трансформаторных подстанциях и в распределительных пунктах электросетей или входить в инвентарное имущество оперативно-выездных бригад, бригад централизованного ремонта, передвижных лабораторий и т.п., а также выдаваться для индивидуального пользования.

Электрозащитными средствами следует пользоваться по их прямому назначению в электроустановках напряжением не выше того, на которое они рассчитаны. Основные электрозащитные средства рассчитаны на применение в закрытых электроустановках, а в открытых электроустановках и на ВЛ – только в сухую погоду. На открытом воздухе в сырую погоду могут быть применены только средства защиты, предназначенные для работы в этих условиях.

Лица, получившие средства защиты в индивидуальное пользование, отвечают за их правильную эксплуатацию и своевременную отбраковку. Перед употреблением средств защиты персонал обязан проверить его исправность, отсутствие внешних повреждений, очистить и обтереть от пыли, проверить по штампу срок годности.

У электроизолирующих перчаток перед употреблением следует проверить отсутствие проколов путем скручивания их в сторону пальцев.

При обнаружении неисправности средств защиты, выданных для отдельной электроустановки, обслуживающий ее персонал обязан немедленно их изъять, поставить об этом в известность руководство и сделать запись в журнале учета и содержания средств защиты или в оперативной документации.

Пользоваться средствами защиты, срок годности которых истек, запрещается.

Порядок содержания средств защиты. Средства защиты необходимо хранить и перевозить в условиях, обеспечивающих их исправность и пригодность к употреблению, поэтому они должны быть защищены от увлажнения, загрязнения и механических повреждений.

Средства защиты необходимо хранить в закрытых помещениях.

Находящиеся в эксплуатации средства защиты из резины следует хранить в специальных шкафах, на стеллажах, в ящиках и т.п. отдельно от инструмента. Они должны быть защищены от воздействия масел, бензина и других разрушающих резину веществ, а также от прямого воздействия солнечных лучей и теплоизлучения нагревательных приборов. Средства защиты из резины, находящиеся в складском запасе, необходимо хранить в сухом помещении при температуре 0...25 °С.

Средства защиты, находящиеся в эксплуатации, размещают в специально отведенных местах, как правило, у входа в помещение, а также на щитах управления с перечнем имеющихся средств защиты. В местах хранения должны быть крючки или кронштейны для штанг, клещей, переносных заземлений, плакатов и знаков безопасности, а также шкафчики, стеллажи и т.п. для перчаток, бот, галош, электроизолирующих колпаков, изолирующих накладок и подставок, рукавиц, предохранительных поясов и канатов, защитных очков, противогазов, указателей напряжения и т.д.

Изолирующие средства и приспособления для работ без снятия напряжения следует содержать в сухом проветриваемом помещении, при перевозке или временном хранении на открытом воздухе их необходимо упаковывать в чехлы. Перед применением изолирующие устройства и приспособления следует протирать сухой ветошью, во время работы не допускать их увлажнения. В случае отсыревания их необходимо просушить и подвергнуть внеочередным электрическим испытаниям.

После изготовления средства защиты необходимо подвергать: приемосдаточным (каждый образец), периодическим и типовым испытаниям (ТКП 290-2010).

При эксплуатации средства защиты следует подвергать периодическим и внеочередным (проводимым после ремонта) испытаниям.

На прошедшие испытания средства защиты, кроме инструмента с изолирующими рукоятками и указателей напряжения до 1 кВ, ставят штамп, имеющий одну из следующих форм (рис. 8.5, 8.6).

№ _____
Годно до _____ кВ
Дата следующего испытания _____ 20 ____ г.

(наименование лаборатории)

Рис.8.5. Штамп для электрозащитных средств

№ _____
Дата следующего испытания _____ 20 ____ г.

(наименование лаборатории)

Рис.8.6. Штамп для средств защиты и предохранительных приспособлений, применение которых не зависит от напряжения электроустановок (электроизолирующие перчатки, противогазы, предохранительные монтерские пояса, страховочные канаты и т.п.).

Штамп должен быть выбит, нанесен прочной несмываемой краской или наклеен на изолирующей части около ограничительного кольца электрозащитных средств либо у края резиновых изделий и предохранительных приспособлений. На средствах защиты, состоящих из нескольких час-

тей, штамп ставят только на одной части. На средствах защиты, признанных непригодными, старый штамп должен быть перечеркнут красной краской.

Требования к отдельным видам средств защиты и правила пользования ими.

Штанги электроизолирующие совместно с приборами, инструментом и приспособлениями предназначены для оперативной работы (операции с разъединителями, смена предохранителей и т.п.), измерений (проверка изоляции, наличия (отсутствия) напряжения, совпадения фаз на линиях электропередачи и подстанциях), а также для установки и снятия переносных заземлений, не имеющих своих штанг, и для освобождения пострадавших.

Штанги электроизолирующие оперативные могут быть универсальными со сменными головками (рабочими частями) для выполнения различных операций и составными из нескольких звеньев. Для соединения звеньев между собой могут применяться детали, изготовленные из изоляционного материала или металла. Допускается применение телескопической конструкции.

Штанги состоят из трех основных частей: рабочей, изолирующей и рукоятки.

Конструкция и масса штанг должны обеспечивать возможность работы с ними одного человека. При этом наибольшее усилие на одну руку (поддерживающую у ограничительного кольца) не должно превышать 80 Н для измерительных штанг, для остальных (в том числе для установки заземления) – 160 Н.

Клещи электроизолирующие предназначены для замены предохранителей в электроустановках до и выше 1 кВ, а также для снятия ограждений, накладок и других аналогичных работ в электроустановках до 34 кВ.

Клещи состоят из рабочей (губок клещей), электроизолирующей частей и рукоятки (рукояток). Изолирующая часть и рукоятка изготавливаются из электроизоляционного материала (например, полипропилена – клещи до 1 кВ, стеклоэпоксифенольных материалов). Изолирующая часть клещей отделяется от рукоятки ограничительными упорами (кольцом).

Конструкция и масса клещей должны обеспечивать возможность удобной работы с ними одного человека.

Клещи электроизмерительные предназначены для измерения тока, напряжения и мощности в электрических цепях до 10 кВ. Они представляют собой трансформатор тока с разъемным магнитопроводом, первичной обмоткой которого является проводник с измеряемым током, а вторичная обмотка замкнута на измерительный прибор, стрелочный или цифровой.

Клещи для работы в электроустановках выше 1 кВ состоят из рабочей, изолирующей частей и рукоятки. Рабочую часть составляют разъемный магнитопровод, обмотка и съемный или встроенный измерительный

прибор. Корпус измерительного прибора пластмассовый. Магнитопровод выполнен из листовой электротехнической стали. Изолирующая часть с упором и рукоятка выполнены из электроизоляционного материала. Минимальная длина изолирующей части – 380 мм, рукоятки – 130 мм.

Указатели напряжения. В электроустановках до и выше 1 кВ для определения или отсутствия напряжения используются различные виды указателей напряжения контактного и бесконтактного типа.

Принцип действия *указателей напряжения выше 1 кВ* основан на преобразовании емкостного тока, протекающего через указатель, в оптический, акустический, вибрационный сигналы или их комбинацию. Преобразование может быть выполнено с помощью газоразрядной лампы, электронной схемы или другим способом. Рабочая часть содержит элементы электрической схемы, обеспечивающие визуальную, акустическую или визуально-акустическую индикацию напряжения. Среди возможных видов индикации основной является оптическая, остальные – дополнительные. Изолирующая часть располагается между рабочей частью и рукояткой и может быть составной из нескольких звеньев. Для соединения звеньев между собой применяются соединительные детали из электроизоляционного материала или коррозионно-устойчивого металла. Допускается применение телескопической конструкции, исключающей самопроизвольное складывание. При многозвенной конструкции изолирующей части, в том числе при использовании электроизолирующей штанги, каждое звено должно быть надежно заглушено для предотвращения попадания во внутреннюю полость посторонних предметов.

В электроустановках напряжением *до 1 кВ* применяются двухполюсные указатели напряжения, работающие на принципе протекания активного тока и предназначенные для электроустановок переменного и постоянного тока, и однополюсные, работающие при протекании емкостного тока.

Двухполюсные указатели напряжения состоят из двух корпусов, выполненных из электроизоляционного материала, содержащих элементы, реагирующие на наличие напряжения на контролируемых токоведущих частях.

Однополюсные указатели напряжения размещаются в одном корпусе, содержащем электрическую схему.

Заземления переносные предназначены для защиты людей, работающих на отключенных токоведущих частях электроустановок, от ошибочно поданного или наведенного напряжения. Они состоят из закорачивающих и заземляющих проводников с фазными зажимами для закрепления их на токоведущих частях и струбцин для присоединения к заземляющим контактам (заземлителям). Заземления могут иметь штанговую или бесштанговую конструкцию.

Заземляющий и закорачивающий проводники выполняются из гибкого медного провода, неизолированного или заключенного в прозрачную защитную оболочку. Зажимы фазные могут быть изготовлены из алюминия, стали, меди и их сплавов.

Концы медных проводов запрессовываются в луженые медные кафельные наконечники. Не допускается прямое контактное соединение медных проводов и алюминиевых зажимов. В местах присоединения проводов к зажимам должны быть предусмотрены меры для предотвращения излома жил.

Сечения проводов заземлений переносных должны удовлетворять требованиям термической стойкости при протекании токов трехфазного короткого замыкания, а в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью – также при протекании токов однофазного короткого замыкания. Провода заземлений должны иметь сечение не менее 16 мм² в электроустановках до 1 кВ и не менее 25 мм² – в электроустановках выше 1 кВ.

Для выбора сечений проводов переносных заземлений по условиям термической стойкости рекомендуется пользоваться следующей упрощенной формулой:

$$S_{\text{мин}} = \frac{I_{\text{уст}} \cdot \sqrt{t}}{C},$$

где $S_{\text{мин}}$ – минимально допустимое сечение провода, мм²;

$I_{\text{уст}}$ – наибольшее значение установившегося тока короткого замыкания, А;

t – время наибольшей выдержки основной релейной защиты, с;

C – коэффициент, зависящий от материала проводов (для меди $C = 250$).

В табл. 8.3 приведены допустимые по условиям термической стойкости токи короткого замыкания в зависимости от сечения проводов и времени выдержки релейной защиты 0,5; 1,0 и 3,0 с, рассчитанные по приведенной формуле для медных проводов.

При больших токах короткого замыкания разрешается устанавливать несколько заземлений параллельно. При установке нескольких переносных заземлений первым должно устанавливаться заземление с наибольшим сечением провода, а сниматься – с наименьшим.

Таблица 8.3

Максимально допустимые токи короткого замыкания для переносного заземления

Сечение медного провода, мм ²	Максимально допустимый ток короткого замыкания, кА, при времени выдержки релейной защиты		
	0,5 с	1,0 с	3,0 с
16	5,7	4,0	2,3
25	8,8	6,2	3,6
35	12,4	8,8	5,1
50	17,7	12,85	7,2
70	24,7	17,5	10,1
95	33,6	23,8	13,7

Перчатки электроизолирующие предназначены для защиты работающего от поражения электрическим током при работе в электроустановках до 1 кВ в качестве основного электрозащитного средства, а в электроустановках выше 1 кВ – дополнительного.

В электроустановках могут применяться перчатки бесшовные из латекса натурального каучука или перчатки со швом из листовой резины, выполненные методом штанцевания. В электроустановках разрешается использовать только перчатки с маркировкой по защитным свойствам Эн, Эв (Эн – для защиты от электрического тока напряжением до 1 кВ, Эв – для защиты от электрического тока напряжением выше 1 кВ) или класса 0 и 1 по международным стандартам.

Лестницы жесткие электроизолирующие. Жесткие изолирующие лестницы предназначены для производства работ на опорах ВЛ. Лестница состоит из нескольких секций, верхняя секция снабжена специальной площадкой с поручнями и металлическими захватами в виде крюков. Тетивы лестницы изготавливаются из стеклопластиковых труб, ступеньки – из стеклопластикового или полиамидного профиля. При этом стеклопластик круглого профиля применять запрещается.

Ручной электроизолирующий инструмент. К ручному электроизолирующему инструменту относится слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками (ключи гаечные разводные, трещоточные; плоскогубцы; пассатижи; кусачки боковые и торцевые; отвертки, монтерские ножи нескладные), применяемый для работы под напряжением в электроустановках до 1кВ в качестве основного электрозащитного средства.

Инструмент для работ под напряжением может быть двух видов: с нанесенным на металлический корпус электроизолирующим покрытием (изолированный инструмент); изготовленный из электроизоляционного материала и имеющий при необходимости металлические вставки (изолирующий инструмент).

Изолирующие рукоятки выполняются в виде диэлектрических чехлов, насаживаемых на ручки инструмента, или неснимаемого однослойного или многослойного покрытия из влагостойкого, маслостойкого, нехрупкого электроизоляционного материала, наносимого методом литья под давлением, окунания. Каждый слой многослойного изоляционного покрытия имеет свою окраску. Поверхность изолирующего покрытия не должна быть скользкой. Соединение изолирующих рукояток с ручками инструмента и изоляцией стержней отверток должно быть прочным, исключая возможность их взаимного продольного перемещения и проворачивания при работе.

Оградительные устройства применяют для предохранения работающих от случайного приближения на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением, а также для преграждения входа на участки электроустановок (РУ). К оградительным устройствам относят-

ся щиты. Щиты применяются для временного ограждения токоведущих частей, находящихся под напряжением до и выше 1 кВ.

Накладки электроизолирующие применяются в электроустановках напряжением до 20 кВ для предотвращения случайного прикосновения к токоведущим частям и в тех случаях, когда нет возможности оградить рабочее место щитами. В электроустановках до 1 кВ накладки применяют также как средство, препятствующее ошибочному включению рубильников. Накладки изготавливаются из прочного электроизоляционного материала. Конструкция и размеры их должны быть такими, чтобы токоведущие части закрывались полностью.

В электроустановках до 20 кВ применяются жесткие накладки из твердого электроизоляционного материала (стеклопластика, гетинакса и т.п.).

В электроустановках до 1 кВ можно использовать гибкие накладки толщиной не менее 5 мм из электроизолирующей резины или пластика для закрытия токоведущих частей при работах без снятия напряжения.

Колпаки электроизолирующие предназначены для применения в электроустановках до 10 кВ, конструкция которых по условиям электробезопасности исключает возможность установки переносных заземлений при проведении ремонтов, испытаний и определении мест повреждения.

Колпаки изготавливаются из электроизолирующей резины, пластмассы, стеклопластика или других электроизоляционных материалов с устойчивыми диэлектрическими свойствами.

8.7. Расчетные задания по теме

Задача 8.1. Оценить величину силы тока, проходящего через человека при однофазном включении его в электрическую сеть с изолированной нейтралью. Режим работы сети нормальный. Как изменится сила тока, проходящего через человека, в случае аварийного режима? Каковы будут последствия включения человека в электрическую цепь? В расчётах принять: человек стоит на металлическом полу в сырой обуви ($R_{об}=0$; $R_{п}=0$); сопротивление изоляции фаз относительно земли $R_{из}=3 \cdot 10^6$ Ом; сопротивление замыкания $R_{зм}=1$ Ом; линейное напряжение сети $U_{\phi}=230$ В.

При расчете использовать формулы (8.6), (8.7).

Задача 8.2. Оценить опасность включения человека в электрическую цепь с глухозаземлённой нейтралью в нормальном и аварийном режимах работы сети, если:

а) человек стоит на деревянном полу (сопротивление пола $R_{п}=100$ кОм) в токонепроводящей сухой обуви (сопротивление обуви $R_{об}=45$ кОм);

б) человек стоит на металлическом полу ($R_{п}=0$), в обуви подбитой металлическими гвоздями ($R_{об}=0$).

В расчётах принять: сопротивление заземления нейтрали источника тока $R_0 = 4$ Ом; сопротивление замыкания $R_{3м} = 1$ Ом; линейное напряжение сети $U_{\phi} = 230$ В.

При расчете использовать формулы (8.2), (8.4).

Задача 8.3. Рассчитать заземляющее устройство для заземления электрооборудования. Напряжение питания – 400 В. Заземляющее устройство состоит из вертикальных заземлителей из стальных труб или уголков длиной l и горизонтального заземлителя из стальной полосы 12×4 . Вертикальные заземлители расположены с интервалом a . Глубина заложения горизонтального заземлителя $h_0 = 0,7$ м. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 8.4

Исходные данные для расчета

Исходные данные	№ варианта										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
Напряжение э/установок, В	до 1000										
Суммарная мощность э/установок, P, кВА	150	200	250	120	300	220	250	200	150	300	
Тип вертикального заземлителя и размеры сечения, мм	труба Ø40	уголок 50x50x4	труба Ø32	уголок 60x60x4	труба Ø55	уголок 75x75x8	труба Ø50	уголок 60x60x6	труба Ø32	уголок 50x50x5	
Длина вертикального заземлителя, l, м	3,0	3,0	2,5	2,5	3,0	3,0	2,5	3,0	2,5	2,5	
Грунт	глина	суглинок	песок	супесок	чернозем	супесок	суглинок	глина	песок	чернозем	
Удельное сопротивление грунта, $\rho_{гр}$, Ом·м	70	150	700	400	53	400	150	70	700	53	
Расстояние между вертикальными заземлителями, a, м	6,0	9,0	5,0	5,0	6,0	3,0	5,0	4,5	5,0	5,0	
Отношение расстояния между заземлителями к их длине, a/l	2	3	2	2	2	1	2	1,5	2	2	
Способ заложения заземлителей	в ряд					по контуру					

Порядок расчета

Расчет защитного заземления заключается в определении типа вертикальных стержневых заземлителей, количества, размеров и способа их размещения при условии соответствия расчетного значения сопротивления заземляющего устройства нормам. Для электроустановок напряжением до 1 кВ расчет выполняется методом коэффициентов использования.

1. Определить допустимое сопротивление заземляющих устройств.

Допустимая величина сопротивления проектируемого заземляющего устройства $R_{\text{доп}}$ принимается по заданному напряжению и суммарной мощности электроустановок в соответствии с нормами.

ТКП 339-2011 устанавливает значение наибольшего допустимого сопротивления защитного заземляющего устройства в электроустановках напряжением до 1 кВ: сети с изолированной нейтралью при мощности трансформатора или генератора до 100 кВА – 10 Ом, а при мощности более 100 кВА – 4 Ом.

2. Определить сопротивление растеканию одиночного вертикального заземлителя по формуле:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l}{4H-l} \right) = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \lg \frac{4H+l}{4H-l} \right), \text{ Ом},$$

где ρ – расчетное удельное сопротивление грунта для вертикальных заземлителей, Ом·м;

l – длина вертикального заземлителя, м;

d – диаметр стержня вертикального заземлителя – трубы или круга (если в качестве одиночного заземлителя принят электрод с профилем в виде уголка, то $d = 0,95 b$, где b – ширина полки уголка), м;

H – расстояние от середины заземлителя до поверхности грунта, м

$$H = h_0 + l/2;$$

h_0 – глубина заложения горизонтального заземлителя, м.

Расчет можно вести по приближенной формуле (погрешность 5-10%)

$$R_{\text{в}} = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d}.$$

Схема расположения одиночного электрода в грунте приведена на рис. 8.7.

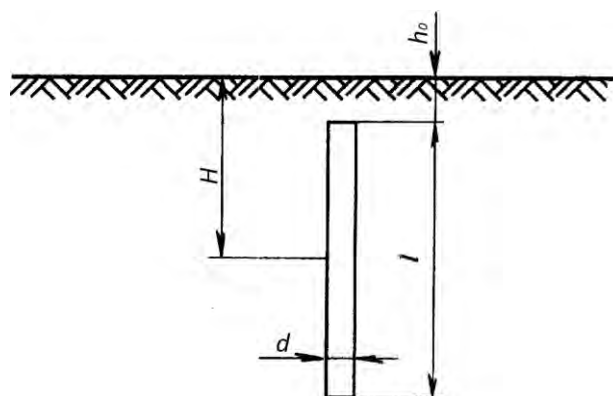


Рис.8.7. Одиночный стержневой заземлитель

3. Определить ориентировочное количество вертикальных заземлителей по формуле:

$$n_{в.о} = R_{в}/R_{доп}.$$

4. Определить коэффициент использования вертикальных заземлителей $\eta_{в}$ (табл.8.5).

Таблица 8.5

Коэффициент использования $\eta_{в}$ вертикальных стержневых заземлителей

Число стержней	Способ заложения заземлителей					
	в ряд			по контуру		
	Отношение расстояний между заземлителями к их длине a/l					
	1	2	3	1	2	3
2	0,85	0,91	0,94	—	—	—
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,80
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,55	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	—	—	—	0,41	0,58	0,66
60	—	—	—	0,39	0,55	0,64
100	—	—	—	0,36	0,52	0,62

5. Определить число вертикальных заземлителей с учетом коэффициента использования по формуле:

$$n_{в} = \frac{R_{в}}{\eta_{в} \cdot R_{доп}}.$$

Полученное значение $n_{в}$ следует округлить и принять несколько меньшим, так как горизонтальная металлическая полоса одновременно работает как заземлитель.

6. Определить длину горизонтального полосового заземлителя:
при расположении стержней:

в ряд – $l_{\text{пол}} = 1,05a \cdot (n_{\text{в}} - 1)$, м;

по контуру – $l_{\text{пол}} = 1,05a \cdot n_{\text{в}}$, м;

где a – расстояние между вертикальными заземлителями, м;

n – количество стержней – заземлителей.

7. Определить сопротивление растеканию горизонтального заземлителя по формуле:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho}{2\pi l_{\text{пол}}} \ln \frac{2l_{\text{пол}}^2}{b \cdot h_0} = 0,366 \frac{\rho}{l_{\text{пол}}} \lg \frac{2l_{\text{пол}}^2}{b \cdot h_0}, \text{ Ом,}$$

где b – ширина полосы, м (рис.8.8).

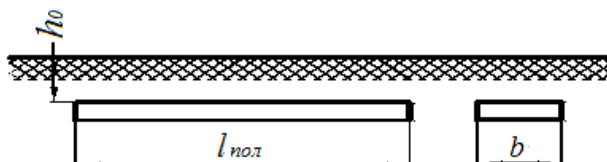


Рис. 8.8. Горизонтальный полосовой заземлитель

Расчет можно вести по приближенной формуле (погрешность 25%)

$$R_{\Gamma} = 0,734 \frac{\rho}{l_{\text{пол}}} \lg \frac{4l_{\text{пол}}}{b}$$

8. Определить коэффициент использования горизонтального полосового заземлителя η_{Γ} (табл.8.6).

Таблица 8.6

Коэффициент использования η_{Γ} горизонтального полосового заземлителя, соединяющего вертикальные стержни

Отношение расстояния между стержневыми заземлителями к их длине, a/l	Число стержневых заземлителей							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальные стержневые заземлители расположены в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	–	–	–
2	0,94	0,89	0,84	0,75	0,56	–	–	–
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	–	–	–
Вертикальные стержневые заземлители расположены по контуру								
1	–	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	–	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	–	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

9. Определить общее расчетное сопротивление заземляющего устройства по формуле:

$$R = \frac{R_B \cdot R_T}{R_T \cdot \eta_B \cdot \eta_B + R_B \cdot \eta_T}, \text{ Ом.}$$

10. Правильное рассчитанное заземляющее устройство должно отвечать условию $R \leq R_{\text{доп}}$.

Если $R > R_{\text{доп}}$, то необходимо увеличить число вертикальных заземлителей и выполнить перерасчет заземляющего устройства.

Задача 8.4. Выполнить расчет зануления электродвигателя на отключающую способность.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.7. Номер варианта следует выбирать по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 8.7

Исходные данные для расчета зануления

Исходные данные	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Напряжение сети, питающей электродвигатель, В	400	400	400	230	230	230	400	400	400	230
Фазное напряжение в сети, U_{ϕ} , В	230	230	230	133	133	133	230	220	230	133
Номинальный ток плавких вставок предохранителей, автоматических выключателей, защищающих электродвигатель, $I_{\text{ном}}$, А	125	125	80	80	125	80	125	80	125	125
Коэффициент кратности тока, К	Автом. выкл. 1,25	Плавк. предопр. 3	Автом. выкл. 1,4	Автом. выкл. 1,4	Плавк. предопр. 3	Автом. выкл. 1,4	Плавк. предопр. 3	Автом. выкл. 1,4	Автом. выкл. 1,25	Плавк. предопр. 3
Полное сопротивление трансформатора, Z_T , Ом	0,487	0,12	1,237	0,799	0,12	1,1	1,237	0,799	1,1	0,12
Мощность трансформатора, S , кВА	160	100	63	25	100	160	25	63	25	160
Активные сопротивления фазного и нулевого защитного проводников:										
R_{ϕ} , Ом	Алюм. 2,8	Алюм. 1,4	Медь 0,9	Алюм. 2,8	Медь 1,8	Алюм. 1,4	Медь 1,8	Алюм. 1,4	Медь 1,8	Алюм. 2,8
$R_{\text{н.з.}}$, Ом	Сталь 0,308	Сталь 0,154	Сталь 0,308	Сталь 0,308	Сталь 0,154	Сталь 0,154	Сталь 0,154	Сталь 0,154	Сталь 0,154	Сталь 0,308

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Индуктивные сопротивления фазного и нулевого проводников:										
X_{ϕ} , Ом	0,033	0,015	0,033	0,033	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,033
$X_{н.з.}$, Ом	0,308	0,154	0,308	0,308	0,154	0,154	0,154	0,154	0,154	0,308

Порядок расчета

Решение сводится к проверке соблюдения следующего условия:

$$I_{к.з.} \geq I_{сраб.защ.}$$

1. Определить величину тока срабатывания защиты по формуле:

$$I_{сраб.защ} = K \cdot I_{ном.}$$

где $I_{ном.}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, автоматического выключателя электродвигателя;

K – коэффициент кратности тока.

2. Определить полное сопротивление петли «фаза-нуль» по формуле:

$$Z_{п} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{н.з.})^2 + (X_{\phi} + X_{н.з.} + X_{п})^2}, \text{ Ом,}$$

где R_{ϕ} , $R_{н.з.}$ – активные сопротивления фазного и нулевого защитного проводников, Ом;

X_{ϕ} , $X_{н.з.}$ – внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого защитного проводников, Ом;

$X_{п}$ – внешнее индуктивное сопротивление петли «фаза-нуль» (0,02 Ом).

3. Определить действительное значение тока однофазного короткого замыкания, проходящего в схеме в аварийном режиме, по формуле:

$$I_{к.з.} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{т}}{3} + Z_{п}},$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение, В;

$Z_{п}$ – полное сопротивление петли «фаза-нуль», Ом;

$Z_{т}$ – полное сопротивление трансформатора, Ом.

4. Сравнить вычисленное значение тока однофазного короткого замыкания $I_{к.з.}$ с наименьшим допустимым значением по условиям срабатывания защиты, т.е. ТОКОМ $I_{сраб.защ.}$

Если $I_{к.з} \geq I_{сраб.защ}$, то отключающая способность зануления обеспечена.

Задача 8.5. Определить количество, состав электротехнических средств, сроки испытаний для следующих объектов:

- 1) щит управления электрической станции;
- 2) щит управления подстанции;
- 3) диспетчерская электростанция;
- 4) помещение дежурных электромонтеров;
- 5) распределительное устройство напряжением до 1 кВ;
- 6) распределительное устройство подстанции с постоянным оперативным персоналом;
- 7) оперативно-выездная бригада, обслуживающая подстанции 35 – 110 кВ;
- 8) оперативно-выездная бригада, обслуживающая распределительные электросети 0,4 – 20 кВ;
- 9) бригада по ремонту воздушных линий 35 – 750 кВ;
- 10) бригада по ремонту оборудования подстанций 35 – 750 кВ;
- 11) бригада по ремонту распределительных сетей 0,4 – 10 кВ.

Нормы комплектования средствами защиты выбрать согласно табл. 8.9 и 8.10.

Результаты свести в табл. 8.8.

Таблица 8.8

Результаты решения задачи

Электроустановка и вид персонала	Напряжение электроустановки	Нормы комплектования средствами защиты		Электрические эксплуатационные испытания		Периодичность
		Наименование защитных средств	Кол-во, шт.	Испытательное напряжение, кВ	Продолжительность, мин	
		Основные				
		Дополнительные				

Таблица 8.9

Нормы комплектования средствами защиты

Наименование средств защиты	Единица измерения	Количество	Примечание
1	2	3	4
1. Щиты управления электростанций, подстанций с постоянным оперативным персоналом (диспетчерские, помещения дежурных электромонтеров)			
Штанга электроизолирующая	шт.	2	На каждый класс напряжения

Продолжение таблицы 8.9

1	2	3	4
Указатель напряжения выше 1000 В	шт.	2	На каждый класс напряжения
Перчатки электроизолирующие	пара	2	
Боты электроизолирующие	пара	2	
Заземление переносное	шт.	2	На каждый класс напряжения
Заземление переносное для пожарных автомобилей	шт.	2	
Заземление переносное для пожарных ручных стволов	шт.	4	
Указатель напряжения до 1 кВ	шт.	2	
Клеши электроизолирующие до 1 кВ	шт.	2	
Подставка электроизолирующая	шт.	1	
Комплект индивидуальный экранирующий	комплект	–	Количество по местным условиям
Ковер электроизолирующий	шт.	–	Количество по местным условиям
Клеши электроизолирующие выше 1 кВ	шт.	1	
Накладки электроизолирующие	комплект	1	
2. Распределительные устройства напряжением до 1 кВ и щиты постоянного тока электростанций, подстанций с постоянным оперативным персоналом			
Штанга электроизолирующая универсальная	шт.	2	
Указатель напряжения до 1 кВ	шт.	2	
Клеши электроизолирующие до 1 кВ	шт.	1	
Перчатки электроизолирующие	пара	2	
Подставка электроизолирующая	шт.	1	
Заземление переносное до 1 кВ	шт.	2	
Накладки электроизолирующие	комплект	2	
3. Оперативно-выездные бригады, обслуживающие трансформаторные подстанции 35-110 кВ			
Штанга электроизолирующая универсальная	шт.	1	На каждый класс напряжения
Указатель напряжения выше 1 кВ	шт.	2	На каждый класс напряжения
Указатель напряжения до 1 кВ	шт.	2	
Указатель напряжения для проверки совпадения фаз	шт.	1	
Клеши электроизолирующие выше 1 кВ	шт.	1	
Клеши электроизмерительные до 1 кВ	шт.	1	
Перчатки электроизолирующие	пара	3	
Боты электроизолирующие	пара	2	
Накладки электроизолирующие	комплект	1	
Заземление переносное	шт.	2	На каждый класс напряжения
Ручной электроизолирующий инструмент	комплект	1	
Лестница электроизолирующая	шт.	–	Количество по местным условиям
4. Оперативно-выездные бригады, обслуживающие распределительные электросети 0,4-20 кВ			
Указатель напряжения выше 1 кВ	шт.	2	На каждый класс напряжения
Указатель напряжения до 1 кВ	шт.	2	
Штанга электроизолирующая универсальная	шт.	1	На каждый класс напряжения
Указатель напряжения на ВЛ до 1 кВ	шт.	2	

Продолжение таблицы 8.9

1	2	3	4
Указатель напряжения для проверки совпадения фаз	шт.	1	
Клещи электроизолирующие выше 1 кВ	шт.	1	
Клещи электроизолирующие до 1 кВ	шт.	1	
Накладки электроизолирующие	ком-плект	1	
Перчатки электроизолирующие	пара	3	
Боты электроизолирующие	пара	2	
Заземление переносное	шт.	2	На каждый класс напряжения
Ручной электроизолирующий инструмент	ком-плект	1	
Клещи электроизолирующие до 1 кВ	шт.	1	
Лестница электроизолирующая	шт.	1	
Указатель повреждения кабелей	шт.	1	
5. Бригады по ремонту воздушных линий электропередачи 35-750 кВ			
Штанга электроизолирующая универсальная	шт.	1	На каждый класс напряжения
Указатель напряжения выше 1 кВ	шт.	2	На каждый класс напряжения
Указатель напряжения до 1 кВ	шт.	1	
Заземление линейное переносное	шт.	2	На каждый класс напряжения
Перчатки электроизолирующие	пара	2	
Боты электроизолирующие	пара	1	
Ручной электроизолирующий инструмент	ком-плект	1	
Лестница электроизолирующая	шт.	–	Количество по местным условиям
6. Бригады по ремонту кабельных линий электропередачи 0,4 – 110 кВ			
Штанга электроизолирующая универсальная	шт.	1	На каждый класс напряжения
Указатель напряжения выше 1 кВ	шт.	2	На каждый класс напряжения
Указатель напряжения до 1000 В	шт.	2	
Заземление переносное	шт.	2	На каждый класс напряжения
Перчатки электроизолирующие	пара	2	
Боты электроизолирующие	пара	1	
Ручной электроизолирующий инструмент	ком-плект	1	
Накладки электроизолирующие	ком-плект	1	
Колпаки электроизолирующие	ком-плект	2	
Клещи электроизолирующие выше 1 кВ	шт.	1	
Клещи электроизолирующие до 1 кВ	шт.	1	
7. Бригады по ремонту оборудования подстанций 35-750 кВ			
Штанга электроизолирующая универсальная	шт.	1	На каждый класс напряжения
Указатель напряжения выше 1 кВ	шт.	2	На каждый класс напряжения

Окончание таблицы 8.9

1	2	3	4
Указатель напряжения до 1 кВ	шт.	1	
Заземление переносное	шт.	2	На каждый класс напряжения
Перчатки электроизолирующие	пара	2	
Ручной электроизолирующий инструмент	ком-плект	1	
Боты электроизолирующие	пара	1	
Лестница электроизолирующая	шт.	–	Количество по местным условиям
8. Бригады по ремонту распределителей 0,4 – 10 кВ			
Штанга электроизолирующая универсальная	шт.	1	На каждый класс напряжения
Указатель напряжения выше 1 кВ	шт.	2	На каждый класс напряжения
Указатель напряжения до 1 кВ	шт.	2	
Заземление переносное	шт.	2	На каждый класс напряжения
Перчатки электроизолирующие	пара	2	
Боты электроизолирующие	пара	2	
Клещи электроизолирующие выше 1 кВ	шт.	1	
Клещи электроизолирующие до 1 кВ	шт.	1	
Указатель напряжения на ВЛ до 1 кВ	шт.	2	
Лестница электроизолирующая	шт.	1	
Накладки электроизолирующие	ком-плект	1	
Ручной электроизолирующий инструмент	ком-плект	1	

Таблица 8.10

Нормы и сроки эксплуатационных электрических испытаний
средств защиты

Наименование средства защиты	Напряжение электроустановок, кВ	Испытательное напряжение, кВ	Продолжительность испытания, мин	Ток, протекающий через изделие, мА, не более	Периодичность испытаний
1	2	3	4	5	6
Штанги электроизолирующие	До 1	2	5	–	Один раз в 24 месяца
	До 35	3-кратное линейное, но не менее 40	5	–	
	110 и выше	3-кратное фазное	5	–	
Штанги измерительные	До 35	3-кратное линейное, но не менее 40	5	–	Один раз в 12 месяцев
	110 и выше	3-кратное фазное	5	–	

Окончание таблицы 8.10

1	2	3	4	5	6
Клещи электроизолирующие	До 1	2	5	—	Один раз в 24 месяца
	Выше 1 до 10	40	5	—	
	До 35	105	5	—	
Клещи электроизмерительные	До 1	2	5	—	Один раз в 24 месяца
	Выше 1 до 10	40	5	—	
Указатели напряжения выше 1кВ: - электроизолирующая часть	До 10	40	1	—	Один раз в 12 месяцев
	Выше 10 до 20	60	1	—	
	Выше 20 до 35	105	1	—	
	110	190	1	—	
Указатели напряжения до 1кВ: - изоляция корпусов	До 1	2	1	—	Один раз в 12 месяцев
Указатели напряжения для проверки совпаде- ния фаз:					
- электроизолирующая часть	До 10	40	1	—	Один раз в 12 месяцев
	Выше 10 до 20	60	1	—	
	Выше 20 до 35	105	1	—	
	110	190	1	—	
Перчатки электроизолирующие	Все напря- жения	6	1	6	Один раз в 6 месяцев
Боты электроизолирующие	Все напря- жения	15	1	7,5	Один раз в 36 месяцев
Галоши электроизолирующие	До 1	3,5	1	2	Один раз в 12 месяцев
Накладки электроизолирующие:					
- жесткие	До 1	2	1	—	Один раз в 24 месяца
	Выше 1 до 10	20	5	—	
	15	30	5	—	
	20	40	5	—	
- гибкие из полимерных материалов	До 1 и выше 1	2	1	6	
Устройства для прокола кабеля: - электроизолирующая часть	До 1	40	5	—	Один раз в 12 месяцев
Лестницы и стремянки приставные электроизо- лирующие	До 1 и Выше	1 на 1 см длины	1	—	Один раз в 6 месяцев
Ручной электроизоли- рующий инструмент	До 1	2	1	—	Один раз в 12 месяцев

9. АТТЕСТАЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ ПО УСЛОВИЯМ ТРУДА

9.1. Общие сведения об аттестации рабочих мест по условиям труда

Аттестация рабочих мест по условиям труда – система учета, анализа и комплексной оценки на рабочих местах всех факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, воздействующих на работоспособность и здоровье работника в процессе трудовой деятельности.

Порядок проведения аттестации рабочих мест по условиям труда определен постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 февраля 2008 г. № 253 «Об аттестации рабочих мест по условиям труда» (с изм. и доп., утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.10.2016 №839), а оценка условий труда при аттестации – «Инструкцией по оценке условий труда при аттестации рабочих мест по условиям труда», утв. постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 22.02.2008 г. № 35 (в ред. от 26.01.2016 №6). Оценка условий труда при аттестации проводится на рабочем месте, на котором работник занят с вредными и (или) опасными условиями труда полный рабочий день.

Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 211 (с изм. от 02.07.2015 №89) утверждены Санитарные нормы и правила «Гигиеническая классификация условий труда», которые устанавливают гигиеническую классификацию условий труда для комплексной гигиенической оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса; подготовки санитарно-эпидемиологических характеристик условий труда для установления взаимосвязи состояния здоровья работника с условиями его труда; расследования случаев профессиональных заболеваний и отравлений; оценки профессионального риска.

Условия труда, исходя из гигиенических нормативов, подразделяются на 4 класса:

оптимальные условия труда (1 класс) характеризуются такими производственными факторами, при которых сохраняется здоровье работников и создаются предпосылки для поддержания высокого уровня работоспособности. Оптимальные условия труда устанавливаются только для параметров микроклимата и факторов трудового процесса;

допустимые условия труда (2 класс) характеризуются такими производственными факторами, уровни которых не выходят за пределы гигиенических нормативов, а возможные изменения функционального состояния организма, возникающие под их воздействием, восстанавливаются во время регламентированных перерывов или к началу следующей смены и не оказывают неблагоприятного действия в ближайшем и отдаленном периоде на состояние здоровья работников и их потомство;

вредные условия труда (3 класс) характеризуются такими производственными факторами, уровни которых выходят за пределы гигиенических нормативов и оказывают неблагоприятное действие на организм работника и (или) его потомство;

опасные условия труда (4 класс) характеризуются такими производственными факторами, уровни которых значительно выходят за пределы гигиенических нормативов и воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) может создать угрозу для жизни работника, высокий риск развития острых профессиональных заболеваний, в том числе и тяжелых форм. При этом работа должна проводиться в соответствующих СИЗ и при строгом соблюдении режимов, регламентированных для такого вида работ и обеспечивающих безопасность для здоровья работников.

Вредные условия труда по степени отклонения параметров производственных факторов от гигиенических нормативов и выраженности изменений в организме работников подразделяются на 4 степени вредности:

1-я степень 3-го класса (класс 3.1) – характеризуется такими производственными факторами, уровни которых имеют отклонения от гигиенических нормативов и воздействие которых вызывает функциональные изменения в организме, восстанавливающиеся, как правило, при более длительном (чем к началу следующей смены) прерывании контакта с вредными факторами и увеличивают риск повреждения здоровья;

2-я степень 3-го класса (класс 3.2) – характеризуется такими производственными факторами, уровни которых имеют отклонения от гигиенических нормативов и вызывают стойкие функциональные изменения в организме, приводящие в большинстве случаев к увеличению производственно обусловленной заболеваемости (что проявляется повышением уровня заболеваемости с временной утратой трудоспособности и, в первую очередь, теми заболеваниями, которые отражают состояние наиболее уязвимых органов и систем для данных вредных факторов), появлению начальных признаков или легких (без потери профессиональной трудоспособности) форм профессиональных заболеваний, возникающих после продолжительной экспозиции (часто после 15 и более лет);

3-я степень 3-го класса (класс 3.3) – характеризуется такими производственными факторами, уровни которых имеют отклонения от гигиенических нормативов и приводят к развитию, как правило, профессиональных заболеваний легкой и средней степеней тяжести (с утратой профессиональной трудоспособности) в период трудовой деятельности, росту хронических (производственно обусловленных) заболеваний, включая повышенные уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности;

4-я степень 3-го класса (класс 3.4) – характеризуются такими производственными факторами, уровни которых имеют отклонения от гигиенических нормативов и при которых могут возникать тяжелые формы профессиональных заболеваний (с утратой общей трудоспособности), отмеча-

ется значительный рост числа хронических заболеваний и высокие уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

На основе комплексной гигиенической оценки условий труда определяется категория профессионального риска (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Классы условий труда и категории профессионального риска

Класс условий труда	Категория профессионального риска
Оптимальный – 1	Отсутствует
Допустимый – 2	Пренебрежимо малый (переносимый)
Вредный – 3.1	Малый (умеренный)
Вредный – 3.2	Средний (существенный)
Вредный – 3.3	Высокий (труднопереносимый)
Вредный – 3.4	Очень высокий (непереносимый)
Опасный – 4	Сверхвысокий для жизни

При проведении аттестации рабочих мест по условиям труда учитываются все факторы производственной среды (физические, химические и др.), тяжесть и напряженность трудового процесса (выраженные наличием психофизиологических факторов), воздействующие на работоспособность и здоровье работника в процессе трудовой деятельности. Сведения о результатах аттестации заносятся в Карту аттестации рабочих мест по условиям труда (табл. 9.2). Обязательными приложениями к Карте являются данные фотохронометражных наблюдений (длительность затрат времени на выполнение отдельных элементов трудового процесса), протоколы количественных измерений и расчетов факторов производственной среды, показателей тяжести и напряженности трудового процесса.

Оценка факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса проводится путем сопоставления результатов измерений и исследований их фактических величин с гигиеническими нормативами и последующим соотношением величин отклонения каждого фактора производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса с критериями, на основании которых устанавливается класс условий труда.

Общая оценка условий труда по классу (степени) проводится на основании оценок по всем факторам производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Общая оценка условий труда на рабочем месте устанавливается по наиболее высокому классу и степени вредности.

При наличии 3-х и более факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, относящихся к классу 3.1, общая оценка условий труда соответствует классу 3.2.

При наличии 2-х и более факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, относящихся к классам 3.2, 3.3 и 3.4 – условия труда оцениваются соответственно на одну степень выше.

Оценка факторов производственной среды проводится с учетом времени их воздействия в течение рабочего времени. Если влияние вредного и (или) опасного фактора производственной среды на работника составляет менее 50 % и до 10 % (включительно) от продолжительности рабочего времени, класс условий труда по данному фактору снижается на одну степень; при продолжительности воздействия фактора производственной среды на работника менее 10% от продолжительности рабочего времени производится снижение класса условий труда на две степени.

Для подтверждения занятости работников с вредными и (или) опасными условиями труда необходимо, чтобы время выполнения работ с этими условиями в соответствии с их тарифно-квалификационными (квалификационными) характеристиками, приведенными в Едином тарифно-квалификационном справочнике работ и профессий рабочих и Едином квалификационном справочнике должностей служащих, составляло не менее 80 процентов от продолжительности ежедневной работы (смены), установленной законодательством. При этом в 80 процентов от продолжительности ежедневной работы (смены), установленной законодательством, включается подготовительно-заключительное время, оперативное время (основное и вспомогательное) и время обслуживания рабочего места в пределах, установленных нормативов времени, а также время регламентированных перерывов, включаемых в рабочее время. Учет фактической занятости работников с вредными и (или) опасными условиями труда, подтвержденных результатами аттестации, ведется нанимателем.

Таблица 9.2

Пример оформления результатов аттестации рабочих мест по условиям труда

КАРТА аттестации рабочего места по условиям труда

Пункт 1. Общие сведения о рабочем месте

- 1.1. Организация _____
- 1.2. Цех (отдел) _____
- 1.3. Участок _____
- 1.4. Код и наименование профессии (должности) по ОКРБ 014-2017 4132-003 оператор электронно-вычислительных машин (персональных электронно-вычислительных машин) _____
- 1.5. Число рабочих смен. Продолжительность смены _____
- 1.6. Количество аналогичных рабочих мест _____
- 1.7. Численность работающих на рабочем месте (на одном рабочем месте/на всех аналогичных рабочих местах) _____
- 1.8. Из них женщин _____
- 1.9. Код выпуска ЕТКС, ЕКСД _____
- 1.10. Характеристика выполняемой работы по ЕТКС, ЕКСД, рабочей (должностной) инструкции. Наименование технологического процесса (вида работ). Наименование операции _____
- 1.11. Обслуживаемое оборудование: наименование, количество единиц (указать) _____
- 1.12. Применяемые инструменты и приспособления (технологическая оснастка) (указать) _____
- 1.13. Используемые сырье, материалы (указать) _____

Пункт 2. Результаты оценки факторов производственной среды

Факторы и показатели производственной среды	Номер и дата утверждения протокола измерений и (или) исследований	Гигиенические нормативы (ПДК, ПДУ)	Фактические величины	Класс (степень) условий труда	Время воздействия фактора (% смены)	Класс (степень) условий труда с учетом времени воздействия фактора
1	2	3	4	5	6	7
2.1 Химический фактор, мг/м ³						
озон		0,1	0,03	2	85	2
Итоговая оценка фактора:						2
2.2 Биологический фактор:						
2.2.1 вредные вещества биологической природы, кл/м ³						
2.2.2 группа патогенности микроорганизмов						
Итоговая оценка фактора:						
2.3 Пыли, аэрозоли, мг/м ³						
Итоговая оценка фактора:						
2.4 Шум, дБА, дБ		65	51	2	100	2
2.5 Инфразвук						
2.6 Ультразвук						
2.7 Вибрация общая, дБ						
2.8 Вибрация локальная, дБ						
2.9 Электромагнитные излучения						
напряженность электростатического поля, кВ/м: монитор клавиатура		15,0	0,341 0,285	2	85	2
напряженность электрического поля, В/м (монитор): 5 Гц-2 кГц 2 - 400 кГц плотность магнитного потока магнитного поля, нТл (монитор): 5 Гц-2 кГц 2 - 400 кГц		25 250	22 220	2	85	2
Итоговая оценка фактора:						2
2.10 Ионизирующее излучение						
Итоговая оценка фактора:						

1	2	3	4	5	6	7
2.11 Микроклимат						
2.11.1 Температура воздуха, °С		21-28	23,2	2	100	2
2.11.2 Относительная влажность, %		15-75	53	2	100	2
2.11.3 Скорость движения воздуха, м/с		0,2	0,05	2	100	2
2.11.4 Тепловое излучение, Вт/м ²						
2.11.5 Работа на открытом воздухе, в неотапливаемом помещении, в холодильных камерах						
Итоговая оценка фактора:						2
2.12 Освещенность, лк		300	350	2	100	2
Итоговая оценка фактора:						2
2.13 Аэроионизация						
Итоговая оценка фактора:						

Оценку проводил _____
(должность, ФИО, подпись, дата)

Пункт 3. Результаты оценки тяжести трудового процесса

Показатели тяжести трудового процесса	Номер и дата утверждения протокола изменений и (или) исследований	Нормативное значение показателя	Фактическое значение показателя	Класс (степень) условий труда
1	2	3	4	5
3.1 Физическая динамическая нагрузка, кгм				
3.1.1 Региональная нагрузка при перемещении груза на расстояние до 1 м		–	–	–
3.1.2 Общая нагрузка при перемещении груза на расстояние: - от 1 до 5 м		–	–	–
- более 5 м		–	–	–
3.2 Масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную, кг				
3.2.1 Подъем и перемещение тяжести при чередовании с другой работой		–	–	–
3.2.2 Подъем и перемещение тяжестей постоянно в течение рабочей смены		–	–	–
3.2.3 Суммарная масса грузов, перемещаемых в течение каждого часа смены: - с рабочей поверхности		–	–	–
- с пола		–	–	–
3.3 Стереотипные рабочие движения, количество за смену				
3.3.1 При локальной нагрузке		до 40000	32600	2
3.3.2 При региональной нагрузке		–	–	–

1	2	3	4	5
3.4 Статическая нагрузка, кг (силы) × с				
3.4.1 Одной рукой		–	–	–
3.4.2 Двумя руками		–	–	–
3.4.3 С участием мышц корпуса, ног		–	–	–
3.5 Рабочая поза		Свободная, удобная поза, возможность смены рабочего положения тела (сидя, стоя)	Свободная, удобная поза, возможность смены рабочего положения тела (сидя, стоя)	1
3.6 Наклоны корпуса		–	–	–
3.7 Перемещения в пространстве, обусловленные технологическим процессом, км				
3.7.1 По горизонтали		–	–	–
3.7.2 По вертикали		–	–	–
Итоговая оценка тяжести трудового процесса				2

Оценку проводил _____

(должность, ФИО, подпись, дата)

Пункт 4. Результаты оценки напряженности трудового процесса

Показатели напряженности трудового процесса	Характеристика показателей в соответствии с гигиеническими критериями	Класс (степень) условий труда
1	2	3
4.1 Интеллектуальные нагрузки		
4.1.1 Содержание работы	Отсутствует необходимость принятия решения	1
4.1.2 Восприятие сигналов (информации) и их оценка	–	1
4.1.3 Распределение функций по степени сложности задания	Обработка, выполнение и проверка задания	2
4.1.4 Характер выполняемой работы	Работа по индивидуальному плану	1
4.2 Сенсорные нагрузки		
4.2.1 Длительность сосредоточенного наблюдения (в % от времени смены)	85 % времени смены	3.2
4.2.2 Плотность сигналов (световых, звуковых) и сообщений в среднем за 1 час работы	–	1
4.2.3 Число производственных объектов одновременного наблюдения	До 5	1

1	2	3
4.2.4 Размер объекта различения (при расстоянии от глаз работающего до объекта различения не более 0,5 м) в мм при длительности сосредоточенного наблюдения (% времени смены)	–	1
4.2.5 Работа с оптическими приборами (микроскопы, лупы и т.п.) при длительности сосредоточенного наблюдения (% времени смены)	–	1
4.2.6 Наблюдение за экранами видеотерминалов (часов в смену): - при буквенно-цифровом типе отображения информации;	6,8	3.2
- при графическом типе отображения	–	1
4.2.7 Нагрузка на слуховой анализатор (при производственной необходимости восприятия речи или дифференцированных сигналов)	–	1
4.2.8 Нагрузка на голосовой аппарат (суммарное количество часов, наговариваемое в неделю)	–	1
4.3 Эмоциональные нагрузки		
4.3.1 Степень ответственности за результат собственной деятельности. Значимость ошибок	Несет ответственность за выполнение отдельных элементов заданий	1
4.3.2 Степень риска для собственной жизни	–	1
4.3.3 Степень ответственности за безопасность других лиц	–	1
4.4 Монотонность нагрузок		
4.4.1 Число элементов (приемов), необходимых для реализации простого задания или в многократно повторяющихся операциях	–	1
4.4.2 Продолжительность выполнения простых производственных заданий или повторяющихся операций, сек	–	1
4.4.3 монотонность производственной обстановки (время пассивного наблюдения за ходом техпроцесса в % от времени смены)	–	1
4.5 Режим работы		
4.5.1 Сменность работы	Односменная	1
Итоговая оценка напряженности трудового процесса		2

Оценку проводил

(должность, ФИО, подпись, дата)

Пункт 5. Показатели оценки условий труда на рабочем месте

Фактор	Класс условий труда						
	оптимальный	допустимый	вредный				опасный (экстремальный)
	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
5.1 Химический		+					
5.2 Биологический							
5.3 Пыли, аэрозоли							
5.4 Шум		+					
5.5 Инфразвук							
5.6 Ультразвук							
5.7 Вибрация общая							
5.8 Вибрация локальная							
5.9 Электромагнитные поля и неионизирующие излучение		+					
5.10 Ионизирующее излучение							
5.11 Микроклимат		+					
5.12 Освещение							
5.13 Аэроионизация							
5.14 Тяжесть труда		+					
5.15 Напряженность труда		+					
5.16 Общая оценка условий труда		+					

Пункт 6. Результаты аттестации рабочего места

6.1. Общая оценка условий труда _____ 2 класс _____
(указать класс условий труда)

6.2. Вывод о праве работника на компенсации, обязанностях нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию работников:
пенсия по возрасту за работу с особыми условиями труда _____
(указать: Список № 1, Список № 2, _____
списками не предусмотрено)

_____ списками не предусмотрено, право на пенсию не подтверждено результатами аттестации)
обязанности нанимателя по профессиональному пенсионному страхованию работников

(указать: Список № 1, Список № 2, Перечень текстильных производств; списками и Перечнем

_____ не предусмотрено; обязанности нанимателя не подтверждены результатами аттестации)
дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда

0

(указать количество календарных дней)

сокращенная продолжительность рабочего времени за работу с вредными и (или) опасными условиями труда

0

(указать количество часов)

доплата за работу с вредными и (или) опасными условиями труда

0

(указать процент доплат)

6.3. Председатель аттестационной комиссии _____
(подпись, ФИО, дата)

6.4. Члены аттестационной комиссии:

(подпись, ФИО, дата)

6.5. С результатами аттестации ознакомлены:

(подпись, ФИО работника, дата)

Структура рабочего времени, время воздействия вредных и (или) опасных факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, занятость с вредными и (или) опасными условиями труда определяются на основании результатов фотографии рабочего времени. Фотография рабочего времени выполняется нанимателем и оформляется по форме согласно табл. 9.3.

Таблица 9.3

Форма карты фотографии рабочего времени

Цех (участок) _____ Дата наблюдения _____

КАРТА ФОТОГРАФИИ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ № _____

ФИО _____

Специальность _____

Профессия _____

(код, наименование)

№ п/п	Что наблюдалось	Текущее время, ч (мин)	Продолжительность, мин	Наименование вредного фактора

Итого: 1. Подготовительно-заключительное время, $T_{пз}$ _____

2. Время обслуживания рабочего места, $T_{орг}$ _____

3. Оперативное время, $T_{оп}$ _____

4. Время перерывов в работе, $T_{пер}$ _____

– регламентированные перерывы _____

– нерегламентированные перерывы _____

Подпись исполнителя

Подпись руководителя структурного подразделения

9.2. Оценка условий труда

Оценка *химического фактора* (вредные вещества, пыли и аэрозоли) и отнесение условий труда к классу (степени) вредности и опасности осуществляется в соответствии с табл. 9.4 и 9.5 с учетом особенностей действия данного вещества на организм. Класс условий труда устанавливается по каждому вредному веществу с учетом времени его воздействия.

При одновременном содержании на рабочем месте в воздухе рабочей зоны трех и более веществ условия труда оцениваются по более высокой степени вредности.

Таблица 9.4

Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ химической природы (превышение ПДК, раз)

Название фактора		Класс условий труда						
		допусти- мый	Вредный				опас- ный	
			2	3.1	3.2	3.3		3.4
Вредные вещества 1–4 классов опасности, за исключением перечисленных ниже		\leq ПДК _{макс}	1,1 – 3,0	3,1 – 10,0	10,1 – 15,0	15,1 – 20,0	>20,0	
		\leq ПДК _{сс}	1,1 – 3,0	3,1 – 10,0	10,1 – 15,0	>15,0	–	
Особенности действия на организм	вещества опасные для развития острого отравления	остронаправленные	\leq ПДК _{макс}	1,1 – 2,0	2,1 – 4,0	4,1 – 6,0	6,1 – 10,0	>10,0
		раздражающего действия	\leq ПДК _{макс}	1,1 – 2,0	2,1 – 5,0	5,1 – 10,0	10,1 – 50,0	>50,0
	Канцерогены	\leq ПДК _{сс}	1,1 – 2,0	2,1 – 4,0	4,1 – 10,0	> 10,0		
	Аллергены	\leq ПДК _{мр}	–	1,1 – 3,0	3,1 – 15,0	15,1 – 20,0	> 20,0	
	Противоопухолевые лекарственные средства, гормоны (эстрогены)					Оценивается		
	Наркотические анальгетики				Оценивается			

Таблица 9.5

Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны пылей, аэрозолей (превышение ПДК, раз)

Название фактора	Класс условий труда					
	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Содержание в воздухе рабочей зоны пылей, аэрозолей, мг/м ³	\leq ПДК _{мр}	1,1–2,0	2,1–5,0	5,1–10,0	>10,0	–

Оценка условий труда по **вибраакустическим факторам** (шум, вибрация общая, вибрация локальная, инфразвук и ультразвук) проводится отдельно по каждому фактору согласно табл. 9.6.

Шум. При воздействии в течение рабочего времени на работника шумов с разными временными (постоянный, непостоянный – колеблющийся,

прерывистый, импульсный) и спектральными (широкополосный, тональный) характеристиками в различных сочетаниях измеряют или рассчитывают эквивалентный уровень звука.

ПДУ шума на рабочих местах устанавливается с учетом категории тяжести и напряженности трудового процесса.

Вибрация. Гигиеническая оценка воздействующей на работников непостоянной вибрации (общей, локальной) проводится методами интегральной оценки по эквивалентному (по энергии) уровню или частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра. При этом для оценки условий труда измеряют или рассчитывают уровень виброскорости (виброускорения), эквивалентный скорректированный уровень виброскорости (виброускорения) в дБ; при воздействии на работника в течение рабочего времени как постоянной, так и непостоянной вибрации (общей, локальной), для оценки условий труда измеряют или рассчитывают с учетом продолжительности их действия эквивалентный скорректированный уровень виброскорости (виброускорения) в дБ.

Таблица 9.6

Классы условий труда в зависимости от уровней шума, локальной и общей вибрации, уровней инфра- и ультразвука на рабочем месте

Название фактора, показатель, единица измерения	Класс условий труда					
	допустимый	вредный				опасный
		2	3.1	3.2	3.3	
превышение ПДУ до...(включительно)						
ШУМ. Уровни звука и звукового давления, эквивалентный уровень звука, дБ, дБА	≤ПДУ	5	15	25	35	>35
ВИБРАЦИЯ ЛОКАЛЬНАЯ. Уровни виброскорости (виброускорения), эквивалентный скорректированный уровень виброскорости (виброускорения), дБ	≤ПДУ	3	6	9	12	>12
ВИБРАЦИЯ ОБЩАЯ. Уровни виброскорости (виброускорения), эквивалентный скорректированный уровень виброскорости (виброускорения), дБ	≤ПДУ	6	12	18	24	>24
ИНФРАЗВУК. Общий уровень звукового давления, дБ (Лин)	≤ПДУ	5	10	15	20	>20
УЛЬТРАЗВУК ВОЗДУШНЫЙ. Уровни звукового давления в 1/3 октавных полосах частот, дБ	≤ПДУ	10	20	30	40	>40
УЛЬТРАЗВУК КОНТАКТНЫЙ. Уровень виброскорости, дБ	≤ПДУ	5	10	15	20	>20

Оценка условий труда по **электромагнитным полям и неионизирующим излучениям** (электростатическое, электромагнитное поле различных частотных диапазонов, лазерное, ультрафиолетовое) проводится отдельно по каждому показателю согласно табл. 9.7 и 9.8, с учетом времени воздействия.

При одновременном воздействии электромагнитных полей и излучений, в том числе оптического диапазона (лазерное, ультрафиолетовое), создаваемых несколькими источниками, работающими в разных нормируемых частотных диапазонах, класс условий труда на рабочем месте устанавливается по показателю, получившему наиболее высокую степень вредности.

Таблица 9.7

Классы условий труда при действии неионизирующих электромагнитных полей и излучений (ЭМИ)

Фактор	Класс условий труда						
	Оптимальный	Допустимый	Вредный				Опасный
			3.1	3.2	3.3	3.4	
1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4	
Превышение ПДУ (раз)							
Электростатическое поле	Естественный фон	≤ПДУ	≤3	>5			–
Постоянное магнитное поле	Естественный фон	≤ПДУ	≤5	≤10			–
Электрическое поле промышленной частоты (50 Гц)	Естественный фон	≤ПДУ	≤3	≤5	≤10		>40
Магнитное поле промышленной частоты (50 Гц)	Естественный фон	≤ПДУ	≤5	≤10	>10		–
ЭМИ, создаваемые ВДТ и ПЭВМ	-	≤ПДУ	>ПДУ				–
ЭМИ радиочастотного диапазона:							
0,01 – 0,03 МГц	Естественный фон	≤ПДУ	≤3	≤5	≤10	>10	–
0,03 – 3 МГц	Естественный фон	≤ПДУ	≤3	≤5	≤10	>10	–
3 – 30 МГц	Естественный фон	≤ПДУ	≤3	≤5	≤10	>10	–
30 – 300 МГц	Естественный фон	≤ПДУ	≤3	≤5	≤10	>10	>50
300 МГц – 300 ГГц	Естественный фон	≤ПДУ	≤3	≤5	≤10	>10	>50

Таблица 9.8

Классы условий труда при действии неионизирующих электромагнитных излучений оптического диапазона (лазерное, ультрафиолетовое)

Фактор	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный, экстремальный
		2	3.1	3.2	3.3	
2	3.1	3.2	3.3	3.4	4	
Лазерное излучение	≤ПДУ	≤ПДУ	<10 ПДУ	<10 ПДУ	<10 ПДУ	>10 ПДУ
Ультрафиолетовое излучение (при наличии производственных источников УФ-А+УФ-В, УФ-С, Вт/м ²)	≤ДИИ	>ДИИ	–	–	–	–

Оценка *микrokлимата* на рабочих местах в производственном помещении проводится на основании измерений параметров температуры, относительной влажности воздуха, скорости движения воздуха, теплового облучения в местах пребывания работника в течение рабочего времени и сопоставления их фактических величин с гигиеническими нормативами.

При оценке микrokлимата учитываются параметры микrokлиматических условий, обусловленные типичным ведением технологического процесса, работой производственного оборудования, функционированием вентиляционных систем, наличием источников теплового излучения. Параметры микrokлимата, формирующиеся вследствие влияния метеорологических факторов, не учитываются.

Отнесение условий труда к классу вредности и опасности по показателям микrokлимата осуществляется согласно табл. 9.9.

Таблица 9.9

Классы условий труда по показателям микrokлимата

Показатели микrokлимата производственной среды	Оптимальный (допустимый)	Вредный		
		3.1	3.2	3.3
		Отклонения от допустимых норм		
Температура воздуха, °С	по СанПиН	до 4°С	4,1 – 8,0°С	> 8°С
Относительная влажность воздуха, %	по СанПиН	до 25%	> 25%	-
Скорость движения воздуха, м/с	по СанПиН	до 3-х раз	> 3-х раз	-
Тепловое излучение, Вт/м ² ; - открытые источники - нагретые поверхности	по СанПиН	141-350	351-2800	> 2800
		Выше величин, указанных в таблице	-	-

Условия труда, при обусловленных необходимостью выполнения технологического процесса работах на открытом воздухе, в неотапливаемых помещениях, холодильных камерах оцениваются классом 3.1 при условии выполнения одного из перечисленных видов работ 50 % и более от продолжительности рабочего времени.

При выполнении в течение рабочего времени одновременно нескольких видов таких работ условия труда оцениваются классом 3.1, если суммарная продолжительность пребывания в указанных условиях составляет 80 % и более от продолжительности рабочего времени.

Выполнение работ в низкотемпературных морозильных камерах и сооружениях с опасностью обморожения при температуре воздуха ниже – 28,8 °С и нулевой его подвижности, условия труда оцениваются классом 3.3 при суммарной продолжительности рабочего времени в этих условиях более 50 % даже при обязательном использовании средств индивидуальной защиты и выполнении режимов труда и отдыха для такого вида работ.

При работах в разных микроклиматических условиях (в помещениях и на открытой территории, в нагревающей и охлаждающей среде) оценка показателей микроклимата проводится отдельно, с учетом времени воздействия.

Оценка условий труда проводится по показателям **искусственного освещения** и показателям световой среды согласно табл. 9.10 на рабочих местах, к которым предъявляются повышенные требования по показателю освещенности: прецизионные работы, работы, требующие повышенной точности, высокого качества изготавливаемой продукции, изделий, оценки их цветовых характеристик и другие.

Итоговая оценка освещенности рабочего места проводится по показателю, получившему более высокую оценку на основании оценок по отдельным параметрам. Максимальная оценка по данному фактору – класс условий труда 3.1.

Таблица 9.10

Классы условий труда в зависимости от параметров искусственного освещения

Фактор, показатель	Класс условий труда		
	2	3.1	3.2
Освещенность рабочей поверхности	E_n	$< E_n$	–
Показатель ослепленности (Р, отн. ед.)	P_n	$> P_n$	–
Коэффициент пульсации освещенности (K_p , %)	K_p	K_p	–
Яркость (L , кд/м ²)	L_n	$> L_n$	–
Неравномерность распределения яркости (С, отн. ед.)	C_n	$> C_n$	–

Измерение уровня **ионизации воздуха** по показателям содержания отрицательных ионов, содержания положительных ионов, коэффициента полярности проводится в производственных помещениях, воздушная среда которых подвергается специальной, обусловленной технологическим регламентом очистке, кондиционированию (при наличии источников ионизации воздуха); на рабочих местах операторов видеодисплейных терминалов; на рабочих местах работников подстанций и воздушных линий электропередачи постоянного тока ультравысокого напряжения.

При отклонении от допустимых значений всех трех показателей аэроионизации (содержание отрицательных ионов, содержание положительных ионов, коэффициента полярности) условия труда по данному фактору относятся к классу 3.1. При отклонении от нормативных значений одного или двух показателей аэроионизации устанавливается класс 2 – допустимые условия труда по этому фактору.

Оценка тяжести трудового процесса проводится на основании оценок всех показателей, приведенных в табл. 9.11. При этом учитываются только показатели, обусловленные технологическим процессом. Фактическое значение показателя устанавливается посредством количественных измерений и расчетов, оформленных протоколами. Методы определения

показателей тяжести труда приведены в нормативном документе «Инструкция о гигиенической оценке характера трудовой деятельности по показателям тяжести и напряженности труда» (утв. 13.06.2013 г. №027-1212).

Итоговая оценка тяжести трудового процесса с учетом оценок всех показателей факторов трудового процесса устанавливается по показателю, получившему наиболее высокую степень. При наличии трех и более показателей классов 3.1 или 3.2 условия труда по тяжести трудового процесса оцениваются на одну степень выше (соответственно классы – 3.2 и 3.3). Наивысшая оценка тяжести трудового процесса – класс 3.3. Условия труда при нахождении в рабочей позе «стоя» более 80 процентов времени смены оцениваются классом 3.1.

Таблица 9.11

Классы условий труда по показателям тяжести трудового процесса

Показатели тяжести трудового процесса	Классы условий труда			
	Оптимальный, 1 класс	Допустимый, 2 класс	Вредный, 3 класс	
			1 степени	2 степени
1	2	3	4	5
1. Физическая динамическая нагрузка (внешняя механическая работа за смену), кг × м = кгм				
1.1. При региональной нагрузке (с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса) при перемещении груза на расстоянии до 1 м: для мужчин для женщин	до 2500 до 1500	до 5000 до 3000	до 7000 до 4000	более 7000 более 4000
1.2. При общей нагрузке (с участием мышц рук, корпуса, ног): 1.2.1. При перемещении груза на расстояние от 1 до 5 м: для мужчин для женщин	до 12500 до 7500	до 25000 до 15000	до 35000 до 25000	более 35000 более 25000
1.2.2. При перемещении груза на расстояние более 5 м: для мужчин для женщин	до 24000 до 14000	до 46000 до 28000	до 70000 до 40000	более 70000 более 40000
2. Масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную, кг				
2.1. Подъем и перемещение тяжести при чередовании с другой работой (до 2 раз в час): для мужчин для женщин	до 15 до 5	до 30 до 10	до 35 до 12	более 35 более 12

Продолжение таблицы 9.11

1	2	3	4	5
2.2. Подъем и перемещение (разовое) тяжести постоянно в течение рабочей смены: для мужчин для женщин	до 5 до 3	до 15 до 7	до 20 до 10	более 20 более 10
2.3. Суммарная масса грузов, перемещаемых в течение каждого часа смены:				
2.3.1. – с рабочей поверхности: для мужчин для женщин	до 250 до 100	до 870 до 350	до 1500 до 700	более 1500 более 700
2.3.2. – с пола: для мужчин для женщин	до 100 до 50	до 435 до 175	до 600 до 350	более 600 более 350
3. Стереотипные рабочие движения, количество за смену				
3.1. Стереотипные движения при локальной нагрузке (с участием мелких мышц кистей и пальцев рук) – при работах с ПЭВМ, ВДТ и др.	до 20000	до 40000	40001- 60000	более 60000
3.2. Стереотипные движения при локальной нагрузке (для других работ)	до 5000	до 8640	8641- 24000	более 24000
3.3. Стереотипные движения при региональной нагрузке (при работе с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса)	до 3600	до 6000	6001- 12800	более 12800
4. Статическая нагрузка – величина статической нагрузки за смену при удержании груза, приложении усилий, кг(силы) × с=кгс				
4.1.Одной рукой: для мужчин для женщин	до 18000 до 11000	до 36000 до 22000	до 70000 до 42000	более 70000 более 42000
4.2. Двумя руками: для мужчин для женщин	до 36000 до 22000	до 70000 до 42000	до 140000 до 84000	более 140000 более 84000
4.3. С участием мышц корпуса, ног: для мужчин для женщин	до 43000 до 26000	до 100000 до 60000	до 200000 до 120000	более 200000 более120000

1	2	3	4	5
5. Рабочая поза	Свободная, удобная поза, возможность смены рабочего положения тела (сидя, стоя). Нахождение в позе стоя до 40% времени смены	Периодическое, от 10 до 25% времени смены, нахождение в неудобной (работа с поворотом туловища, неудобным размещением конечностей и др.) и/или фиксированной позе Нахождение в позе стоя до 80 % времени смены	Периодическое, до 50% времени смены, нахождение в неудобной и/или фиксированной позе; пребывание в вынужденной позе (на коленях, на корточках и т.п.) от 10 до 25% времени смены. Нахождение в позе стоя 80% и более времени смены	Периодическое, более 50% времени смены, нахождение в неудобной и/или фиксированной позе; пребывание в вынужденной позе (на коленях, на корточках и т.п.) более 25% времени смены
6. Наклоны корпуса				
6. Наклоны корпуса (систематические вынужденные более 30°), количество за смену	до 50	51-100	101-300	более 300
7. Перемещения в пространстве, обусловленные технологическим процессом, км				
7.1. По горизонтали	до 4	4,1 – 8	8,1 – 12	более 12
7.2. По вертикали	до 2	2,1 – 4	4,1 – 8	более 8

Оценка напряженности трудового процесса проводится согласно табл. 9.12 с оценкой.

Методика оценки напряженности трудового процесса изложена в нормативном документе «Инструкция о гигиенической оценке характера трудовой деятельности по показателям тяжести и напряженности труда» (утв. 13.06.2013 г. №027-1212). Итоговая оценка напряженности трудового процесса устанавливается следующим образом.

Оптимальный (1 класс) устанавливается в случаях, когда 14 и более показателей имеют оценку 1 класс, а остальные отнесены ко 2 классу. При этом отсутствуют показатели, относящиеся к 3 классу.

Допустимый (2 класс) устанавливается:

когда 6 и более показателей отнесены ко 2 классу, остальные – к классу 1;

когда от 1 до 5 показателей отнесены к классам 3.1 и (или) 3.2, а остальные показатели имеют оценку 1 и (или) 2 классов.

Вредные условия труда (3 класс) устанавливается, когда 6 или более показателей отнесены к 3 классу.

При этом класс 3.1 устанавливается в тех случаях:

когда 6 показателей имеют оценку только класса 3.1, а оставшиеся показатели относятся к 1 и (или) 2 классам;

когда от 3 до 5 показателей отнесены к классу 3.1 и от 1 до 3 показателей отнесены к классу 3.2 (при этом оценку 3.1 и 3.2 должны иметь 6 показателей).

Класс 3.2 устанавливается:

когда 6 показателей оценены классом 3.2;

когда более 6 показателей отнесены к классу 3.1 или 3.1 и 3.2 ;

когда от 1 до 5 показателей отнесены к классу 3.1 и от 4 до 5 показателей - к классу 3.2 (при этом оценку 3.1 и 3.2 должны иметь не менее 6 показателей);

когда 6 показателей отнесены к классу 3.1 и имеются от 1 до 5 показателей класса 3.2.

В тех случаях, когда более 6 показателей имеют оценку 3.2, напряженность трудового процесса оценивается на одну степень выше и устанавливается класс 3.3.

Таблица 9.12

Классы условий труда по показателям напряженности трудового процесса

Показатели напряженности трудового процесса	Классы условий труда			
	Оптимальный	Допустимый	Вредный	
	1 класс	2 класс	3 класс	
			1 степени	2 степени
1	2	3	4	5
1. Интеллектуальные нагрузки				
Содержание работы	Отсутствует необходимость принятия решения	Решение простых задач по инструкции	Решение сложных задач с выбором по известным алгоритмам (работа по инструкциям)	Творческая деятельность, требующая решения алгоритма, руководство в сложных ситуациях
1.2. Восприятие сигналов (информации) и их оценка	Восприятие сигналов, но не требуется коррекция действий	Восприятие сигналов с последующей коррекцией действий и операций	Восприятие сигналов с последующим сопоставлением фактических и номинальных значений параметров	Восприятие сигналов с последующей комплексной оценкой связанных параметров. Комплексная оценка всей производственной деятельности

Продолжение таблицы 9.12

1	2	3	4	5
1.3. Распределение функций по степени сложности задания	Обработка и выполнение задания	Обработка, выполнение задания и его проверка	Обработка, проверка и контроль за выполнением задания	Контроль и работа по распределению заданий другим лицам
1.4. Характер выполняемой работы	Работа по индивидуальному плану	Работа по установленному графику с возможной его коррекцией по ходу деятельности	Работа в условиях дефицита времени	Работа в условиях дефицита времени и информации с повышенной ответственностью за конечный результат
2. Сенсорные нагрузки				
2.1. Длительность сосредоточенного наблюдения (в % от времени смены)	до 25	26-50	51-75	более 75
2.2. Плотность сигналов (световых, звуковых) и сообщений (в среднем за 1 час)	до 75	76-175	176-300	более 300
2.3. Число объектов одновременного наблюдения	до 5	6-10	11-25	более 25
2.4. Размер объекта различения (расстояние от глаз до объекта различения не более 0,5м) в мм при длительности сосредоточенного наблюдения (% времени смены)	более 5 мм – 100%	5–1,1 мм – более 50%; 1–0,3 мм – до 50%; менее 0,3 мм – до 25%	1– 0,3 мм – более 50%; менее 0,3 мм – 25-50%	менее 0,3 мм – более 50%
2.5. Работа с оптическими приборами (микроскопы, лупы и т.п.) при длительности сосредоточенного наблюдения (% времени смены)	до 25	26-50	51-75	более 75
2.6. Наблюдение за экранами ВДТ (часов в смену): - при буквенно-цифровом отображении информации; - при графическом типе отображения	до 2 до 3	2-3 3-5	3-4 5-6	более 4 более 6

Продолжение таблицы 9.12

1	2	3	4	5
2.7. Нагрузка на слуховой анализатор (при производственной необходимости восприятия речи или дифференцированных сигналов)	Разборчивость слов и сигналов от 100% до 90%. Помехи отсутствуют	Разборчивость слов и сигналов от 90% до 70%. Имеются помехи, на фоне которых речь слышна на расстоянии до 3,5м	Разборчивость слов и сигналов от 70% до 50%. Имеются помехи, на фоне которых речь слышна на расстоянии до 2 м	Разборчивость слов и сигналов менее 50%. Имеются помехи, на фоне которых речь слышна на расстоянии до 1,5 м
2.8. Нагрузка на голосовой аппарат (суммарное количество часов, наговариваемое в неделю)	до 16	16-20	20-25	более 25
3. Эмоциональные нагрузки				
3.1. Степень ответственности за результат собственной деятельности. Значимость ошибок	Несет ответственность за выполнение отдельных элементов заданий. Влечет за собой дополнительные усилия в работе со стороны работника	Несет ответственность за функциональное качество вспомогательных работ (заданий). Влечет за собой дополнительные усилия со стороны руководства (бригадира, мастера)	Несет ответственность за качество основной работы. Влечет за собой исправления за счет дополнительных усилий коллектива	Несет ответственность за качество конечной продукции, работы. Влечет за собой повреждение оборудования, остановку техпроцесса, и может возникнуть опасность для жизни
3.2. Степень риска для собственной жизни	Исключена			Вероятна
3.3. Степень ответственности за безопасность других лиц	Исключена			Возможна
4. Монотонность нагрузок				
4.1. Число элементов (приемов) для реализации простого задания или в многократно повторяющихся операциях	более 10	9-6	5-3	менее 3
4.2. Продолжительность выполнения простых производственных заданий или повторяющихся операций, с	более 100	100-25	24-10	менее 10
4.3. Монотонность производственной обстановки (время пассивного наблюдения за ходом техпроцесса в % от врем. смены)	менее 75	76-80	81-90	более 90

1	2	3	4	5
5. Режим работы				
5.1. Сменность работы	Односменная работа (без ночной смены)	Двухсменная работа (без ночной смены)	Двухсменная с ночной сменой, трехсменная работа (в ночную смену)	Работа только в ночное время

Общая оценка условий труда по классу (степени) проводится на основании оценок по всем факторам производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Общая оценка условий труда на рабочем месте устанавливается по наиболее высокому классу и степени вредности.

При наличии 3-х и более факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, относящихся к классу 3.1, общая оценка условий труда соответствует классу 3.2. При наличии 2-х и более факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, относящихся к классам 3.2, 3.3 и 3.4 – условия труда оцениваются соответственно на одну степень выше.

По результатам аттестации с учетом оценки условий труда работникам предоставляются следующие **виды компенсаций**:

- пенсия по возрасту за работу с особыми условиями труда;
- дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;
- сокращенная продолжительность рабочего времени за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;
- оплата труда в повышенном размере путем установления доплат за работу с вредными и (или) опасными условиями труда.

При оценке условий труда, соответствующих 3, 4 классам, на рабочих местах работников в зависимости от класса и степени вредности условий труда устанавливаются доплаты за работу с вредными и(или) опасными условиями труда в размерах согласно табл. 9.13.

Таблица 9.13

Размеры доплат за работу с вредными и (или) опасными условиями труда

Классы условий труда	Процент от тарифной ставки первого разряда за 1 час работы в условиях труда, соответствующих классу	Продолжительность дополнительного отпуска за работу с вредными и опасными условиями труда в календарных днях
1	2	3
1 класс (оптимальные условия труда)	0	0
2 класс (допустимые условия труда)	0	0

1	2	3
3 класс (вредные условия труда):		
3.1 (1 степени)	0,10	4
3.2 (2 степени)	0,14	7
3.3 (3 степени)	0,20	14
3.4 (4 степени)	0,25	21
4 класс (опасные условия труда)	0,31	28

Работникам, которым установлена повышенная оплата труда за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, доплата за работу с этими условиями по результатам аттестации не устанавливается.

Оформление результатов аттестации. Результаты оценки условий труда вносятся в карту для определения права на компенсации по условиям труда. С учетом общей оценки условий труда аттестационной комиссией делается вывод о праве работника на компенсации по условиям труда.

С результатами аттестации должны быть ознакомлены под роспись все работники, занятые на данном рабочем месте.

На основании оформленных карт составляются:

перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждены особые условия труда, соответствующие требованиям списков производств, работ, профессий, должностей и показателей, дающих право на пенсию по возрасту за работу с особыми условиями труда;

перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждено право на дополнительный отпуск за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;

перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждены вредные и (или) опасные условия труда, соответствующие требованиям списка производств, цехов, профессий и должностей с вредными и (или) опасными условиями труда, работа в которых дает право на сокращенную продолжительность рабочего времени;

перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждено право на доплаты за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;

план мероприятий по улучшению условий труда.

В трудовые книжки работников, профессии и должности которых включены в перечень рабочих мест по профессиям и должностям, на которых работающим по результатам аттестации подтверждены особые условия труда, предусмотренные списком № 1 и списком № 2, вносятся сведения об аттестации в порядке, установленном законодательством.

9.3. Задание по теме

Задание. Провести комплексную оценку условий труда на конкретном рабочем месте.

Решение данной задачи сводится к оценке условий труда на конкретном рабочем месте в баллах согласно данным табл. 9.14 и методике проведения аттестации рабочих мест по условиям труда (изложенной выше), заполнению «Карты аттестации рабочего места по условиям труда» (табл. 9.1) и определению права работника на льготную пенсию, размера доплат за работу во вредных и тяжелых условиях труда (табл. 9.13), размера дополнительного отпуска, а также разработке конкретных мероприятий по улучшению условий труда на рабочем месте.

Образец «Карты аттестации рабочего места по условиям труда» приведен в табл. 9.1.

Таблица 9.14

Исходные данные для оценки условий труда

Рабочее место, код профессии	Факторы условий труда	Нормативное значение (ПДК, ПДУ)	Фактическая величина фактора	Продолжительность воздействия за смену, ч
1	2	3	4	5
1. Рабочее место земледела (работы выполняются в холодный период года) Код 7211-004	Пыль, мг/м ³ : пыль с содержанием SiO ₂	2,0	6,2	5,5
	Уровень шума, дБА: фоновый шум при работе у смесителей	80	82 87	2,5 5,5
	Уровень общей вибрации, дБ: при работе у смесителей	50	43	5,5
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с	17-19 не более 75 не более 0,4	17,6 67 0,23	8,0 8,0 8,0
2. Рабочее место формовщика машинной формовки (работы выполняются в холодный период года) Код 7211-014	Пыль, мг/м ³ : пыль с содержанием SiO ₂	2,0	3,9	6,5
	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при работе формовочных машин	80	83 89	3,0 5,0
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с	13-19 не более 75 не более 0,5	15,2 64 0,38	8,0 8,0 8,0

Продолжение таблицы 9.14

1	2	3	4	5
3. Рабочее место плавильщика металла и сплавов (работа выполняется в теплый период года) Код 8121-150	Вредные химические вещества, мг/м ³ : углерода оксид	20,0	22,0	8,0
	Пыль, мг/м ³ : пыль с содержанием SiO ₂	6,0	7,9	4,0
	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при работе у плавильной печи	80	80 85	1,5 6,5
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с Интенсивность теплового излучения, Вт/м ²	15-26 не более 55 0,2-0,6 140	32,4 43 0,68 760	8,0 8,0 8,0 6,5
4. Рабочее место заливщика металла (работа выполняется в теплый период года) Код 8121-056	Вредные химические вещества, мг/м ³ : углерода оксид	20,0	24,0	5,5
	Пыль, мг/м ³ : пыль с содержанием SiO ₂	6,0	6,9	8,0
	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при заливке	80	79 84	2,5 5,5
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с Интенсивность теплового излучения, Вт/м ²	15-26 не более 55 0,2 – 0,6 140	34,3 42 0,64 1860	8,0 8,0 8,0 5,5
5. Рабочее место выбивальщика отливок (работа выполняется в теплый период года) Код 8221-040	Вредные химические вещества, мг/м ³ : углерода оксид	20,0	14,7	8,0
	Пыль, мг/м ³ : пыль с содержанием SiO ₂	6,0	14,8	5,0
	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при выбивке отливок	80	84 97	3,0 5,0
	Уровень общей вибрации, дБ: при работе выбивной решетки	50	47	5,0
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с Интенсивность теплового излучения, Вт/м ²	15-26 не более 60 0,2 – 0,6 140	27,3 57 0,48 430	8,0 8,0 8,0 5,0

Продолжение таблицы 9.14

1	2	3	4	5
6. Рабочее место обрубщика (работа выполняется в теплый период года) Код 7211-010	Вредные химические вещества, мг/м ³ : углерода оксид	20,0	8,2	8,0
	Пыль, мг/м ³ : пыль с содержанием SiO ₂	6,0	10,4	5,0
	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при обрубке отливок	80	85 98	3,0 5,0
	Уровень локальной вибрации, дБ: при работе рубильного молотка	76	81	5,0
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с	15-26 не более 70 0,2 – 0,6	25,4 52 0,52	8,0 8,0 8,0
7. Рабочее место электрогазосварщика (работа выполняется в холодный период года) Код 7212-019	Вредные химические вещества, мг/м ³ : углерода оксид азота оксиды марганец в сварочном аэрозоле	20,0 5,0 0,2	15,9 1,84 0,33	4,8 4,8 4,8
	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при электродуговой сварке при газовой резке	80	78 82 88	3,0 3,8 1,2
	Ультрафиолетовое излучение, Вт/м ² : - электродуговая сварка область УФА область УФВ область УФС	10 1 (суммарно)	12,4 1,83 3,48	3,8
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с Интенсивность теплового излучения, Вт/м ² : при электродуговой сварке при газовой резке	15-21 не более 75 не более 0,4 140	17,7 58 0,34 247 374	8,0 8,0 8,0 3,8 1,2
	Вредные химические вещества, мг/м ³ : углерода оксид фенол	20,0 0,3	16,9 0,42	8,0 6,0
8. Рабочее место оператора машины непрерывного литья заготовок (работа выполняется в холодный период года) Код 8121-110	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при работе машины	80	77 84	2,0 6,0

Продолжение таблицы 9.14

1	2	3	4	5
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с Интенсивность теплового излучения, Вт/м ²	15-21 не более 75 не более 0,4 140	25,8 46 0,33 630	8,0 8,0 8,0 4,7
9. Рабочее место лудильщика проволоки (работа выполняется в холодный период года) Код 8122-028	Вредные химические вещества, мг/м ³ : свинец	0,01	0,02	2,8
	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при работе у оборудования	80	76 84	2,5 5,5
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с Интенсивность теплового излучения, Вт/м ² : - у ванны со свинцом	15-21 не более 75 не более 0,4 140	23,3 48 0,28 190	8,0 8,0 8,0 2,8
10. Рабочее место машиниста на молотах, прессах и манипуляторах (работа выполняется в теплый период года) Код 7221-010	Пыль, мг/м ³ : пыль с содержанием SiO ₂	6,0	4,7	5,0
	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при работе оборудования	80	83 91	3,0 5,0
	Уровень общей вибрации, дБ: при работе оборудования	50	52	5,0
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с Интенсивность теплового излучения, Вт/м ²	15-26 не более 55 0,2 -0,6 140	28,3 46 0,39 580	8,0 8,0 8,0 5,0
11. Рабочее место вальцовщика стана горячей прокатки (работа выполняется в теплый период года) Код 8121-029	Пыль, мг/м ³ : пыль с содержанием SiO ₂	6,0	3,3	6,0
	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при работе стана	80	85 94	2,0 6,0
	Уровень общей вибрации, дБ: при работе стана	50	46	6,0
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с Интенсивность теплового излучения, Вт/м ²	15-26 не более 55 0,2 – 0,6 140	32,3 43 0,46 470	8,0 8,0 8,0 6,0

Продолжение таблицы 9.14

1	2	3	4	5
12. Рабочее место мастера производственного участка (работа выполняется в теплый период года) Код 1321-041	Вредные химические вещества, мг/м ³ : углерода оксид	20,0	16,0	6,5
	Пыль, мг/м ³ : пыль с содержанием SiO ₂	6,0	7,2	6,5
	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при работе у оборудования	80	77 86	1,5 6,5
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с Интенсивность теплового излучения, Вт/м ² : - работа у источников	21-28 не более 55 0,1 – 0,3 140	29,6 44 0,29 284	8,0 8,0 8,0 2,7
13. Рабочее место оператора электронно-вычислительных машин (персональных электронно-вычислительных машин) (холодный период года) Код 4132-003	Уровень шума, дБА: фоновый шум при работе принтера	60	46 63	6,5 1,5
	Вредные химические вещества, мг/м ³ : озон	0,1	0,03	1,5
	Напряженность электромагнитного поля: электрическая составляющая, не более, В/м, при частоте: диапазон 5 Гц-2 кГц диапазон 2-400 кГц плотность магнитного потока, не более, нТл, при частоте: диапазон 5 Гц-2 кГц диапазон 2-400 кГц	25 2,5	28 1,12	8,0 8,0
		250 25	120 4	8,0 8,0
		15	8	8,0
	Электростатическое поле, кВ/м	15	8	8,0
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с	21-25 не более 75 не более 0,1	22,4 64 0,07	8,0 8,0 8,0
Наблюдение за экраном видеотерминала			6,0	
14. Рабочее место стерженщика машинной формовки (изготовление стержней по нагреваемой оснастке, работы выполняются в холодный период года) Код 7211-012	Вредные химические вещества, мг/м ³ : углерода оксид фенол формальдегид	20,0 0,3 0,5	14,2 0,44 0,63	6,0 6,0 6,0
	Пыль, мг/м ³ : пыль с содержанием SiO ₂	2,0	2,4	6,0
	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при работе стержневой машины	80	80 87	2,0 6,0

Окончание таблицы 9.14

1	2	3	4	5
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с Интенсивность теплового излучения, Вт/м ²	17-19 не более 75 не более 0,4 140	20,2 60 0,31 170	8,0 8,0 8,0 4,0
15. Рабочее место гальваника (работа выполняется в холодный период года) Код 8122-014	Вредные химические вещества, мг/м ³ : водорода хлорид кислота серная щелочи едкие	5,0 1,0 0,5	3,6 0,74 0,62	6,5 6,5 6,5
	Уровень шума, дБА: фоновый шум на участке при работе у оборудования	80	77 87	2,5 5,5
	Параметры микроклимата: температура воздуха, °С относительная влажность воздуха, % скорость движения воздуха, м/с Интенсивность теплового излучения, Вт/м ² : - работа у источников (печей, ванн)	21-28 не более 55 0,1 – 0,3 140	30,7 43 0,29 341	8,0 8,0 8,0 1,6

10. АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ТРАВМАТИЗМА И ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ И ОХРАНЫ ТРУДА

10.1. Расчет суммарных экономических потерь предприятия, связанных с травматизмом и заболеваемостью

Временные потери трудоспособности, вызванные производственным травматизмом, профессиональными заболеваниями и несовершенством условий труда, причиняют предприятиям значительный материальный ущерб. От величины этого ущерба зависят производственные показатели предприятия. Кроме того, выявление экономических последствий нетрудоспособности необходимо для установления связей или закономерностей между различными причинами травматизма и профзаболеваний.

Для определения влияния эффективности выделяемых на охрану труда денежных средств и материальных ресурсов, связанных с уменьшением потерь от травматизма и заболеваемости, используется экономический метод.

Суммарные экономические потери предприятия Π_3 , связанные с производственным травматизмом и заболеваемостью, определяются по формуле:

$$\Pi_3 = \sum \Pi_T + \sum \Pi_3, \quad (10.1)$$

где $\sum \Pi_T$ – сумма потерь, связанных с производственными травмами, руб.;

$\sum \Pi_3$ – сумма потерь, связанных с заболеваемостью из-за неудовлетворительных условий труда, руб.

Для определения величины экономических потерь от производственного травматизма и заболеваемости используют данные листков временной нетрудоспособности, материалы экспертной оценки стоимости испорченного оборудования и инструмента, медицинские заключения реабилитационной комиссии, расчеты бухгалтерии предприятия и др. материалы.

Сумма потерь $\sum \Pi_T$, связанных с травмами, складывается из множества составляющих

$$\sum \Pi_T = C_a + C_k + C_{3п} + C_n + C_б + C_p + C_o + C_{вп}, \quad (10.2)$$

где C_a – стоимость амбулаторного лечения, руб.;

C_k – стоимость клинического лечения, руб.;

$C_{зп}$ – сумма недопроизведенной заработной платы за период лечения, руб.;

$C_{н}$ – убытки из-за недополученной суммы налогов с необлагаемой части дохода (выплат по больничному листку), руб.;

$C_{б}$ – сумма выплат по больничному листку, руб.;

$C_{р}$ – стоимость расследования несчастного случая, руб.;

$C_{о}$ – стоимость испорченного оборудования или затраты на его ремонт, руб.;

$C_{вп}$ – стоимость валовой продукции, недополученной предприятием вследствие травмы или заболевания, руб.

Стоимость амбулаторного $C_{а}$ и клинического $C_{к}$ лечения определяют соответственно из выражений:

$$C_{а} = c_{ам} \cdot D_{ам} , \quad (10.3)$$

$$C_{к} = c_{кл} \cdot D_{кл} , \quad (10.4)$$

где $c_{ам}$ и $c_{кл}$ – соответственно стоимость одного посещения лечебного заведения и одного койко-места в сутки в больнице, руб.;

$D_{ам}$ – число посещений поликлиники, раз;

$D_{кл}$ – продолжительность лечения на стационаре, дней.

Сумму недопроизведенной заработной платы $C_{зп}$ определяют, исходя из среднего дневного заработка $c_{з}$:

$$C_{зп} = c_{з} \cdot D_{т} , \quad (10.5)$$

где $D_{т}$ – число дней нетрудоспособности вследствие травм, дней.

Убытки от недополучения налога $C_{н}$ определяются по формуле:

$$C_{н} = \frac{C_{зп}}{100} \cdot (A + B) , \quad (10.6)$$

где A – процент страховых отчислений (для промышленных предприятий $A=35\%$);

B – процент отчисления в фонд занятости (для промышленных предприятий $B=1\%$).

Сумма выплат по больничному листку $C_{б}$ определяется по формуле:

$$C_{б} = c_{б} \cdot D_{т} , \quad (10.7)$$

где $c_{б}$ – стоимость одного дня по больничному листку, руб.

Стоимость расследования несчастных случаев C_p складывается из суммарного дневного заработка c_d лиц, участвующих в расследовании (инженер по охране труда, технический инспектор, общественный инспектор и др.), умноженного на число дней расследования D_p :

$$C_p = c_d \cdot D_p. \quad (10.8)$$

Стоимость восстановления испорченного оборудования, зданий, инструмента принимают по данным бухгалтерии.

Стоимость валовой продукции $C_{вп}$, недополученной из-за травмы определяется по формуле:

$$C_{вп} = \frac{C_v \cdot D_t}{n \cdot D}, \quad (10.9)$$

где C_v – стоимость валовой продукции, произведенной на предприятии за год, руб.;

n – среднесписочное число работающих в течение года, чел;

D – число рабочих дней (смен) в году.

Потери от заболеваний $\sum \Pi_3$, являющиеся следствием неудовлетворительных условий труда, определяются суммой следующих слагаемых:

$$\sum \Pi_3 = C_{зп}^* + C_{вп}^* + C_6^* + C_n^*, \quad (10.10)$$

где $C_{зп}^*$ – сумма недопроизведенной заработной платы за период заболевания, руб.;

$C_{вп}^*$ – стоимость валовой продукции, недополученной предприятием вследствие заболевания, руб.;

C_6^* – сумма выплат по больничному листку, руб.;

C_n^* – убытки из-за недополученной суммы налогов с необлагаемой части дохода (выплат по больничному листку), руб.

Сумма недопроизведенной заработной платы $C_{зп}^*$ определяется исходя из среднего дневного заработка c_3 :

$$C_{зп}^* = c_3 \cdot D_3, \quad (10.11)$$

где D_3 – число дней нетрудоспособности вследствие заболеваемости.

Стоимость валовой продукции $C_{зп}^*$, недополученной из-за заболевания:

$$C_{\text{вп}}^* = \frac{C_{\text{в}} \cdot D_3}{n \cdot D}, \quad (10.12)$$

Сумма выплат по больничному листку C_6^* определяется по формуле:

$$C_6^* = c_6 \cdot D_3. \quad (10.13)$$

Убытки от недополучения налога на заработную плату C_n^* определяются по формуле:

$$C_n^* = \frac{C_{\text{зп}}^*}{100} \cdot (A + B). \quad (10.14)$$

В реальных условиях общие потери предприятия могут включать не все виды указанных затрат и в то же время могут включать другие, не указанные в приведенной методике, расходы.

Одна часть показателей возмещается за счет средств предприятия (C_p , C_6 , $C_{\text{вп}}$), другая – возмещается из общегосударственных средств, которые формируются из налогов на заработную плату. В отдельных случаях затраты на амбулаторное C_a и клиническое C_k лечение могут быть отнесены непосредственно на предприятие, если травма или профзаболевание произошли по вине предприятия.

10.2. Расчет эффективности предлагаемых мероприятий по улучшению условий труда

К мероприятиям по улучшению условий и охране труда относятся все виды хозяйственной деятельности, направленные на предупреждение, ликвидацию или снижение отрицательного воздействия вредных и опасных производственных факторов на работников.

Расчет экономической эффективности мероприятий по улучшению условий и охране труда необходим для:

- а) экономического обоснования планируемых мероприятий, в том числе выбора оптимального варианта проектных решений;
- б) определения фактической эффективности осуществленных мероприятий;
- в) для оценки результатов деятельности производственных объединений (предприятий), министерств и ведомств по улучшению условий и охране труда;

г) для расчета нормативов необходимых затрат на приведение условий труда на рабочих местах в соответствие с требованиями технических нормативных правовых актов (ТНПА).

Общая экономия от внедрения мероприятий по охране труда \mathcal{E}_r определяется по зависимости:

$$\mathcal{E}_r = \Pi_3 - \Pi_{3п} - \mathcal{Z}_m, \quad (10.15)$$

где Π_3 и $\Pi_{3п}$ – потери предприятия от травматизма, заболеваний до и после внедрения мероприятий по охране труда, руб.;

\mathcal{Z}_m – затраты на мероприятия по улучшению условий и охране труда, руб.

Потери из-за травм и заболеваемости после внедрения мероприятий по охране труда $\Pi_{3п}$ определяются по формуле:

$$\Pi_{3п} = \frac{100 - K}{100} \cdot \Pi_3, \quad (10.16)$$

где K – коэффициент эффективности технологии и санитарно-гигиенических мероприятий при внедрении планов НОТ.

Показатель эффективности затрат K_3 характеризует денежную отдачу с каждого рубля, вложенного в мероприятия по улучшению условий и охраны труда, и определяется следующим образом:

$$K_3 = \frac{\Pi_3 - \Pi_{3п}}{\mathcal{Z}_m}. \quad (10.17)$$

Окупаемость единовременных затрат в годах T определяется по формуле:

$$T = \frac{\mathcal{Z}_m}{\Pi_3 - \Pi_{3п}}, \quad (10.18)$$

Если полученный срок окупаемости T меньше нормативного ($T_n = 12,5$ лет), то мероприятия считаются экономически эффективными.

10.3. Расчетные задания по теме

Задача 10.1.

а) Рассчитать суммарные экономические потери предприятия, связанные с производственным травматизмом и заболеваемостью, по данным, приведенным в табл. 10.1. Номер варианта следует выбирать по последней

цифре номера зачетной книжки. При расчете руководствоваться методикой, приведенной в разделе 10.1.

Таблица 10.1

Исходные данные для расчета

Исходные данные	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1. Среднесписочное число работающих в течение года (n), чел.	384	308	521	280	452	431	358	420	415	352
2. Число рабочих дней (смен) в году (D)	228	280	280	228	280	228	280	228	280	228
3. Число дней нетрудоспособности вследствие заболеваемости (D_3)	1383	1185	1715	1280	1437	2234	1733	812	1711	581
4. Число дней нетрудоспособности вследствие травм (D_T)	42	23	105	85	82	177	232	184	158	91
5. Стоимость всей валовой продукции, произведенной на предприятии за год (C_B), тыс. руб.	450,4	489,7	630,2	310,5	548,2	520,6	463,7	535,1	503,7	468,7
6. Число дней расследования (D_p)	2	3	3	2	3	2	3	2	2	2
7. Суммарный дневной заработок лиц, участвующих в расследовании (c_d), руб.	85,5	97,2	89,6	82,5	101,1	78,3	97,2	81,6	84,2	80,7
8. Стоимость одного дня по больничному листку (c_6), руб.	22,8	25,92	21,76	23,6	26,9	20,9	24,32	22,96	25,12	21,6
9. Средний дневной заработок (c_3), руб.	28,5	32,4	27,2	29,5	33,7	26,1	30,4	28,7	31,4	26,9
10. Суммарная продолжительность лечения ($D_{кл}$), дней	410	516	611	518	410	904	520	418	511	310
11. Стоимость одного койко-места в больнице ($c_{кл}$), руб.	221	196	210	194	216	218	182	215	206	220
12. Количество посещений лечебного заведения ($D_{ам}$)	92	88	64	71	85	76	54	85	97	66
13. Стоимость одного посещения лечебного заведения ($c_{ам}$), руб.	13,8	13,6	13,2	13,4	13,2	13,5	13,8	13,4	13,9	13,7
14. Стоимость испорченного оборудования или затраты на его ремонт (C_o), руб.	257	870	450	390	965	530	–	484	–	876

Примечание. Стоимость амбулаторного $C_{ам}$ и клинического $C_{кл}$ лечения следует определять один раз, т. е. при определении потерь от травматизма $\sum P_T$ или потерь от заболеваемости $\sum P_3$. Остальные составляющие потерь необходимо определять отдельно для травматизма и отдельно для заболеваемости.

б) Провести оценку экономической эффективности мероприятий по улучшению условий и охране труда по данным, приведенным в табл. 10.2. При расчете руководствоваться методикой, приведенной в разделе 10.2. Потери из-за травм и заболеваемости в базисном году Π_0 , необходимо взять из предыдущего расчета.

Таблица 10.2

Исходные данные для расчета

№ варианта	Мероприятие	Коэффициент эффективности мероприятий К, %	Затраты на мероприятия $Z_{м.}$, тыс. руб.
1	Внедрение физиологически обоснованного режима труда и отдыха	15-25	1,8
2	Упорядочение режима труда с учетом психофизиологических особенностей человека	5-10	9,2
3	Рационализация рабочих мест на основании физиологических данных	10-12	7,5
4	Правильная планировка и окраска помещений и оборудования	10-14	11,8
5	Выбор рационального освещения	10-15	19,3
6	Снижение шума до требуемых нормативов	4-10	25,4
7	Снижение высокой температуры	10-18	14,1
8	Упорядочение режима труда с учетом психофизиологических особенностей человека	5-10	3,7
9	Правильная планировка и окраска помещений и оборудования	10-14	10,7
0	Рационализация рабочих мест на основании физиологических данных	10-12	8,4

Литература

1. *Лазаренков А.М.* Охрана труда в металлургическом производстве. – Минск: БНТУ, 2002. – 263 с.
2. *Лазаренков А.М., Калиниченко В.А.* Охрана труда. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 464 с.
2. *Лазаренков, А. М.* Охрана труда в машиностроении: учебное пособие / А. М. Лазаренков. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017.– 446 с.
3. *Лазаренков А.М., Ушакова И.Н.* Охрана труда: Учебно-методическое пособие для практических занятий. – Мн.: БНТУ, 2011. – 205 с.
5. *Лазаренков, А. М.* Охрана труда в энергетической отрасли: учебник / А. М. Лазаренков, Л. П. Филянович. – Минск: БНТУ, 2006. – 582 с.
6. *Алексеев, С. В.* Гигиена труда / С. В. Алексеев, В. Р. Усенко. – М.: Медицина, 1988. – 576 с.
7. *Вредные вещества в промышленности: справочник: В 3 ч. / под ред. Н. В. Лазарева.* – М.: Химия, 1971.
8. Технический кодекс установившейся практики «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» ТКП 181–2009.
9. Технический кодекс установившейся практики «Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования» ТКП 45-2.04–153–2009.