

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра экологии

Т. Ф. Михнюк, Д. А. Мельниченко, Е. Н. Зацепин

**ОХРАНА ТРУДА.
ИНЖЕНЕРНЫЕ РАССЧЕТЫ
ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ САНИТАРИИ
И БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА**

*Рекомендовано УМО по образованию в области
информатики и радиоэлектроники в качестве
учебно-методического пособия для специальностей,
закрепленных за УМО*

Минск БГУИР 2014

УДК 331.45(076)
ББК 65.247я73
М69

Р е ц е н з е н т ы:
кафедра экономики предприятий Академии управления
при Президенте Республики Беларусь
(протокол №6 от 17.01.2013);

проректор по производственному обучению учреждения образования «Высший государственный колледж связи», старший научный сотрудник,
кандидат технических наук, доцент Е. В. Новиков;

доцент кафедры инженерной психологии и эргономики
учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат психологических наук,
доцент И. Г. Шупейко

Михнюк, Т. Ф.

М69 Охрана труда. Инженерные расчеты по производственной санитарии и безопасности труда : учеб.-метод. пособие / Т. Ф. Михнюк, Д. А. Мельниченко, Е. Н. Зацепин. – Минск : БГУИР, 2014. – 70 с.
ISBN 978-985-543-028-6.

Изложены методы гигиенической оценки техногенных факторов, формирующих санитарные и безопасные условия производственной среды, их гигиенические нормативы, примеры расчетов социально-экономической эффективности трудовых затрат и решения наиболее типичных задач по электромагнитным излучениям радиочастотного диапазона и электробезопасности при эксплуатации электрических сетей, технологического оборудования и технических устройств, потребляющих электрическую энергию.

Предназначено для студентов учреждений высшего образования всех форм обучения.

УДК 331.45(076)
ББК 65.247я73

ISBN 978-985-543-028-6

© Михнюк Т. Ф., Мельниченко Д. А.,
Зацепин Е. Н., 2014
© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2014

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| 1 Анализ производственного травматизма и оценка опасностей | 5 |
| 1.1 Методы анализа травматизма на производстве..... | 5 |
| 1.2 Приемы квантификации техногенных опасностей | 6 |
| 1.3 Примеры выполнения заданий..... | 7 |
| 2 Расчет социально-экономической эффективности трудоохранных затрат | 9 |
| 2.1 Экономическая оценка ущерба из-за производственного травматизма и профессиональной заболеваемости..... | 9 |
| 2.2 Экономический механизм управления охраной труда | 12 |
| 2.3 Примеры выполнения заданий..... | 17 |
| 3 Проектирование и расчет производственного освещения | 23 |
| 3.1 Проектирование естественного освещения | 23 |
| 3.2 Проектирование и расчет искусственного освещения..... | 24 |
| 3.3 Проектирование совмещенного освещения..... | 27 |
| 3.4 Примеры выполнения заданий..... | 27 |
| 4 Электромагнитные поля радиочастотного диапазона | 31 |
| 4.1 Гигиеническая оценка и нормирование электромагнитных полей в производственных условиях..... | 31 |
| 4.2 Способы и средства защиты | 33 |
| 4.3 Примеры выполнения заданий..... | 36 |
| 5 Электробезопасность | 40 |
| 5.1 Оценка опасности поражения электрическим током..... | 40 |
| 5.2 Способы и средства обеспечения электробезопасности | 44 |
| 5.3 Примеры выполнения заданий..... | 50 |
| Приложение А (справочное) Исходные данные для проектирования и расчета производственного освещения | 59 |
| Приложение Б (справочное) Данные для оценки опасности электропоражения..... | 67 |
| Список литературы | 69 |

Введение

Изучение опасностей и вредностей современного производства, насыщенного сложными техническими средствами, и разработка предупредительных мер по защите работающих от несчастных случаев, травматизма и заболеваемости является одной из составляющих профессиональной подготовки современного специалиста.

Среди направлений реализации задач государственного управления охраной труда обучение и повышение квалификации работающих, а также трудовая подготовка специалистов являются одними из приоритетных.

Важное значение для подготовки студентов в области безопасности имеет наличие учебной и учебно-методической литературы, соответствующей действующей нормативно-правовой документации.

Настоящее учебно-методическое пособие содержит теоретический материал по методологии гигиенической оценки некоторых параметров производственной среды, освещения, электромагнитных излучений радиочастотного диапазона, опасности поражения электрическим током при эксплуатации различных электрических сетей, а также примеры анализа причин несчастных случаев, оценки опасностей с использованием уровня риска, инженерных расчетов, методов и средств по нормализации условий труда, формирующихся под влиянием этих факторов.

При подготовке учебно-методического пособия использованы как оригинальные, так и ранее изданные авторами учебные и учебно-методические материалы, которые были исправлены и доработаны с учетом требований действующей нормативно-правовой документации (проектирование и расчет производственного освещения и др). Разделы по электромагнитным измерениям радиочастотного диапазона и электробезопасности дополнены новыми примерами расчета и решения задач.

Авторы будут благодарны за все замечания и пожелания по улучшению качества учебно-методического пособия, которые следует направлять по адресу: 220013, Беларусь, г. Минск, ул. П. Бровки, 6.

1 АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА И ОЦЕНКА ОПАСНОСТЕЙ

1.1 Методы анализа травматизма на производстве

Травма – нарушение анатомической целостности или физиологических функций тканей или органов человека, вызванное внезапным внешним воздействием. Производственный травматизм – это совокупность производственных травм.

Основными задачами анализа травматизма являются:

- выявление причин и повторяемости несчастных случаев;
- установление наиболее опасных видов работ;
- определение факторов, влияющих на несчастные случаи и др.

При анализе причин производственного травматизма могут использоваться различные методы, основанные на материалах статистики (собственно статистический, групповой, топографический, экономический и др.), и методы, основанные на результатах технического обследования (лабораторный или технический, монографический и др.).

Статистический метод основан на изучении причин травматизма по актам формы Н-1 за определенный период времени. Этот метод позволяет определить динамику травматизма, выявить закономерности и связи между обстоятельствами и причинами возникновения несчастных случаев.

Для оценки уровня травматизма используются относительные статистические показатели: коэффициенты частоты, тяжести и общего травматизма на предприятии.

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

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

где T – число несчастных случаев за конкретный период;

P – среднесписочное число работающих.

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

$$K_{\text{т}} = \frac{D}{T} \cdot 1000, \quad (1.2)$$

где D – суммарное число дней нетрудоспособности по всем несчастным случаям.

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

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{ч}} \cdot K_{\text{т}} = \frac{D}{P} \cdot 1000. \quad (1.3)$$

Групповой метод анализа позволяет распределить частоту несчастных случаев по видам работ, травмообразующим, опасным и вредным производственным факторам, сведениям о пострадавших (возраст, пол, стаж работы и т. п.), данным о времени происшествия (месяц, день, смена, час рабочего дня).

Топографический метод состоит в изучении причин несчастных случаев по месту их происшествия на предприятии. При этом все несчастные случаи систематически наносятся условными знаками на планы предприятия или цехов (отделов), в результате чего образуется топограмма, на которой наглядно видны рабочие участки и места с повышенной травмоопасностью.

Экономический метод заключается в определении потерь, вызванных производственным травматизмом, и в оценке социально-экономической эффективности мероприятий по предупреждению несчастных случаев.

Монографический метод изучения травматизма состоит в детальном исследовании всего комплекса условий труда, где произошел несчастный случай, технологического процесса, рабочего места, оборудования, средств защиты и др.

При этом широко применяются технические (лабораторные) способы и средства исследования.

Монографический метод позволяет выявить не только истинные причины произошедших несчастных случаев, но и причины, которые могут привести к травматизму, т. е. прогнозировать уровень травматизма на том или ином производстве.

1.2 Приемы квантификации техногенных опасностей

Наряду с численными, балльными и другими приемами квантификации опасностей и вредностей наиболее распространенным в последнее время является риск, представляющий по сути частоту реализации опасностей.

В буквальном переводе слово «риск» означает «принятие решения». Риск – это нечто, что может произойти, а может и не произойти. Другими словами риск – действие «на удачу». В области производственной или экологической безопасности уровень риска рассчитывается отношением числа каких-либо негативных последствий (n) взаимодействия людей с природной или производственной средой (заболевания, травматизм и т. п.) к их максимально возможному числу (N) за определенный период (например год). Так, риск гибели работающего на промышленных предприятиях какой-либо страны R_{np} будет равен отношению среднестатистического числа ежегодно погибающих ($n \approx 300$ человек) к числу работающих ($N \approx 3,5$ млн человек):

$$R_{np} = \frac{n}{N} = \frac{300}{3,5 \cdot 10^6} \approx 0,86 \cdot 10^{-4}. \quad (1.4)$$

Из этого следует, что ежегодно из каждых десяти тысяч работающих погибает в среднем один человек.

Риск может быть индивидуальным (для одного человека) или групповым (социальным), т. е. риск для группы людей.

В настоящее время в большинстве стран мира концепция абсолютной безопасности (обеспечения нулевого риска) отвергнута как несоответствующая законам современной среды обитания (так как в действующих системах невозможно обеспечить 100-процентную безопасность). Вместо концепции абсолютной безопасности используется концепция приемлемого (допустимого) риска, суть которой состоит в стремлении к такой безопасности, которую приемлет общество в данный период времени в зависимости от его социально-экономического развития.

Приемлемый риск сочетает в себе экологические, технические, экономические, социальные и политические аспекты и представляет собой некоторый компромисс между уровнем безопасности и возможностями его достижения. Так, затрачивая чрезмерные средства на повышение безопасности технических систем, можно нанести ущерб социальной сфере (сокращение выполнения социальных программ). При увеличении затрат на развитие технического уровня производства технический риск снижается, но растет социальный. Суммарный риск имеет минимум при определенном соотношении между инвестициями в техническую и социальную сферы. Это обстоятельство учитывается при выборе риска, с которым общество на определенном этапе вынуждено мириться.

Максимально приемлемым уровнем индивидуального риска гибели считается риск, равный 10^{-6} в год, а пренебрежительно малым – 10^{-8} в год.

Уровень безопасности можно повысить, оптимально расходуя средства на совершенствование технических систем и объектов, организационные и административные мероприятия (подготовка персонала), а также экономические мероприятия (страхование, денежная компенсация ущерба, платежи за риск и т. д.).

В основе управления риском лежит методика сравнения затрат и получаемых выгод от снижения риска.

1.3 Примеры выполнения заданий

Задание 1

Определить коэффициенты частоты, тяжести и общего производственного травматизма на предприятиях *A* и *B*. Сделать сравнительный вывод об уровне безопасности и организации охраны труда на этих предприятиях при следующих исходных данных:

– среднесписочное число работающих за отчетный период на предприятии *A* составляет 5000 человек, на предприятии *B* – 1500 человек;

– число несчастных случаев с временной потерей трудоспособности на четыре дня и более на предприятии *A* составляет 72, на предприятии *B* – 30.

Решение

Коэффициент частоты травматизма рассчитываем по формуле (1.1):

для предприятия *A*: $K_q = \frac{72 \cdot 1000}{5000} = 14,4$;

для предприятия *B*: $K_q = \frac{30 \cdot 1000}{1500} = 20$.

Коэффициент тяжести травматизма рассчитываем по формуле (1.2):

для предприятия *A*: $K_m = \frac{920}{72} = 12,77$;

для предприятия *B*: $K_m = \frac{400}{30} = 13,33$.

Коэффициент общего травматизма рассчитываем по формуле (1.3):

для предприятия *A*: $K_{общ} = 14,4 \cdot 12,77 = 183,9$;

для предприятия *B*: $K_{общ} = 20 \cdot 13,33 = 266,7$.

Таким образом, на предприятии *A* вопросам охраны труда, безопасности работающих и снижению их профессиональной заболеваемости уделяется большее внимание, чем на предприятии *B*, так как K_q , K_m и $K_{общ}$ на предприятии *A* имеют меньшие значения, чем на предприятии *B*.

Задание 2

Сделать вывод о том, работники какого предприятия больше рискуют быть травмированными, если известно, что на предприятиях *A* и *B* повышенной опасности ежегодно количество травм с тяжелыми последствиями (потеря работоспособности) колеблется от 3 до 5 на первом предприятии и от 4 до 6 на втором предприятии. Количество работников (по среднесписочному учету) на предприятии *A* составляет 800 человек, а на предприятии *B* в полтора раза больше.

Решение

Требуемый вывод можно сделать на основании сравнения уровней риска травмирования работников на предприятиях *A* и *B*.

Используя известные данные, указанные в задании, рассчитаем уровни риска травмирования для обоих предприятий:

$$R_A = \frac{n}{N} = \frac{4}{800} = 0,5 \cdot 10^{-2};$$

$$R_B = \frac{5}{1200} \approx 0,4 \cdot 10^{-2}.$$

Таким образом, работники предприятия *A* в большей степени рискуют быть травмированными.

2 РАСЧЕТ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУДООХРАННЫХ ЗАТРАТ

Ежегодно на промышленных предприятиях и в сельском хозяйстве в результате несчастных случаев, аварий, катастроф, пожаров в нашей республике гибнут сотни работников, тысячи травмируются, а неблагоприятные условия труда являются причиной многих профессиональных заболеваний. Наряду с социальными потерями общество несет и значительные материальные затраты. Из-за травматизма на производстве теряется около 200–250 тыс. человеко-дней ежегодно. Страховые выплаты по обязательному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний составляют порядка 25 млн дол. в год, а компенсации по условиям труда – более 130 млн дол. США.

Важнейшим фактором, способствующим сокращению числа несчастных случаев и профессиональных заболеваний, повышению безопасности и улучшению гигиены труда в условиях рыночной экономики, является широкое использование принципов экономического стимулирования работодателей в создании достойных условий труда. Экономическое стимулирование предполагает материальную выгоду вложения средств в улучшение условий труда по сравнению с выплатами штрафов, повышенных страховых взносов, компенсации за работу в неблагоприятных условиях, значительных сумм на возмещение вреда и утрату трудоспособности.

Расчеты показывают, что затраты на льготные выплаты в связи с неблагоприятными условиями труда в два раза превышают средства, идущие на их улучшение. Экономический эффект в этом случае достигается за счет уменьшения материальных последствий травматизма, общей и профессиональной заболеваемости, повышения производительности труда вследствие сокращения потери рабочего времени, снижения затрат на льготы и компенсации материального ущерба от аварий и катастроф.

2.1 Экономическая оценка ущерба из-за производственного травматизма и профессиональной заболеваемости

Потери, обусловленные условиями труда в зависимости от того, подлежат ли они измерению с точки зрения экономики, могут быть экономическими и неэкономическими. Производственный травматизм и профессиональные заболевания наносят урон как производству, так и здоровью работников. Исходя из этого, можно рассматривать **два вида ущерба** – экономический и социальный.

Экономический ущерб выражается в денежной форме фактических или возможных потерь предприятия или общества в целом, обусловленных неблагоприятной производственной средой и организацией трудового процесса. **Социальный ущерб** – это ущерб, наносимый прежде всего здоровью работников неблагоприятными условиями труда и в результате несчастных случаев. Социальный ущерб не подлежит абсолютно точной количественной оценке. Поэтому

социальные потери можно условно подразделить на так называемые **восполнимые** и **невосполнимые**.

На практике наибольший интерес представляет **совокупный** или **суммарный ущерб**, который складывается из экономического или материального ущерба и восполнимого социального ущерба.

Экономические потери из-за неблагоприятных условий труда включают в себя:

- потери от невыходов на работу;
- потери от несчастных случаев (прямые и косвенные);
- расходы при смене кадров (затраты на увольнение работника, расходы по приему нового работника, расходы на пенсии по инвалидности);
- вложения в улучшение условий труда (деятельность по охране труда, уход за оборудованием, инвестиции и закупки, обучение работников и т. п.).

В целом экономический ущерб (Y) по предприятию (организации) от производственного травматизма и профессиональных заболеваний можно рассчитать по формуле

$$Y_m = \sum_{i=1}^6 Y_i + H_n, \quad (2.1)$$

где $\sum_{i=1}^6 Y_i$ – сумма потерь возмещения (ущерба) в связи с несчастными случаями, травмами, профессиональными заболеваниями, руб.;

H_n – потери, связанные с недополучением продукции из-за отсутствия работника (стоимость недополученной продукции), руб.

Потери возмещения (ущербы) складываются из следующих составляющих:

$$\sum_{i=1}^6 Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6, \quad (2.2)$$

где Y_1 – возмещение бюджету государственного социального страхования расходов на выплату пособий по временной нетрудоспособности, если нетрудоспособность возникла по вине предприятия (организации), руб.;

Y_2 – возмещение органам социального обеспечения сумм пенсий (или части пенсии) инвалидам труда, если инвалидность наступила по вине предприятия (организации), руб.;

Y_3 – выплата пособий нетрудоспособным членам семьи в случае смерти работника от болезни или травмы, связанных с производством (за потерю кормильца), руб.;

Y_4 – выплата пособий при временном переводе работников на другую работу по состоянию здоровья (возмещение сократившегося заработка), руб.;

Y_5 – возмещение ущерба работающим при частичной потере трудоспособности (доплата до среднего заработка), руб. Если при временном переводе на другую работу или частичной утрате трудоспособности оплата пострадавшему производится по ранее занимаемой должности, то Y_4 и Y_5 из расчета исключаются;

Y_6 – затраты предприятия на профессиональную подготовку и переподготовку работающих, принимаемых на работу взамен выбывших по болезни и в связи с травмой, а также из-за неудовлетворенности условиями труда в силу их вредности и тяжести (возмещение потери трудового ресурса), руб.

Показатель Y_6 находится по формуле

$$Y_6 = r \cdot C, \quad (2.3)$$

где r – число уволившихся из-за травм и профессиональных заболеваний (по данным отдела кадров);

C – стоимость обучения одного человека на данном предприятии (по данным бухгалтерии), руб.

Источником получения данных по величинам Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 и Y_5 является бухгалтерия предприятия. Прочие потери возмещения (ущербы) из-за их незначительности можно не учитывать.

Каждая из составляющих ущерба Y_i рассчитывается по формуле

$$Y_i = Y_{mi} + Y_{zi}, \quad (2.4)$$

где Y_{mi} – потери возмещения (ущербы), обусловленные травмами;

Y_{zi} – потери возмещения (ущербы), обусловленные профессиональными заболеваниями.

Экономические потери (ущерб) от производственного травматизма и профессиональных заболеваний определяются не только потерями возмещения, но и условной стоимостью недополученной продукции в связи с выбытием работающего из производственного процесса, которая определяется в формуле (2.5) переменной H_n .

В общем виде условная стоимость недополученной продукции (условные потери прибавочного продукта) определяется произведением числа дней нетрудоспособности из-за травматизма и профессиональных заболеваний на среднюю стоимость продукции, вырабатываемой работающим за один день.

Условная стоимость недополученной продукции в целом по предприятию может быть определена путем суммирования стоимости недополученной продукции на каждом рабочем месте, где отсутствовал работник по причине получения травмы или профессионального заболевания:

$$H_n = \sum_{j=1}^n D_j \cdot C_j + \sum_{j=1}^n D_j \cdot Z_j \cdot \eta, \quad (2.5)$$

где H_n – число рабочих мест на предприятии, на которых не выполнялась работа по причине отсутствия работника;

D_j – число потерянных на рабочем месте j трудовых дней по причине нетрудоспособности работника;

C_j – средняя стоимость продукции, вырабатываемой работником на рабочем месте j в день, руб.;

Z_j – средневзвешенная заработная плата одного работающего на рабочем месте j , руб.;

η – коэффициент стоимости прибавочного продукта, создаваемого в день на рабочем месте по отношению к среднедневной заработной плате, зависит от отрасли и вида предприятия, в среднем принимается равным 1,4–1,5.

Анализ размеров ущерба, наносимого предприятию производственным травматизмом и профессиональными заболеваниями, используется в практике управления охраной труда для планирования первоочередных мероприятий по созданию безопасных и безвредных условий труда, экономического обоснования принимаемых решений.

Расчет ущерба может проводиться за разные периоды времени, но, как правило, рассчитывается годовой ущерб. В этом случае все составляющие ущерба и количество дней нетрудоспособности рассчитываются за год.

2.2 Экономический механизм управления охраной труда

Наряду с административно-правовым и социально-психологическим методами управления охраной труда в нашей республике на государственном уровне начинает широко использоваться экономический метод, который в широком смысле объединяет механизмы, соединяющие материальную заинтересованность работодателей в улучшении условий труда (компенсационные выплаты за несчастные случаи, травматизм и заболеваемость, обусловленные условиями труда; штрафы за нарушение трудового законодательства и риски травмирования; льготное налогообложение, кредитование, субсидирование и т. п.).

Важнейшую роль в экономическом стимулировании улучшения условий труда может играть государство как заказчик производства. Это может использоваться для установления более высоких требований в области охраны труда. Предприятиям, желающим улучшить свои трудовые показатели ради получения государственных контрактов, может быть оказана финансовая поддержка со стороны государства.

2.2.1 Трудоохранные затраты

Все затраты на охрану труда или трудоохранные издержки по их экономической сущности можно подразделить на **издержки предотвращения (предзатраты)** и издержки, включающие прямые материальные потери, то есть затраты на ликвидацию, нейтрализацию и компенсацию уже допущенных нарушений в области охраны труда (**постзатраты**). К **предзатратам** относятся затраты на мероприятия по улучшению гигиены труда и повышению производственной безопасности (например, за счет совершенствования технологий, внедрения более безопасного оборудования и т. п.). К **предзатратам** также относятся расходы на обучение, повышение квалификации и переподготовку кадров по вопросам охраны труда; на научно-исследовательскую работу, разработку и внедрение новых технологий; на разработку правовых, нормативно-методических документов и др.

Постзатраты определяются величиной экономического ущерба, включающего прямые потери на ликвидацию, нейтрализацию и компенсацию последствий нарушений законодательства об охране труда, а также требованиями нормативной документации по гигиене труда на ликвидацию негативных последствий несчастного случая, оплату льгот и компенсаций работникам, пострадавшим из-за несчастного случая и др.

По времени реализации различаются две категории затрат на улучшение условий труда и повышение его безопасности: **капитальные** и **текущие**, то есть инвестиции в **основной капитал** и **эксплуатационные издержки**.

К капитальным вложениям относятся затраты на создание новых, реконструкцию и модернизацию действующих основных фондов для улучшения условий и охраны труда, а также совершенствование технологий и др.

Создание основных фондов трудоохранного назначения влечет за собой необходимость текущих затрат, используемых в процессе эксплуатации капитальных фондов.

К текущим затратам относятся расходы на содержание и обслуживание основных фондов, оплату услуг, капитальный и текущий ремонты, энергетические отчисления и др.

Затраты на мероприятия по охране труда с примерно равными значениями годовых эксплуатационных расходов и капитальных вложений по годам расчетного периода принято оценивать в виде приведенных затрат:

$$Z = C + E_n \cdot K, \quad (2.6)$$

где C – эксплуатационные расходы на мероприятия, руб./год;

K – капитальные вложения, руб.;

E_n – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений с учетом предельного срока окупаемости капитальных вложений (T).

Величина нормативного коэффициента эффективности характеризует нижнюю границу эффективности капитальных вложений. В соответствии с «Типовой методикой определения экономической эффективности капитальных вложений» (1986 г.) нормативный коэффициент сравнительной эффективности для народного хозяйства в целом установлен равным 0,12 при $T = 8,3$ года. Нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности для мероприятий по охране труда установлен равным 0,08. Этим стимулируется внедрение крупных мероприятий, направленных на коренное улучшение условий труда.

При осуществлении долговременных мероприятий с изменяющимися во времени размерами эксплуатационных расходов и капитальных вложений суммарные затраты определяются с учетом фактора времени по выражению

$$Z_{\text{сум}} = \sum_{t=0}^r \frac{K_t + C_t}{(1 + E_{nn})^{(t-t_0)}}, \quad (2.7)$$

где K_t – капитальные вложения в мероприятия в t -м году, руб.;

C_t – годовые текущие расходы в t -м году, руб.;

$E_{нн}$ – нормативный коэффициент приведения разновременных затрат, равный 0,1;

t_0 – базовый момент времени, к которому приводятся затраты t -го года (в качестве базового момента времени принимается либо начало, либо окончание соответствующего планового периода (год, пять лет), в котором будут осуществляться данные мероприятия по всем сравниваемым вариантам);

t_0, T – соответственно год начала и год окончания планового периода.

2.2.2 Экономическая и социальная эффективность трудоохранных затрат

Экономическая эффективность затрат на охрану труда означает их результативность, то есть соотношение затрат на трудоохранные мероприятия и полученный **экономический эффект** от этих мероприятий.

В общем случае, полученная экономия материальных средств определяется как разница потерь из-за условий труда до проведения мероприятий и потерь после их внедрения спустя один год, то есть

$$\mathcal{E}_0 = \Pi_{T_1} - \Pi_{T_2}. \quad (2.8)$$

Для оценки фактической эффективности мероприятий по охране труда при планировании работ для обеспечения нормативных условий труда и экономического стимулирования сверхнормативного улучшения условий труда необходимо определение **общей** или **абсолютной эффективности трудоохранных затрат**.

Общую экономическую эффективность затрат трудоохранного характера можно рассчитать как отношение объема полного экономического эффекта к сумме вызвавших этот эффект совокупных (приведенных) затрат:

$$\mathcal{E}_3 = \frac{\mathcal{E}}{C + E_n + K}, \quad (2.9)$$

где \mathcal{E}_3 – общая эффективность затрат на улучшение условий труда;

\mathcal{E} – полный годовой эффект;

C – текущие затраты;

K – капитальные вложения, определившие эффект;

E_n – норматив эффективности капитальных вложений.

Экономический эффект, или результат трудоохранных затрат, представляет собой предотвращенный экономический ущерб и дополнительный доход от улучшения производственной деятельности в улучшенной производственной среде:

$$\mathcal{E} = \Pi + Д, \quad (2.10)$$

где Π – величина годового предотвращенного экономического ущерба от плохих условий труда;

$Д$ – годовой прирост дохода от улучшения производственных результатов.

Величина годового предотвращенного экономического ущерба от плохих условий труда определяется по формуле

$$П = Y_1 + Y_2, \quad (2.11)$$

где Y_1, Y_2 – величины ущерба до проведения трудоохранных мероприятий и остаточного ущерба после осуществления мероприятий соответственно.

Годовой прирост дохода от улучшения производственных результатов может быть определен по формуле

$$Д = \sum_{j=1}^u q_j \cdot z_j - \sum_{i=1}^m q_i \cdot z_i, \quad (2.12)$$

где q_i, q_j – количество продукции i -го, j -го видов, полученных соответственно до и после улучшения условий труда;

z_i, z_j – оценка единицы i -й, j -й продукции.

Если же требуется определить эффективность капитальных вложений в трудоохранные мероприятия, дающие ежегодный экономический эффект, из этого эффекта нужно вычесть годовые (текущие) затраты, необходимые для содержания и обслуживания трудоохранных объектов, и полученную разность отнести к величине капиталовложений:

$$\mathcal{E}_k = \frac{\mathcal{E}_e - C}{K}. \quad (2.13)$$

Полученный в ходе расчетов показатель коэффициент эффективности затрат – сравнивается с нормативным показателем ($E_n = 0,08$). Если $\mathcal{E}_k > E_n$, то капитальные вложения можно считать эффективными.

Величина обратная показателю эффективности и характеризующая срок окупаемости капитальных вложений, вычисляется по формуле

$$T = \frac{K}{\mathcal{E}_e - C} = \frac{1}{\mathcal{E}_k}. \quad (2.14)$$

Полученный срок окупаемости капитальных вложений следует сопоставить с нормативным (12,5 лет). Если он меньше нормативного, то капитальные вложения считаются эффективными.

Социальная эффективность – это та часть экономической эффективности, которая отражает экономический эффект затрат, связанных с нормализацией условий труда.

Социальная эффективность так же как и общая экономическая эффективность может быть определена отношением годового социального эффекта к совокупным трудоохранным затратам:

$$\mathcal{E}_c = \frac{\mathcal{E}}{C + E_n \cdot K}, \quad (2.15)$$

где C – текущие затраты;

K – капитальные вложения, определившие эффект;

E_n – норматив эффективности капитальных вложений ($E_n = 0,08$).

Хотя социальный эффект (\mathcal{E}) непосредственно не имеет стоимостной формы, вместе с тем улучшение условий труда сопровождается целым рядом экономических результатов: экономией затрат на социальное страхование; сокращением потерь продукции за дни невыхода на работу по болезни; повышением производительности труда и т. п.

Таким образом, в общем виде социальный эффект \mathcal{E} может быть определен через экономические показатели:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{cc} + \mathcal{E}_{zl} + \mathcal{E}_{чп} + \mathcal{E}_{nm}, \quad (2.16)$$

где \mathcal{E}_{cc} – эффект от сокращения выплат из фонда социального страхования (по больничным листам);

\mathcal{E}_{zl} – эффект от сокращения затрат на лечение;

$\mathcal{E}_{чп}$ – эффект от сокращения потерь чистой продукции вследствие профессиональной заболеваемости работников;

\mathcal{E}_{nm} – эффект от повышения производительности труда вследствие улучшения гигиены и повышения безопасности труда.

Эффект от сокращения выплат социального страхования определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{cc} = B \cdot B_n (P_1 - P_2), \quad (2.17)$$

где B – количество больных;

B_n – средний размер пособия (оплата больничных) на одного заболевшего;

P_1 и P_2 – количество человеко-дней работы на одного работника до и после проведения трудоохранных мероприятий соответственно.

Эффект от сокращения затрат на лечение работников рассчитывается следующим образом:

$$\mathcal{E}_{zl} = B_a \cdot D_a \cdot Z_a + B_c \cdot D_c \cdot Z_c, \quad (2.18)$$

где B_a и B_c – число больных, лечившихся соответственно амбулаторно и в стационаре от заболеваний, обусловленных условиями труда;

D_a и D_c – среднее количество дней лечения одного больного в поликлинике и стационаре;

Z_a и Z_c – средние затраты на лечение одного больного соответственно в поликлинике и стационаре.

Эффект от сокращения потерь чистой прибыли в результате заболеваемости вследствие неблагоприятных условий труда определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{чп} = B \cdot \Pi_q (P_1 - P_2), \quad (2.19)$$

где Π_q – чистая продукция на один человеко-день работы.

Эффект от роста производительности труда вследствие повышения культуры и безопасности труда рассчитывается по приросту чистой продукции и определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{nm} = \sum_{j=1}^U q_j \cdot z_j - \sum_{i=1}^m q_i \cdot z_i, \quad (2.20)$$

где q_i, q_j – количество продукции i -го, j -го видов, получаемых соответственно до и после осуществления мероприятий по улучшению условий труда;

z_i, z_j – оценка единицы i -й, j -й продукции.

Социальные эффекты и показатели социальной эффективности используются в качестве дополнительных к показателям экономического эффекта и эффективности.

2.3 Примеры выполнения заданий

Задание 1

Рассчитать годовой экономический ущерб предприятия из-за последствий, вызванных несчастным случаем на предприятии по его вине. Исходные данные приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчета задания

| Результаты несчастного случая на предприятии | Числовые значения |
|---|--------------------|
| Один работник погиб и двое потеряли трудоспособность | 1 + 2 |
| Выплаты пособия двоим нетрудоспособным членам семьи погибшего | 1,5 и 2,0 млн руб. |
| Выплата пособия по временной нетрудоспособности (в течение 6 месяцев) на одного работника | 4,2 млн руб. |
| В течение года из-за болезней, обусловленных неудовлетворительными условиями труда, с данного предприятия уволилось | 12 работников |
| Стоимость обучения одного нанимаемого работника взамен выбывшего (в среднем) | 2,5 млн руб. |
| Возмещение бюджету государственного социального страхования расходов на выплату пособий по временной нетрудоспособности | 8,4 млн руб. |
| Средняя стоимость продукции, вырабатываемая сварщиком на рабочем месте в день | 75 тыс. руб. |
| Средняя заработная плата сварщика в день | 30 тыс. руб. |
| Средняя стоимость продукции, вырабатываемой временно потерявшим трудоспособность работником в день | 60 тыс. руб. |
| Средняя заработная плата временно потерявших трудоспособность работников в день | 25 тыс. руб. |

Решение

В целом экономический ущерб (Y) по предприятию от производственного травматизма и профессиональных заболеваний можно рассчитать по формуле

$$Y = \sum_{i=1}^6 Y_i + H_n.$$

Исходя из условия задачи, сумма потерь возмещения в связи с несчастными случаями, травмами, профессиональными заболеваниями рассчитывается по формуле $\sum Y = Y_1 + Y_3 + Y_6$ и составляет соответственно $Y_1 = 8,4$ млн руб.; $Y_3 = 1,5 + 2,0 = 3,5$ млн руб.; $Y_6 = 12 \cdot 2,5 = 30$ млн руб. $\sum Y = 8,4 + 3,5 + 30 = 41,9$ млн руб.

Условная стоимость недополученной продукции в целом по предприятию может быть определена путем суммирования стоимости недополученной на каждом рабочем месте, где отсутствовал работник по причине получения травмы или профессионального заболевания по формуле (2.5)

$$H_n = \sum_{j=1}^n D_j \cdot C_j + \sum_{j=1}^n D_j \cdot Z_j \cdot \eta,$$

где n – число рабочих мест на предприятии, на которых выполнялась работа по причине отсутствия работника ($n = 1$);

D_j – число потерянных на рабочем месте j трудовых дней по причине нетрудоспособности работника ($D = 33$ дня);

C_j – средняя стоимость продукции, вырабатываемой работником на рабочем месте j в день, руб. ($C = 60$ тыс. руб. в день для работника и $C = 75$ тыс. руб. в день для сварщика);

Z_j – среднедневная заработная плата одного работающего на рабочем месте, руб. ($Z = 25$ тыс. руб. в день для работающего и $Z = 30$ тыс. руб. в день для сварщика);

η – коэффициент стоимости прибавочного продукта, создаваемого в день на рабочем месте по отношению к среднедневной заработной плате, зависит от отрасли и вида предприятия, в среднем принимается равным 1,4–1,5.

$$H_n = 2(33 \cdot 60 + 33 \cdot 25 \cdot 1,4) + (33 \cdot 75 + 33 \cdot 30 \cdot 1,4) = 10,131 \text{ млн руб.};$$

$$Y = 41,9 + 10,131 = 52,031 \text{ млн руб.}$$

Таким образом, годовой экономический ущерб предприятия из-за последствий, вызванных несчастным случаем по вине предприятия, составил 52,031 млн руб.

Задание 2

1 Рассчитать затраты на мероприятия по охране труда (предзатраты) с равными значениями годовых эксплуатационных расходов и капитальным вложением по годам, если известно, что эксплуатационные расходы на трудоохраняемые предприятия составили 35 млн руб., а капитальные вложения – 70 млн руб. (таблица 2.2).

2 Рассчитать суммарные затраты с учетом фактора времени (в течение пяти лет), если известно, что капитальные вложения в трудоохранные мероприятия, производящиеся в пятом году снизились до 50 млн руб., а текущие расходы – до 20 млн руб.

Таблица 2.2 – Текущие капитальные вложения

| Вид затрат | Числовые значения, млн руб. |
|---|-----------------------------|
| Эксплуатационные расходы по годам | 35 |
| Капитальные вложения | 70 |
| Эксплуатационные расходы в пятом году пятилетнего плана | 20 |
| Капитальные вложения в пятом году пятилетнего плана | 50 |

Решение

Затраты на мероприятия по охране труда определяем по формуле (2.6):

$$Z = 35 + 0,08 \cdot 70 = 40,6 \text{ млн руб.}$$

Таким образом затраты на мероприятия по охране труда с равными значениями годовых эксплуатационных расходов и капитальным вложением по годам составили 40,6 млн руб.

Суммарные затраты определяем по формуле (2.7):

$$Z_{\text{сум}} = 4 \left(\frac{35 + 70}{1 + 0,1^5} \right) + \left(\frac{20 + 50}{1 + 0,1^5} \right) = 304,34 \text{ млн руб.}$$

За пять лет они составили 304,34 млн руб.

Задание 3

1 Оценить экономический эффект и общую экономическую эффективность трудоохранных затрат при известных текущих затратах и капитальных вложениях, определив годовое экономическое воздействие, а также данных, изложенных в таблице 2.3.

2 Определить эффективность капитальных вложений в трудоохранные мероприятия, дающие ежегодный экономический эффект, используя вышеизложенные результаты.

3 Определить срок окупаемости капитальных вложений в трудоохранные мероприятия и сделать вывод об эффективности этих капитальных вложений.

Таблица 2.3 – Исходные данные для расчета экономического эффекта и общей экономической эффективности трудоохранных мероприятий

| Исходные данные | Числовые значения |
|--|-------------------|
| Величина ущерба до проведения трудоохранных мероприятий | 150 млн руб. |
| Величина остаточного ущерба после осуществления мероприятий | 30 млн руб. |
| Количество продукции одного вида, полученной до улучшения условий труда | 330 шт. |
| Количество продукции одного вида, полученной после улучшения условий труда | 440 шт. |
| Стоимость единицы продукции одного вида | 3,0 тыс. руб. |
| Капитальные вложения | 70 млн руб. |

Решение

Экономический эффект, рассчитываем по формуле (2.10):

$$\mathcal{E} = \Pi + Д.$$

Величина годового предотвращенного экономического ущерба от плохих условий труда определяется по формуле (2.11) и составляет

$$\Pi = 150 - 30 = 120 \text{ млн руб.}$$

Таким образом, величина годового предотвращенного ущерба от плохих условий труда составляет 120 млн руб.

Годовой прирост дохода от улучшения производственных результатов может быть определен по формуле (2.12):

$$Д = 440 \cdot 3,0 - 330 \cdot 3,0 = 330 \text{ тыс. руб.}$$

Следовательно, годовой прирост от улучшения производственных результатов составил 330 тыс. руб.

Экономический эффект будет равен

$$\mathcal{E} = 0,330 + 120 = 120,330 \text{ млн руб.}$$

Эффективность капитальных вложений в трудоохранные мероприятия, дающие ежегодный экономический эффект, рассчитывается по формуле (2.13)

$$\mathcal{E}_k = \frac{120,33 - 35}{70} = 1,219.$$

Таким образом, получили коэффициент эффективности затрат, равный 1,219. Его необходимо сравнить с нормативным показателем ($E_n = 0,03$). Так как $\mathcal{E}_k > E_n$, то капитальные вложения можно считать эффективными.

Срок окупаемости капитальных вложений вычисляем по формуле (2.14):

$$T = \frac{1}{1,219} = 0,82 \text{ года.}$$

Полученный срок окупаемости капитальных вложений составляет 0,82 года, следовательно, так как он меньше нормативного ($T_n = 12,5$ лет), такие капитальные вложения считаются эффективными.

Задание 4

Рассчитать социальный эффект и социальную эффективность, выраженные через экономические показатели, используя как ранее полученные результаты, так и данные из таблицы 2.4.

Таблица 2.4 – Дополнительные исходные данные для расчета социального эффекта и социальной эффективности

| Исходные данные | Числовые значения |
|---|-------------------|
| Количество больных | 12 человек |
| Средний размер пособия (оплата больничных) | 300 тыс. руб. |
| Количество человеко-дней работы на одного работника до проведения трудовых мероприятий | 18 |
| Количество человеко-дней работы на одного работника после проведения трудовых мероприятий | 14 |
| Число больных, лечившихся амбулаторно от заболеваний, обусловленных условиями труда | 5 |
| Число больных, лечившихся стационарно | 7 |
| Среднее количество дней лечения одного больного в поликлинике | 14 |
| Среднее количество дней лечения одного больного в стационаре | 18 |
| Средние затраты на лечение одного больного в поликлинике | 200 тыс. руб. |
| Средние затраты на лечение одного больного в стационаре | 800 тыс. руб. |
| Чистая продукция на один человеко-день работы | 440 тыс. руб. |
| Количество продукции одного вида, полученной до улучшения условий труда | 330 |
| Количество продукции одного вида, полученной после улучшения условий труда | 440 |
| Стоимость единицы продукции одного вида | 3,0 тыс. руб. |

Решение

Социальный эффект \mathcal{E} определяем по формуле (2.16):

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{cc} + \mathcal{E}_{zl} + \mathcal{E}_{qn} + \mathcal{E}_{nm}.$$

Эффект от сокращения выплат из фонда социального страхования рассчитываем по формуле (2.17):

$$\mathcal{E}_{cc} = 12 \cdot 0,3 (18 - 14) = 14,4 \text{ млн руб.}$$

Получили, что эффект от сокращения выплат из фонда социального страхования составляет 14,4 млн руб.

Эффект от сокращения затрат на лечение работников рассчитываем по формуле (2.18):

$$\mathcal{E}_{зл} = 5 \cdot 14 \cdot 0,2 + 7 \cdot 18 \cdot 0,8 = 114,8 \text{ млн руб.}$$

Получили, что эффект от сокращения затрат на лечение работников составил 114,8 млн руб.

Эффект от сокращения потерь чистой прибыли в результате заболеваемости вследствие неблагоприятных условий труда определяем по формуле (2.19):

$$\mathcal{E}_{чп} = 12 \cdot 0,44 \cdot (18 - 14) = 21,120 \text{ млн руб.}$$

Таким образом, эффект от сокращения потерь чистой прибыли в результате заболеваемости вследствие неблагоприятных условий труда составляет 21,120 млн руб.

Эффект от роста производительности труда вследствие повышения культуры и безопасности труда рассчитывается по приросту чистой продукции и определяется по формуле (2.20):

$$\mathcal{E}_{пт} = 440 \cdot 3,0 - 330 \cdot 3,0 = 330 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, эффект от роста производительности труда вследствие повышения культуры и безопасности труда составил 0,33 млн руб.

Подставляем полученные значения в формулу (2.16):

$$\mathcal{E} = 14,4 + 114,8 + 21,120 + 0,330 = 150,65 \text{ млн руб.}$$

Социальный эффект, определенный через экономические показатели, составил 150,65 млн руб.

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

3.1 Проектирование естественного освещения

Проектирование естественного освещения заключается в расчете требуемой площади световых проемов и в выборе конструкции оконных проемов или световых фонарей.

При боковом естественном освещении требуемая общая площадь световых проемов может быть определена выражением

$$100 \frac{S_o}{S_n} = \frac{e_n K_3 \eta_o}{\tau_{об} \rho_o} \cdot K_{зд}, \quad (3.1)$$

а при верхнем освещении определяется формулой

$$100 \frac{S_\phi}{S_n} = \frac{e_n K_3 \eta_\phi}{\tau_{об} \rho_o K_\phi}, \quad (3.2)$$

где S_o – требуемая площадь световых проемов при боком освещении, м²;

S_ϕ – требуемая площадь световых проемов при фонарном освещении, м²;

S_n – площадь пола помещения, м²;

e_n – нормированное значение КЕО, % (таблица А.1.1);

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий снижение КЕО и освещенности вследствие загрязнения и старения световых проемов (таблица А.1.2);

η_o – световая характеристика окон (таблица А.1.3);

η_ϕ – световая характеристика фонаря (принимается равной 1)

$K_{зд}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями (принимается равным 1–1,7);

K_ϕ – коэффициент, учитывающий тип фонаря (таблица А.1.4);

$\tau_{об}$ – общий коэффициент светопропускания (принимается равным 0,98);

ρ_o – коэффициент, учитывающий повышение КЕО благодаря свету, отраженному от поверхностей (принимается равной 1,05–1,7).

Для ориентировочного определения площади световых проемов иногда используют световой коэффициент, определяемый по формуле

$$K_{св} = \frac{S_{св}}{S_n} > \frac{1}{4} \dots \frac{1}{5}, \quad (3.3)$$

где $S_{св}$ – площадь световых проемов, м²;

S_n – площадь пола, м².

Далее, исходя из габаритов помещения и общей площади световых проемов, выбирают конструкцию, количество и размеры оконных проемов.

3.2 Проектирование и расчет искусственного освещения

Одним из наиболее распространенных и применяемых на практике является **метод коэффициента использования светового потока**, который предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей. Проектирование и расчет искусственного освещения по данному методу осуществляются в следующей последовательности:

1 *Выбираем систему освещения (общая или комбинированная), тип источника света (лампы накаливания или газоразрядные) и светильники.*

Выбор системы освещения и светильников обуславливается зрительными работами в помещении, а их размещение должно обеспечить направление световых потоков на рабочие места, ограничение ослепленности, удобство доступа к светильникам для их обслуживания и создание нормированной освещенности более экономичными средствами.

При выполнении в помещении работ I–III, IVa–в, Va разрядов следует применять систему комбинированного искусственного освещения.

Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10 % нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк при газоразрядных лампах, и не менее 75 лк при лампах накаливания.

В помещениях без естественного света освещенность рабочей поверхности, создаваемую светильниками общего освещения в системе комбинированного, следует повышать на одну ступень.

Для местного освещения в системе комбинированного следует использовать светильники с непросвечивающими отражателями. Местное освещение рабочих мест, как правило, должно быть оборудовано регуляторами освещения.

Светильники с лампами накаливания размещаются в вершинах квадратных, прямоугольных или треугольных полей, что дает наибольшую равномерность освещения.

Светильники с газоразрядными лампами (люминесцентными) рекомендуется располагать сплошными рядами или с небольшими разрывами, ориентируя ряды параллельно стенам с окнами или продольным осям помещения по длине вдоль рабочих столов или технологического оборудования.

В узких помещениях допустимо однорядное расположение светильников.

В системах производственного освещения предпочтение отдается газоразрядным лампам. Использование ламп накаливания допускается в случае невозможности или экономической нецелесообразности применения газоразрядных ламп.

Тип светильника выбирается исходя из характеристик помещения (таблица А.1.5).

2 Производим размещение светильников по высоте помещения.

Положение светильников в разрезе и на плане помещения определяется расчетной высотой подвеса светильника h_p над рабочей поверхностью и расстоянием l между соседними точечными светильниками или рядами линейных светильников с люминесцентными лампами.

Расчетная высота подвеса светильника h_p может быть определена исходя из геометрических размеров помещения в соответствии с рисунком 3.1 по формуле

$$h_p = H - (h_c + h_n), \quad (3.4)$$

где H – высота помещения, м;

h_c – расстояние светильника от перекрытия («свес» светильника), выбирается исходя из высоты помещения H , м;

h_n – высота рабочей поверхности над полом (обычно $h_n = 0,8$ м).

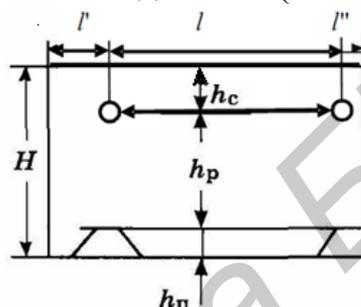


Рисунок 3.1 – Разрез помещения

3 Определяем расстояния между светильниками (рядами светильников) L по формуле

$$L = \lambda \times h_p, \quad (3.5)$$

где λ – оптимальное отношение расстояния между светильниками L к высоте их подвеса h_p (таблица А.1.6).

4 Производим размещение светильников на плане помещения. Предварительно необходимо определить расстояние от крайнего светильника (ряда светильников) до стены помещения по следующим формулам:

- если у стен расположены рабочие места

$$L_1 = (0,25 \dots 0,3) \cdot L \text{ (м)}; \quad (3.6)$$

- если у стен расположены проходы

$$L_2 = (0,4 \dots 0,5) \cdot L \text{ (м)}. \quad (3.7)$$

Оценим, сколько рядов можно разместить в помещении:

$$2 \cdot L_{1(2)} + L(n_p - 1) \leq b. \quad (3.8)$$

Следовательно,

$$n_p \leq \left[(b - 2) \cdot L_{1(2)} / L \right] + 1, \quad (3.9)$$

где n_p – количество рядов в помещении;

b – ширина помещения, м.

Определим количество светильников в ряду, учитывая, что сумма расстояний от светильников до стен и длины светильников должна быть меньше длины помещения. Количество светильников рассчитаем по формуле

$$2 \cdot L_{1(2)} + L_{св} \cdot n_{св} \leq a. \quad (3.10)$$

Следовательно,

$$n_{св} \leq (a - 2 \cdot L_{1(2)}) / L_{св}, \quad (3.11)$$

где $n_{св}$ – количество светильников в ряду;

a – длина помещения, м;

$L_{св}$ – длина светильника, м.

По полученным данным на плане помещения, вычерченном в масштабе, производится окончательное уточнение расположения светильников и их количества.

5 *Определяем коэффициент использования светового потока η в зависимости от индекса помещения, типа светильника и коэффициентов отражения потолка ρ_n , стен ρ_c и рабочей поверхности $\rho_{p.n}$ (таблица А.1.7).*

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{a \cdot b}{h_n (a + b)}, \quad (3.12)$$

где i – индекс помещения;

a и b – длина и ширина помещения, м.

6 *Производим расчет светового потока лампы, необходимого для создания на рабочих поверхностях освещенности на все время эксплуатации осветительной установки. Световой поток лампы определяется по формуле*

$$F = \frac{E_{min} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (3.13)$$

где F – световой поток одной лампы, лм;

E_{min} – нормативная минимальная освещенность, лк;

S – освещаемая площадь помещения, м²;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий запыленность светильников и износ источников света в процессе эксплуатации (см. таблицу А.1.2);

Z – коэффициент неравномерности минимальной освещенности;

N – число светильников на плане помещения;

n – число ламп в одном светильнике;

η – коэффициент использования светового потока (в долях).

Коэффициент неравномерности минимальной освещенности рассчитывается по формуле

$$Z = E_{ср} / E_{min}. \quad (3.14)$$

Рекомендуется принимать значение Z равным 1,15 для ламп накаливания и 1,1 для люминесцентных ламп.

7 *Выбираем ближайшую стандартную лампу по полученному в результате расчета требуемому световому потоку (таблица А.1.8). Допускается*

отклонение Δ светового потока лампы не более чем на $-10\dots+20$ %. Для этого выполняется проверка по формуле

$$\Delta = \frac{F_{\text{станд}} - F}{F}, \quad (3.15)$$

где $F_{\text{станд}}$ – световой поток стандартной лампы.

При невозможности выбора лампы с таким приближением корректируют количество светильников.

Помимо рассмотренного метода, расчет светового потока, необходимого для обеспечения требуемой освещенности (E_n), может также осуществляться **точечным методом** и **методом Ватт**.

3.3 Проектирование совмещенного освещения

В производственных помещениях со зрительной работой I, II, III разрядов следует устраивать совмещенное освещение.

При расчете общей площади световых проемов для естественного освещения в системе совмещенного используются нормированные значения КЕО, приведенные в таблице А.1.1 (совмещенное освещение).

В крупнопролетных сборочных цехах (аудиториях), в которых работы выполняются в значительной части объема помещения на разных уровнях от пола и на разных ориентированных в пространстве рабочих поверхностях, допускается применение верхнего естественного освещения. При этом нормированные значения КЕО (e_n) принимаются для разрядов I, II, III соответственно (10, 7 и 5 %).

Общее искусственное освещение (независимо от принятой системы освещения) в системе совмещенного освещения в производственных помещениях, предназначенных для постоянного пребывания людей, должно обеспечиваться газоразрядными источниками света.

Нормированные значения освещенности (E_n) приведены в таблице А.1.1.

Проектирование и расчет искусственного освещения в системе совмещенного освещения производится аналогично описанному выше.

3.4 Примеры выполнения заданий

Задание 1

Для освещения компьютерного зала (работа очень высокой точности, разряд IIa) с размерами $A = 18$ м, $B = 12$ м и высотой $H = 3$ м используется 20 светильников ЛПО 46 с двумя люминесцентными лампами типа ЛБ – 40 – 4. Коэффициенты отражения светового потока от потолка, стен и пола соответственно равны $\rho_n = 70$ %, $\rho_c = 50$ %, $\rho_p = 10$ %. Затенения рабочих мест нет. Высота свеса светильника $h_c = 0$, высота рабочей поверхности над уровнем пола $h_p = 0,8$ м. Определить фактическую освещенность помещения при общем равномерном освещении и сравнить с нормативной величиной.

Решение

По таблице А.1.1 находим нормативную величину освещенности для видеодисплейных терминалов $E_n = 400$ лк (помещения для работы с дисплеями, видеотерминалами).

При проверке соответствия освещенности в помещении нормативному уровню, когда известно количество светильников, ламп, их тип и мощность, фактическую освещенность в помещении определяем по формуле (3.13):

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot F_{\lambda} \cdot \eta \cdot n}{S_n \cdot K_3 \cdot Z},$$

где N – число светильников, имеет значение 20 шт.;

F_{λ} – световой поток лампы, имеет значение 3000 лм (см. таблицу А.1.8);

n – число ламп в светильнике, имеет значение 2 шт.;

S_n – площадь освещаемого помещения;

Z – коэффициент неравномерности освещения для люминесцентных ламп, равный 1,1;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности из-за загрязнения и старения лампы, имеет значение 1,5 (см. таблицу А.1.2);

η – коэффициент использования осветительной установки (см. таблицу А.1.7).

Для определения η необходимо знать тип светильника, индекс помещения и коэффициента отражения светового потока от потолка, стен и пола. Так как тип светильника и коэффициента отражения светового потока известны, то для нахождения η необходимо определить значение индекса помещения i , который определяется уравнением

$$i = \frac{A \cdot B}{h_n(A + B)},$$

где A и B – соответственно длина и ширина помещения, м;

h_n – высота от рабочей поверхности до светильника, определяется высотой помещения H (м) и высотой условной рабочей поверхности $h_p = 0,8$ м по формуле $h_n = H - h_c - h_p = 3 - 0 - 0,8 = 2,2$ м.

Подставляем полученное значение h_n в уравнение и находим индекс помещения:

$$i = \frac{12 \cdot 18}{2,2(12 + 18)} = 3,27 \text{ м.}$$

По таблице А.1.7 определяем коэффициент использования осветительной установки, который оказывается равным 69 %. Подставляем все найденные величины в формулу для определения фактической освещенности в помещении E_{ϕ} :

$$E_{\phi} = \frac{20 \cdot 3000 \cdot 0,69}{18 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 232,3 \text{ лк.}$$

Так как полученная величина $E_{\phi} < E_n$, то для достижения нормативной освещенности необходимо либо увеличить количество светильников, либо увеличить мощность ламп. Посчитаем степень увеличения W :

$$W = \frac{E_n}{E_{\phi}} = \frac{400}{232,3} = 1,72 \text{ раза.}$$

Теперь можно вычислить необходимое количество светильников:

$$N_1 = N \cdot W = 20 \cdot 1,72 = 34,4 \text{ шт.}$$

Увеличим количество светильников до 35 шт., тогда

$$E_{\phi} = \frac{35 \cdot 3000 \cdot 0,69 \cdot 2}{18 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 406,6 \text{ лк.}$$

Таким образом, при увеличении количества светильников до 35 шт. фактическая освещенность E_{ϕ} практически будет соответствовать нормативному значению освещенности E_n .

Задание 2

Рассчитать необходимую площадь окон для бокового одностороннего естественного освещения производственного участка размерами $A \cdot B = 108 \cdot 9$ м и высотой 3,8 м. Высота от уровня рабочей поверхности до верха окна $h_l = 2,4$ м. Здание находится в г. Гомель (III световой пояс). Напротив участка нет затеняющих зданий. Окна ориентированы на запад. Характер зрительной работы соответствует работе IV разряда. Коэффициент отражения потолка равен $\rho_n = 0,7$, отражения стен $\rho_c = 0,5$, пола $\rho_p = 0,1$. Расстояние расчетной точки от наружной стены $l = 6$ м, высота рабочей поверхности $h_p = 0,7$ м.

Решение

Необходимая площадь окон $S_{\text{окон}}$ вычисляется по формуле

$$S_{\text{окон}} = \frac{e_n \cdot K_z \cdot \eta_o \cdot S_{\text{пола}}}{100 \cdot \tau_{\text{общ}} \cdot \rho_o} \cdot K_{\text{зд}}, \quad (3.16)$$

где e_n – нормированное значение коэффициента естественного освещения КЕО;

K_z – коэффициент запаса;

η_o – значение световой характеристики окон;

$S_{\text{пола}}$ – площадь пола, м²;

$\tau_{\text{общ}}$ – общий коэффициент светопропускания окон (принимается равным 0,98);

$K_{\text{зд}}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями;

ρ_o – коэффициент, учитывающий повышение КЕО благодаря свету, отраженному от поверхностей (принимается равным 1,4).

Определяем значения величин, входящих в расчетную формулу.

Нормированное значение КЕО определяем из выражения:

$$\text{КЕО} = e_n = e_n^{\text{III}} \cdot m \cdot c = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 1,1 \%,$$

где e_n^{III} – значение КЕО для III светового пояса ($e_n^{III} = 1,5 \%$);

m – коэффициент светового климата ($m = 0,9$);

c – коэффициент солнечности климата, зависящий от ориентации окон по азимуту и вида организации естественного освещения (принимается равным 0,8).

Принимаем коэффициент запаса K_z равным 1,3 (он определяется периодичностью чистки стекол).

Находим отношение глубины помещения B к высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна h_1 :

$$\frac{B}{h_1} = \frac{9}{2,4} = 3,2.$$

Отношение длины помещения к его глубине

$$\frac{A}{B} = \frac{108}{9} = 12.$$

Световая характеристика окна $\eta = 0,8$.

Рассчитаем площадь потолка (пола):

$$S_n = S_{пола} = 108 \cdot 9 = 972 \text{ м}^2.$$

Поскольку затеняющие здания отсутствуют, коэффициент $K_{зд}$ принимаем равным 1.

Подставляем значения в формулу и определяем площадь окон:

$$S_{окон} = \frac{1,1 \cdot 1,3 \cdot 8 \cdot 972}{100 \cdot 0,98 \cdot 1,4} \cdot 1 = 118,2 \text{ м}^2.$$

Площадь окон составляет 118,2 м². При стандартном размере рамы 1,5×1,7 м площадь одного окна составит 2,55 м², а количество окон – соответственно 46 шт.

4 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

4.1 Гигиеническая оценка и нормирование электромагнитных полей в производственных условиях

Гигиеническая оценка заключается в измерении или расчете (при прогнозировании) ожидаемых уровней нормируемых энергетических характеристик поля (напряженностей электрической E (В/м) и магнитной H (А/м) составляющих в диапазонах высоких (30 кГц–30 МГц) и ультравысоких (30–300 МГц) частот и плотности потока энергии ППЭ (Вт/м², мкВт/см²) в диапазоне сверхвысоких частот (300 МГц–300 ГГц)) и сравнении их фактических значений на рабочих местах (в рабочей зоне) с предельно допустимыми $E_{ПД}$, $H_{ПД}$, $ППЭ_{ПД}$ в зависимости от продолжительности воздействия.

Достоверная оценка опасности и вредности электромагнитного поля (ЭМП) на производстве позволяет определить необходимость проведения профилактических мероприятий против их вредного воздействия на организм людей и применения способов и средств защиты.

Расчитанные значения нормируемых энергетических характеристик поля допускается использовать для его гигиенической оценки на планируемых производствах или объектах с источниками электромагнитных излучений, то есть для прогнозирования электромагнитной обстановки в том или ином производственном помещении или жилой зоне.

Расчетные формулы для определения E , H , ППЭ представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Формулы для определения E , H , ППЭ

| Частота ЭМП | Формулы для расчета нормируемых параметров | Обозначения |
|-----------------------|---|---|
| От 30 кГц до 300 МГц | $E = \frac{I \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \omega \cdot r^3}, \text{ В/м}$ $H = \frac{I \cdot L}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, \text{ А/м}$ | I – ток в проводнике (антенне), А; L – длина проводника (антенны), м; ε – диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м; ω – круговая частота поля, рад/с |
| От 300 МГц до 300 ГГц | $ППЭ \approx \frac{P_{изл}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \Phi_3, \text{ Вт/м}^2$ $ППЭ \approx \frac{P_{изл} \cdot g}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \Phi_3, \text{ Вт/м}^2$ | $P_{изл}$ – излучаемая мощность, Вт; r – расстояние до излучателя, м; g – коэффициент усиления антенны; Φ_3 – фактор земли, зависящий от типа передатчика и характеристики трассы |

Для одиночного прямолинейного проводника с током напряженность магнитного поля H можно определить по закону полного тока

$$H = \frac{I}{2\pi} \cdot r, \quad (4.1)$$

где I – ток, А;

r – расстояние от проводника до рассматриваемой точки, м.

Например, при токе в однофазной сети, равном 3 А, и при условии, что обратный провод находится на достаточно большом расстоянии, чтобы его полем можно было пренебречь, на расстоянии 0,05 м напряженность будет равна $H = 3/2\pi \cdot 0,05 \approx 10$ А/м, что при длительном воздействии, как считается в последнее время, представляется небезвредным.

Для электрического поля промышленной частоты (50–60 Гц) предельно допустимый уровень напряженности электрического поля, пребывание в котором не допускается без применения средств защиты, равен 25 кВ/м. В интервале от 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания t_{nd} определяется по формуле

$$t_{nd} = \frac{50}{E} - 2, \quad (4.2)$$

где E – напряженность воздействующего электрического поля в контролируемой зоне, кВ/м.

При напряженности свыше 20 кВ/м время пребывания персонала в поле не должно превышать 10 мин. Допускается пребывание персонала без средств защиты в течение всего рабочего дня в электрическом поле напряженностью до 5 кВ/м.

При нахождении персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью электрического поля допустимое время пребывания вычисляется по формуле

$$t_{nd} \geq \left(\frac{t_1}{t_{nd_1}} + \frac{t_2}{t_{nd_2}} \dots \frac{t_n}{t_{nd_n}} \right), \quad (4.3)$$

где $t_1, t_2, t_n, t_{nd_1}, t_{nd_2}, t_{nd_n}$ – фактическое и допустимое время пребывания в зонах с напряженностью E_1, E_2, E_n .

При необходимости определения напряженности электрического поля при заданном времени пребывания в нем уровень напряженности вычисляется по формуле

$$E \leq 50 / (t + 2), \text{ кВ/м}, \quad (4.4)$$

где t – время пребывания в электрическом поле, ч.

Предельно допустимое значение напряженности электрического поля внутри зданий $E_{пд} \leq 0,5$ кВ/м, а на территории зоны жилой застройки – 1000 В/м.

В диапазоне частот 300 Гц–30 кГц устанавливаются фиксированные значения предельно допустимых уровней, равные их электрической составляющей 1000 В/м (для условий шахт – 500 В/м), по магнитной составляющей – 25 А/м.

Для персонала предельно допустимое значение E и H в диапазоне частот 30 кГц–300 МГц на рабочем месте следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формулам

$$E_{пд} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{E_{пд}}}{T}}, \quad (4.5)$$

$$H_{ПД} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{Н_{ПД}}}{T}}, \quad (4.6)$$

где T (ч) – время воздействия;

$\mathcal{E}\mathcal{E}_{Е_{ПД}}$ и $\mathcal{E}\mathcal{E}_{Н_{ПД}}$ – предельно допустимые значения энергетической экспозиции в течение рабочего дня;

Предельно допустимые значения энергетической экспозиции в течение рабочего дня представлены в таблице 4.2

Таблица 4.2 – Предельно допустимые значения энергетической нагрузки

| Параметр | Предельные значения в диапазоне частот, МГц | | |
|--|---|---------------|-----------------|
| | от 0,03 до 3,0 | свыше 3 до 30 | свыше 30 до 300 |
| $\mathcal{E}\mathcal{E}_{Е_{ПД}}, (В/м)^2 \cdot ч$ | 20000 | 7000 | 800 |
| $\mathcal{E}\mathcal{E}_{Н_{ПД}}, (А/м)^2 \cdot ч$ | 200 | – | – |

Предельно допустимые значения плотности потока энергии ($ППЭ$) в диапазоне частот 300 МГц–300ГГц следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки ($\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ_{ПД}}$) равной 2 Вт·ч/м² или 200 мкВт·ч/см², и времени воздействия T (ч) по формуле

$$ППЭ_{ПД} = K \cdot \frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ_{ПД}}}{T}, \quad (4.7)$$

где K – коэффициент ослабления биологической активности, равный 1 для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн, и 10 – для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50.

В связи с широким распространением в настоящее время систем сотовой радиосвязи для пользователей мобильных телефонов значение $ППЭ_{ПД}$ равно 100 мкВт/см².

4.2 Способы и средства защиты

При выборе защиты персонала от электромагнитных излучений необходимо учитывать особенности производства, условия эксплуатации оборудования, рабочий диапазон частот, характер выполняемых работ, интенсивность поля, продолжительность облучения и др.

Для снижения интенсивности поля в рабочей зоне рекомендуется применять различные инженерно-технические способы и средства, а также организационные и лечебно-профилактические мероприятия.

В качестве инженерно-технических методов и средств применяются: экранирование излучателей, помещений и рабочих мест; уменьшение напряженности и плотности потока энергии в рабочей зоне за счет уменьшения мощности источника (если позволяют технические условия) и использование

ослабителей (аттенюаторов) мощности и согласованных нагрузок (например, эквивалентов антенн); применение средств индивидуальной защиты.

При экранировании используются такие явления, как поглощение электромагнитной энергии (ЭМЭ) материалом экрана и ее отражение от поверхности экрана. Поглощение обуславливается тепловыми потерями ЭМЭ в толще материала экрана за счет индукционных токов и зависит от его электромагнитных свойств (электрической проводимости, магнитной проницаемости и др.). Отражение обуславливается несоответствием электромагнитных свойств воздуха или другой среды, в которой распространяется электромагнитная энергия, и материала экрана (главным образом волновых сопротивлений).

Толщина экрана d из металлического листа выбирается исходя из соображений механической прочности, но не менее 0,5 мм, и должна быть больше глубины проникновения ЭМ волны в толщу экрана τ :

$$d \geq r = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}{2}}}, \quad (4.8)$$

где ω – круговая частота, рад/с ($\omega = 2\pi f$, где f – частота, Гц);

μ – магнитная проницаемость материала, Гн/м;

σ – электрическая проводимость среды, См/м.

Глубина проникновения (τ) ЭМП высоких и сверхвысоких частот очень мала (например, для меди она составляет десятые и сотые доли миллиметра), поэтому толщину экрана выбирают по конструктивным соображениям.

Большая отражательная способность металлов, обусловленная значительным несоответствием волновых сопротивлений воздуха и металла, в ряде случаев может оказаться нежелательной, так как в результате образования стоячих волн может увеличиваться интенсивность поля в рабочей зоне и влиять на режим работы генератора (излучателя). Поэтому в подобных ситуациях следует применять экраны преимущественно с малым коэффициентом отражения (1–3 %), то есть поглощающие экраны. С этой целью используются радиопоглощающие материалы в виде тонких резиновых коврик с проводящими добавками, гибких или жестких листов поролон, пропитанного соответствующим составом, ферромагнитные пластины и др.

Металлические сетки, применяемые для экранирования, обладают худшими экранирующими свойствами по сравнению с листовыми. Их обычно применяют в тех случаях, когда необходимо производить осмотр и наблюдение экранированных установок, вентиляцию и освещение экранированного пространства. Экранирующая эффективность сеток не превышает 20–30 дБ.

Требуемое ослабление поля L_{mp} и эффективность экранирования $\mathcal{E}_{ЭКР}$ определяются по формулам

$$L_{mp} = \frac{E_p}{E_{ПД}} = \frac{H_p}{H_{ПД}}, \quad (4.9)$$

$$\mathcal{E}_{ЭКР} = 20 \lg \frac{E_1}{E_2}, \text{ дБ}, \quad \mathcal{E}_{ЭКР} = 20 \lg \frac{H_1}{H_2}, \text{ дБ} \quad \text{или} \quad \mathcal{E}_{ЭКР} = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}, \text{ дБ}, \quad (4.10)$$

где $E_p, E_{ПД}, H_p, H_{ПД}$ – соответственно напряженность электрического и магнитного полей на рабочем месте и предельно допустимые их значения;

E_1, E_2, H_1, H_2 – соответственно напряженность электрического и магнитного полей до и после экранирования;

P_1, P_2 – плотность потока энергии до и после применения экрана.

На расстоянии, равном длине волны λ , ЭМП в проводящей среде почти полностью затухает, поэтому для эффективного экранирования толщина стенки экрана должна быть примерно равна длине волны в металле.

Металлические экраны за счет отражения и поглощения практически непроницаемы для ЭМ энергии радиочастотного диапазона (при $d > \lambda$, где λ – длина волны).

Применение поглощающих нагрузок и аттенуаторов позволяет ослабить интенсивность излучения электромагнитной энергии в окружающее пространство на 60 дБ и более.

Для защиты от ЭМП при работе в антенном поле, проведении испытательных и регулировочных работ на объектах, устранении аварийных ситуаций и ремонте рекомендуется использование индивидуальных средств защиты. Для защиты всего тела применяются комбинезоны, халаты и капюшоны. Их изготавливают из трех слоев ткани. Внутренний и наружный слои делают из хлопчатобумажной ткани (диагональ, ситец), а средний – защитный слой – из радиотехнической ткани, имеющей проводящую сетку. Для защиты глаз используют специальные радиозащитные очки из стекла, покрытого полупроводниковым оловом. Эффективность таких очков составляет 20–22 дБ.

Организационные мероприятия включают в себя: требования к персоналу (возраст, медицинское освидетельствование, обучение, инструктаж и т. п.); выбор рационального взаимного размещения в рабочем помещении оборудования, излучающего ЭМ энергию, и рабочих мест; установление рационального режима работы оборудования и обслуживающего персонала; ограничение работы оборудования во времени (например, за счет сокращения времени на проведение наладочных и ремонтных работ); защита расстоянием (удаление рабочего места от источника ЭМП, когда имеется возможность использовать дистанционное управление оборудованием); применение средств предупреждающей сигнализации (световой, звуковой и т. п.) и др.

Лечебно-профилактические мероприятия направлены на предупреждение заболеваний, которые могут быть вызваны воздействием ЭМП, а также на своевременное лечение персонала при их обнаружении.

Для предупреждения профессиональных заболеваний у лиц, работающих в условиях ЭМП, применяются такие меры, как предварительный (для поступающих на работу) и периодический (не реже одного раза в год) медицинский контроль за состоянием здоровья, а также ряд мер, способствующих повышению устойчивости организма человека к действию ЭМП (регулярные физиче-

ские упражнения, рационализация труда, отдыха, а также использование некоторых лекарственных препаратов и общеукрепляющих витаминных комплексов).

4.3 Примеры выполнения заданий

Задача 1

Оценить с точки зрения условий труда уровень электромагнитных излучений частотой 460 МГц, если плотность потока энергии ($ППЭ$), измеренная на рабочем месте регулировщика радиоаппаратуры, равна $0,3 \text{ Вт/м}^2$, а время, в течение которого регулировщик подвергается облучению, составляет за смену 4 ч.

Решение

Оценка уровня $ППЭ$ электромагнитного поля, воздействующего на регулировщика во время работы, осуществляется его сравнением с предельно допустимым уровнем $ППЭ_{ПД}$, который определяется по формуле (4.7):

$$ППЭ_{ПД} = 1 \frac{2}{4} = 0,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Теперь, сравнивая уровень измеренной $ППЭ$ на рабочем месте с $ППЭ_{ПД}$ ($0,3$ и $0,5 \text{ Вт/м}^2$), делаем вывод о том, что работа регулировщика в данных условиях с точки зрения вредности ЭМП допустима.

Задача 2

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

Решение

Как известно, оценка ЭМП в диапазоне от 30 кГц до 300 МГц осуществляется сравнением напряженности электрической или магнитной составляющей с предельно допустимым уровнем, который определяется по формуле (4.5):

$$E_{ПД} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{E_{ПД}}}{T}}.$$

Согласно данным таблицы 4.2 в диапазоне частот от 30 кГц до 300 МГц значение $\mathcal{E}\mathcal{E}_{E_{ПД}}$ устанавливается равным $20 \cdot 10^3 \text{ Вт}\cdot\text{ч/м}^2$. Согласно условиям задачи продолжительность облучения не превышает 5 ч.

Подставим эти данные в формулу для $E_{ПД}$ и получим

$$E_{ПД} = \sqrt{\frac{20 \cdot 10^3}{5}} \approx 63 \text{ В/м.}$$

Измеренное значение E на рабочем месте оператора, согласно условиям задачи, равно 140 В/м, из чего следует, что так как фактическое значение уровня поля превышает допустимое, то необходимы меры защиты оператора (например, сокращение продолжительности работы).

Задача 3

Оценить условия труда регулировщика радиоаппаратуры по электромагнитному фактору, если известно, что в своей работе он использует генератор СВЧ ($\lambda = 3$ см) и ПЭВМ. Измеренные значения излучаемой мощности открытого выхода на расстоянии 30 см составляет 0,2 Вт, а напряженность электрической составляющей от строчного генератора дисплея ($f = 32$ кГц) равна 40 В/м. Суммарная продолжительность пребывания регулировщика за работой в течение рабочего дня не превышает 6 ч.

Решение

По условиям задачи регулировщик подвергается облучению ЭМП с различными нормируемыми параметрами (так как различные диапазоны частот), поэтому его безопасность следует определять по критерию:

$$\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ}}{\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ_{ПД}}} + \frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_E}{\mathcal{E}\mathcal{E}_{E_{ПД}}} \leq 1.$$

$\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ}$ можно выразить из формулы (4.7):

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ} = \frac{ППЭ \cdot T}{K}.$$

Коэффициент биологического ослабления K в данном случае равен 1.

Плотность потока энергии на рабочем месте определяем по формуле из таблицы 4.1:

$$ППЭ \approx \frac{P_{изл}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}.$$

Изучаемая мощность ($P_{изл}$) на расстоянии (r) 30 см от генератора по условиям задачи составляет 0,2 Вт.

Подставив эти данные в формулу для определения $ППЭ$, получим

$$ППЭ = \frac{0,2}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,3^2} \approx 0,2 \text{ Вт/м}^2.$$

Полученное значение $ППЭ$ подставим в формулу для расчета $\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ}$:

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ} = \frac{0,2 \cdot 6}{1} = 1,2 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^2.$$

Согласно нормам $\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ_{ПД}}$ устанавливается равной $2 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Теперь определим искомое отношение:

$$\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ}}{\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ_{ПД}}} = \frac{1,2}{2,0} = 0,6.$$

Для определения энергетической экспозиции по электрической составляющей поля ($\mathcal{E}\mathcal{E}_E$) воспользуемся формулой для расчета E :

$$E = \sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}}{T}}.$$

Отсюда

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_E = E^2 \cdot T \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}.$$

По условиям задачи измеренная напряженность от дисплея на рабочем месте регулировщика (30 см) равна 40 В/м .

Подставив это значение в предыдущее выражение, получим:

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_E = 40^2 \cdot 6 = 9600 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}.$$

Предельно допустимое значение энергетической экспозиции для указанного в условиях задачи диапазона, согласно таблице 4.1 равно $20\,000 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}$.

Теперь можно определить второе отношение критерия безопасности:

$$\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_E}{\mathcal{E}\mathcal{E}_{E_{ПД}}} = \frac{9600}{20000} = 0,48.$$

Таким образом, общий критерий безопасности равен

$$\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ}}{\mathcal{E}\mathcal{E}_{ППЭ_{ПД}}} + \frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_E}{\mathcal{E}\mathcal{E}_{E_{ПД}}} = 0,6 + 0,48 = 1,08.$$

Полученное значение не удовлетворяет условиям безопасности, так как результат должен быть меньше или равен 1.

Задача 4

Обосновать необходимость применения экранирования и определить эффективность экрана нагревательного элемента высокочастотной закалочной установки, работающей в диапазоне частот до 120 кГц . Измеренное максимальное значение напряженности поля H на рабочем месте составляет $12,5 \text{ А/м}$, а продолжительность работы – 5 ч .

Решение

Для решения задачи нужно знать допустимое значение $H_{ПД}$ для указанной частоты и затем, сравнивая его с уровнем H на рабочем месте, можно увидеть, необходимы ли меры защиты, в частности экранирование, и в случае необходимости – определить их эффективность.

Согласно формуле (4.6)

$$H_{ПД} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_{H_{ПД}}}{T}}, \text{ А/м.}$$

Для данного диапазона частот $\mathcal{E}\mathcal{E}_{H_{ПД}} = 200 \text{ (А/м)}^2 \cdot \text{ч}$, а время воздействия T по условию задачи составляет 5 ч.

Подставляя в формулу эти данные, получаем

$$H_{ПД} = \sqrt{\frac{200}{5}} = \sqrt{40} \approx 6,5 \text{ А/м.}$$

По условию задачи H_{ϕ} на рабочем месте равно 12,5 А/м. Применив формулу (4.10) получим

$$\mathcal{E}_{ЭКР} \geq \frac{H_{\phi}}{H_{ПД}} = \frac{12,5}{6,5} \approx 2 \text{ раза.}$$

Полученный результат говорит о необходимости применения экранирования.

Задача 5

Определить необходимую толщину защитного экрана для снижения уровня электромагнитной энергии до допустимого (с точки зрения безопасности) значения, если длина волны ЭМП равна 3 см, а материал экрана алюминий ($\sigma = 3,54 \cdot 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{м}^{-1}$; $\mu = 4 \cdot 10^7 \text{ Гн/м}$).

Решение

Необходимая толщина экрана рассчитывается исходя из двух требований: во-первых, снижение количественных характеристик поля (например ППЭ) в экране должно быть не менее глубины проникновения волны в толщину экрана (r); во-вторых, экран должен иметь толщину не менее 0,5 мм по требованиям механической прочности. Толщина экрана определяется по формуле (4.8):

$$d \geq r = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}{2}}} \geq 0,5 \text{ мм.}$$

Круговая частота ЭМП (ω) определяется по формуле $\omega = 2\pi f$. Частота f находится с помощью выражения

$$f = \sqrt{\frac{C}{\lambda}} = \frac{300 \cdot 10^3}{3} = 10 \text{ ГГц,}$$

где C – скорость распространения света ($300 \cdot 10^3 \text{ км/с}$).

Подставляя известные данные в формулу, получаем

$$d_{\text{эк}} \geq r = \frac{1}{\sqrt{\frac{3,54 \cdot 10^7 \cdot 4 \cdot 10^7 \cdot 6,28 \cdot 1}{2}}} = 0,08 \text{ мм.}$$

Таким образом, толщину экрана выбираем не менее 0,5 мм.

5 ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

5.1 Оценка опасности поражения электрическим током

Оценка опасности электропоражения заключается в расчете (или измерении) протекающего через человека тока I_h или напряжения прикосновения U_{np} и сравнении этих величин с предельно допустимыми их значениями ($I_{h_{нд}}$ и $U_{np_{нд}}$) в зависимости от продолжительности воздействия тока.

Оценка электропоражения проводится в нормальном и в аварийном режимах работы электроустановки, то есть в режимах, при которых могут возникнуть опасные ситуации, приводящие к электротравмированию людей, взаимодействующих с установкой (например, при замыкании электропитания установки на ее корпус или другие электропроводящие части в результате нарушения изоляции).

Оценка опасности в таких случаях позволяет определить необходимость применения способов и средств защиты, а максимально возможные (или фактические) и предельно допустимые значения тока через тело человека или допустимые напряжения прикосновения служат исходными данными для их проектирования и расчета.

Максимально возможные значения тока, протекающего через тело человека при однофазном, однопроводном или однополюсном прикосновении могут быть рассчитаны по формулам, представленным соответственно в таблицах 5.1 и 5.2.

Как видно из таблицы 5.1, более безопасной трехфазной сетью при нормальном режиме ее работы, то есть при сопротивлении фазных проводов относительно земли не менее 500 кОм, при однофазном прикосновении является трехфазная сеть с изолированной от земли нейтралью.

В аварийном режиме, то есть при замыкании одной из фаз на землю через сопротивление значительно меньшее требуемого сопротивления изоляции ($r_{зи} \ll z$), используется трехфазная сеть с заземленной нейтралью: напряжение прикосновения U_{np} при однофазном прикосновении к исправной фазе трехфазной сети с изолированной от земли нейтралью равно линейному напряжению ($U_{np} = U_L$), а в сети с заземленной нейтралью при тех же условиях напряжение прикосновения всегда меньше линейного хотя и больше фазного ($U_L > U_{np} > U_\phi$).

При выборе схемы трехфазной сети (по количеству проводов) и режима ее нейтрали относительно земли (изолирована либо заземлена) руководствуются двумя требованиями: степенью опасности той или иной сети, а также ее технологичностью, то есть удобством эксплуатации потребителем электрической энергии.

По безопасности предпочтительнее трехфазная сеть с заземленной нейтралью, так как она менее опасна в аварийном режиме работы, а по технологичности – четырехпроводная сеть, так как в этом случае к сети можно подключать как трехфазных, так и однофазных потребителей энергии.

Исходя из вышеизложенного, на практике применяются следующие электрические сети:

- трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью (обычно в небольших лабораториях, производственных участках, где используются только трехфазные потребители и когда обеспечивается сопротивление изоляции фазных проводов такой сети по отношению к земле не менее 500 кОм);

- трехфазная четырехпроводная сеть с заземленной нейтралью (практически на всех предприятиях, жилых и общественных помещениях);

- трехфазная четырехпроводная сеть с изолированной нейтралью, как исключение, в передвижных установках.

При расчетах I_h по формулам, приведенным в таблицах 5.1 и 5.2, необходимо принимать Z и R при нормальном режиме работы электрических сетей напряжением до 1000 В равными 500 кОм. Сопротивление заземления нейтрали источника тока в трехфазных сетях r_0 принимается равным 2, 4 или 8 Ом в зависимости от напряжения сети (соответственно 660/380, 380/220 и 220/127 В). При расчете полного сопротивления в цепи тела человека R_{ch} , которое включает в себя сумму сопротивлений тела человека R_h , обуви $R_{об}$ и основания (пола или грунта), на котором стоит человек $R_{ос}$, сопротивление собственного тела человека следует принимать равным 1 кОм при напряжении прикосновения $U_{np} \geq 50$ В и 6 кОм при $U_{np} \leq 50$ В.

Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов через тело человека для нормального (неаварийного) и аварийного режимов работы электроустановок приведены в таблицах 5.3 и 5.4.

Таблица 5.1 – Формулы для расчета электрического тока, проходящего через тело человека (I_h) при однопроводном прикосновении в двухпроводных сетях переменного (50 Гц) тока

| Характеристика сети | Схема сети | Формула для расчета токов |
|--|------------|---|
| 1 Трехпроводная сеть с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы | | <p>При $R_1 = R_2 = R_3 = R$, $C_1 = C_2 = C_3 = C$</p> $I_h = \frac{3U \phi}{3R_{ch} + Z}$ <p>или в действительном виде</p> $I_h = \frac{U \phi}{R_{ch} \sqrt{1 + \frac{R(R + 6R_{ch})}{9R_{ch}^2 (1 + R^2 \omega^2 C^2)}}}$ <p>При $C_1 = C_2 = C_3 = C \rightarrow 0$ (в сетях небольшой протяженности) $Z \approx R$, тогда</p> $I_h = \frac{3U \phi}{3R_{ch} + R}$ |
| 2 Трехпроводная сеть с изолированной нейтралью при аварийном режиме работы (одна из фаз замкнута на землю через сопротивление замыкания $r_{3м}$) | | $I_h = \frac{U_{л}}{R_{ch} + r_{3м}}$ $U_{np} = U_{л}$ |
| 3 Четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью при нормальном режиме работы | | $I_h = \frac{U \phi}{R_{ch} + r_0} = \frac{U \phi}{R_{ch}}$ <p>так как $r_0 \ll R_{ch}$</p> |
| 4 Четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью при аварийном режиме работы (одна из фаз замкнута на землю) | | $U_{л} > U_{np} > U_{\phi}$ |

Таблица 5.2 – Формулы для расчета электрического тока, проходящего через тело человека (I_h) при однопроводном прикосновении в двухпроводных сетях переменного (50 Гц) и постоянного тока

| Характеристика сети | Схема включения человека в электрическую сеть | Формула для расчета тока |
|--|---|---|
| Изолированная от земли в нормальном режиме работы | | $I_h = \frac{UR_1}{(R_1R_2 + R_1R_{ch} + R_2R_{ch})}$ <p>При $R_1 = R_2 = R$:</p> $I_h = \frac{UR}{2R_{ch} + R}$ |
| Изолированная от земли в аварийном режиме работы | | $I_h = \frac{UR_1}{(R_1R_{э} + R_1R_{ch} + R_{э}R_{ch})}$ <p>где $R_{э} = \frac{R_2r_{3M}}{R_2 + r_{3M}}$</p> |
| С заземленным проводом (прикосновение к незаземленному проводу) | | $I_h = \frac{U_{\phi}}{R_{ch} + r_0}$ |
| С заземленным проводом (с прикосновением к заземленному проводу) | | $I_h = \frac{U_{ab}}{R_{ch} + r_0} = \frac{I_{паб}R_{ab}}{R_{ch} + r_0}$ |

Примечание – В таблицах 5.1 и 5.2 приняты следующие обозначения: R_1, R_2, R_3 – активные сопротивления изоляции фазных проводов по отношению к земле; C_1, C_2, C_3 – электрические емкости фазных проводов по отношению к земле; Z – реактивное сопротивление фазных проводов по отношению к земле ($Z = R + 1/j\omega C$, где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота); U_{ϕ} – фазное напряжение; $U_{л}$ – линейное напряжение; R_{ch} – полное сопротивление в цепи тела человека; U – напряжение двухпроводных сетей переменного и постоянного тока.

Таблица 5.3 – Предельно допустимые значения прикосновения U_{npnd} и тока через тело человека I_{hnd} , при нормальном (неаварийном) режиме работы установок

| Род и частота тока | Наибольшие допустимые значения (нормальный режим) | |
|--------------------|--|----------------|
| | U_{npnd} , В | I_{hnd} , мА |
| Переменный, 50 Гц | 2 | 0,3 |
| Переменный, 400 Гц | 3 | 0,4 |
| Постоянный | 8 | 1,0 |

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

Таблица 5.4 – Предельно допустимые значения напряжения прикосновения U_{npnd} и тока через тело человека I_{hnd} , при аварийном режиме работы установок

| Род и частота тока | Нормируемая величина | Предельно допустимые значения при продолжительности воздействия, с | | | | | | |
|--------------------|----------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| | | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | Более 1 |
| Переменный, 50 Гц | U_{npnd} , В | 500 | 250 | 125 | 85 | 65 | 50 | 42 |
| | I_{hnd} , мА | 500 | 250 | 125 | 85 | 65 | 50 | 6 |
| Переменный, 400 Гц | U_{npnd} , В | 500 | 500 | 250 | 170 | 130 | 100 | 42 |
| | I_{hnd} , мА | 500 | 500 | 250 | 170 | 130 | 100 | 8 |
| Постоянный | U_{npnd} , В | 500 | 400 | 300 | 240 | 220 | 210 | 50 |
| | I_{hnd} , мА | 500 | 400 | 300 | 240 | 220 | 210 | 15 |

5.2 Способы и средства обеспечения электробезопасности

Для защиты от поражения электрическим током при эксплуатации различного технологического оборудования, использующего электрическую энергию, применяется ряд технических методов (способов), основными из которых являются: применение малых напряжений для электропитания технических установок, оборудования и ручного инструмента; электрическое разделение сетей; защитное заземление; зануление; использование устройства защитного отклонения (УЗО) и др.

Применение малых напряжений в пределах максимально допустимых значений для электропитания приборов, электрифицированного ручного инструмента и установок является наиболее эффективным способом обеспечения

электробезопасности. Поэтому в тех случаях, где это возможно, необходимо использовать более низкие напряжения, не превышающие $U_{прод}$.

С этой целью для электропитания переносных установок и ручного инструмента (электрические дрели, гайковерты, электрические паяльники и др.) допускаются следующие *максимальные* значения напряжения в зависимости от места работы (вид помещения по опасности поражения электрическим током, наружные условия и др.):

- 220 В (50 Гц) при использовании установок в помещениях без признаков повышенной и особой опасности поражения электрическим током;

- 42 В (50 Гц) в помещениях с наличием признаков повышенной опасности поражения электрическим током и при работах в наружных условиях. В таких условиях работы допускается использовать инструмент (переносные установки) до 220 В, но с обязательным применением основных и дополнительных изолирующих средств;

- 42 В (50 Гц) в помещениях с наличием признаков особой опасности с обязательным применением основных и дополнительных изолирующих средств.

Для электропитания переносных светильников допускаются следующие максимальные значения напряжений:

- 42 В (50 Гц) в помещениях с наличием признаков повышенной и особой опасности;

- 12 В (50 Гц) – при работах в особо опасных и неблагоприятных условиях.

К признакам повышенной опасности поражения электрическим током в производственных помещениях относятся: наличие в помещении токопроводящих полов (земляные, металлические, железобетонные, кирпичные и т. п.); поддержание в помещении длительное время (более 2 часов) температуры воздуха равной 25 °С и более, а также относительной влажности равной 75 % и более; наличие в воздухе токопроводящей пыли; наличие возможности одновременного прикосновения с одной стороны к корпусам и другим частям оборудования, на которых может оказаться напряжение, и к каким-либо заземленным конструкциям здания, другого оборудования – с другой.

К признакам особой опасности помещений относятся: наличие в помещении двух или более признаков повышенной опасности; наличие в воздухе помещения химически агрессивной среды; поддержание в помещении высокой относительной влажности, близкой к 100 %. В качестве источников малого (низкого) напряжения применяются гальванические элементы, выпрямители, преобразователи частоты (для уменьшения массы ручного инструмента на частоте 200 или 400 Гц), понижающие трансформаторы и др. Использование с этой целью автотрансформаторов не допускается, так как в этом случае сохраняется гальваническая связь автотрансформатора с электрической сетью, а значит и опасность электропоражения при замыкании («пробое») напряжения электропитания на корпуса или другие части таких устройств.

Электрическое разделение сетей заключается в использовании разделительных трансформаторов, с помощью которых сети большой протяженности или сети, имеющие большое количество ответвлений разделяются на отдельные небольшие сети того же напряжения. Электрическое разделение сетей позволяет обеспечить сопротивление фазных проводов по отношению к земле достаточно большим (больше или равно 500 кОм в сетях до 1000 В) и тем самым обеспечить их безопасность при однофазном прикосновении.

Защитное заземление представляет собой преднамеренное электрическое соединение металлических частей оборудования (например корпусов), которые могут оказаться под напряжением в результате нарушения изоляции токоведущих частей оборудования (и по другим причинам), с землей посредством заземляющего устройства (рисунок 5.1). На рисунке R_3 – сопротивление заземляющего устройства (заземления).

Принцип действия защитного заземления заключается в уменьшении опасности электропоражения за счет снижения напряжения на заземленном корпусе (или других частях) при замыкании на него (или другие части оборудования) питающего напряжения до значения $U_K = I_3 \cdot R_3$ (где I_3 – ток, протекающий через заземлитель; R_3 – сопротивление защитного заземления) и выравнивания или снижения разности потенциалов между корпусом установки и землей за счет подъема потенциала земли (основания, на котором стоит человек), возникшего в результате растекания в нем тока.

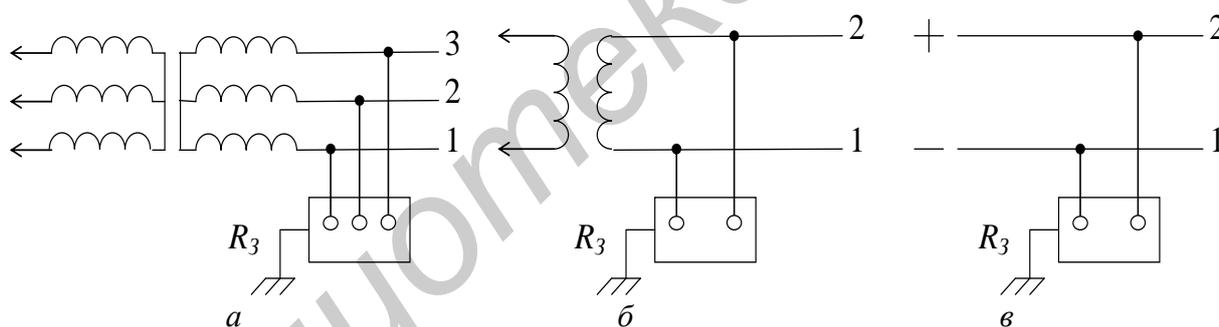


Рисунок 5.1 – Электрическая схема заземления при электропитании установки от трехфазной сети (а) и двухпроводных сетей переменного (б) и постоянного (в) тока

Таким образом, напряжение, действующее на человека в данном случае (напряжение прикосновения) будет равно разности потенциалов на корпусе установки (потенциал рук, φ_p) и на основании (потенциал ног, φ_n):

$$U_{np} = \varphi_p - \varphi_n = \varphi_p \left(1 - \frac{\varphi_n}{\varphi_p} \right). \quad (5.1)$$

Так как потенциал рук равен напряжению на корпусе, то напряжение прикосновения при заземленном корпусе станет равно

$$U_{np} = I_3 \cdot R_3 \cdot \alpha_1, \quad (5.2)$$

где α_1 – коэффициент напряжения прикосновения, равный $1 - \frac{\varphi_n}{\varphi_p}$; он зависит от разности потенциалов на корпусе установки и основании (земле).

В связи с тем что потенциал на поверхности грунта уменьшается в зависимости от расстояния до заземлителя (места стекания тока в землю) по гиперболическому закону, по мере удаления от места заземления разность потенциалов между корпусом и основанием будет увеличиваться и в зоне электротехнической земли (расстояние около 15–20 м), где потенциал на основании (поверхности грунта) приблизительно равен нулю. Таким образом, разность потенциалов станет равной напряжению на корпусе (рисунок 5.2). В этом случае коэффициент напряжения прикосновения $\alpha = 1$, а напряжение прикосновения вычисляется по формуле

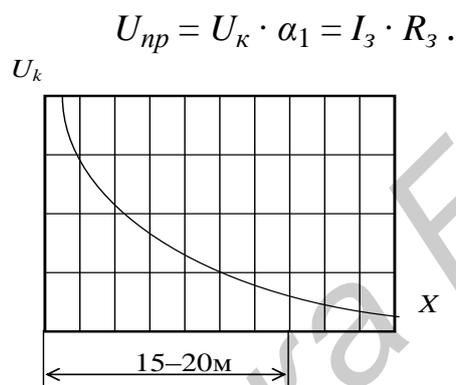


Рисунок 5.2 – Гиперболический закон распределения потенциала на основании земли в зависимости от расстояния (X) до заземлителя

Зона, в пределах которой потенциалы на поверхности грунта не равны нулю, называется *зоной растекания тока*.

Для того чтобы обеспечить достаточно безопасное значение напряжения прикосновения, то есть не более 42 В, при длительности воздействия $t > 1$ с, необходимо, как видно из выражения $U_{np} = I_3 \cdot R_3$, уменьшать значение сопротивления заземляющего устройства R_3 . Так как ток, протекающий через заземлитель I_3 , не может быть более 10 А в сетях напряжением до 1000 В, то R_3 должно быть не более 4 Ом. Допускается значение, равное 10 Ом, при суммарной мощности источников напряжения сети до 100 кВ·А.

Чтобы получить заземление, обеспечивающее безопасность, то есть напряжение прикосновения не более 42 В, применяют сложные групповые заземлители.

Заземлению подлежат корпуса и другие части электрооборудования, на которых может оказаться напряжение: во всех случаях при величине номинального напряжения электропитания 380 В переменного тока и 440 В постоянного тока и выше; при номинальных напряжениях, равных 42 В (50 Гц) и выше, и 110 В в помещениях с признаками повышенной и особой опасности, а также в

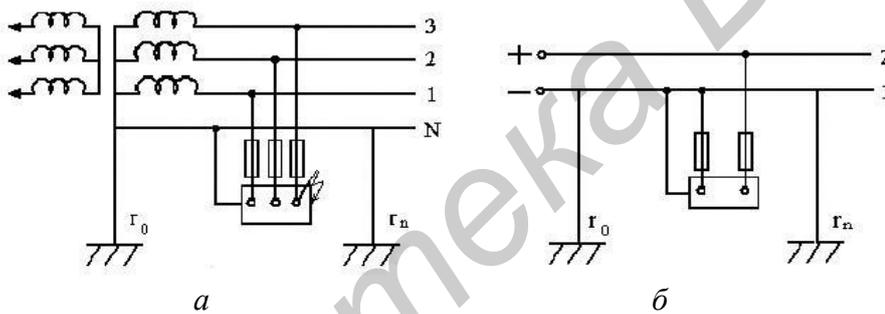
наружных условиях; во взрывоопасных помещениях при любых значениях постоянного и переменного напряжения.

Конструктивно заземляющее устройство состоит из вертикальных электродов, которые соединяются между собой горизонтальным электродом (полосой).

Зануление представляет собой преднамеренное электрическое соединение с неоднократно заземленным защитным проводником сети нетокопроводящих частей оборудования (например, металлического корпуса), которые могут оказаться под напряжением в результате замыкания электропитания на эти части или корпус.

При наличии зануления опасность электропоражения при прикосновении к зануленным частям (корпусу) оборудования и при замыкании на них питающего напряжения сети устраняется отключением оборудования от сети в результате срабатывания отключающего устройства (например, перегорания плавкой вставки предохранителя), вызванного большим током короткого замыкания.

Так, при замыкании фазы 3 на зануленный корпус установки образуется цепь короткого замыкания третьей фазы, а возникший большой ток в этой цепи приведет к перегоранию плавкой вставки и отключит поврежденную установку от сети (рисунок 5.3).



a – в трехфазной трехпроводной сети с заземленной нейтралью; *б* – в двухпроводной сети постоянного тока с заземленным полюсом

Рисунок 5.3 – Электрическая схема зануления

Так как плавкие предохранители и автоматические выключатели с тепловой защитой срабатывают в течение нескольких секунд, то для снижения напряжения, действующего на человека в течение этого времени, обязательно применение повторного заземления защитного проводника. При этом напряжение прикосновения уменьшится до значения

$$U_{np} = I_{r_{повт}} \cdot r \cdot \alpha_1, \quad (5.3)$$

где $I_{r_{повт}}$ – ток, протекающий через повторное заземление;

α_1 – коэффициент напряжения прикосновения.

Для надежной работы зануления необходимо обеспечить следующие требования:

а) ток короткого замыкания $I_{к.з}$ должен в несколько раз превышать номинальный ток I_n срабатывания защиты, то есть

$$I_{к.з} \geq k \cdot I_n, \quad (5.4)$$

где k – коэффициент кратности. Для плавких предохранителей он выбирается равным 3 (во взрывоопасных помещениях – 4). При использовании автоматических выключателей $k \geq 1,25$ (для автоматов с номинальным током до 100 А $k \geq 1,4$);

б) полная проводимость защитного проводника должна составлять не менее 50 % проводимости фазных проводов;

в) запрещается установка в зануляемый проводник предохранителей и выключателей;

г) для уменьшения опасности поражения персонала током, возникающей при обрыве защитного проводника, обязательно применение повторного его заземления. Сопротивление повторных заземлений не должно превышать 5, 10 или 20 Ом при напряжениях в сети соответственно 660/380, 380/220 и 220/127 В;

д) зануление однофазных потребителей должно осуществляться специальным проводником (или жилой кабеля), который не может одновременно служить проводником для рабочего тока. Его сопротивление, как и заземляющего проводника при защитном заземлении, не должно превышать 0,1 Ом.

Зануление применяется только в сетях с заземленной нейтралью (или заземленным полюсом и проводом в двухпроводных сетях), так как в противном случае при аварийном режиме работы сети, когда одна из фаз сети замыкает на землю через незначительное сопротивление $r_{з.м}$, человек, касающийся корпуса зануленной установки окажется под фазным (в трехфазных сетях), а при пробое питающего напряжения (одной фазы) на корпус (до срабатывания защиты) – под линейным напряжением (рисунок 5.4).

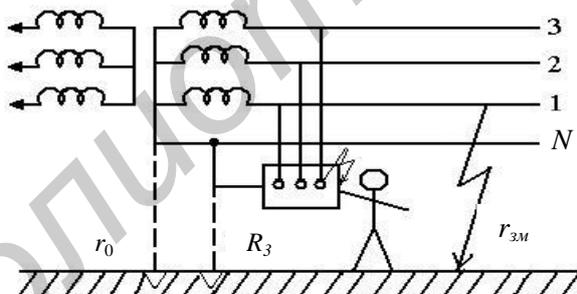


Рисунок 5.4 – Схема зануления в трехфазной сети с изолированной нейтралью

При заземленной нейтрали в аварийном состоянии сети и нормальном режиме установки напряжение, действующее на человека (U_{np}) без учета повторного заземления, будет равно

$$U_{np} = I_{r_0} \cdot r_0 = \frac{U_{\phi}}{r_{з.м} + r_0} \cdot r_0,$$

что значительно ниже U_{ϕ} .

Применение защитного заземления в сетях с заземленной нейтралью (заземленным полюсом или проводом в двухпроводных сетях) малоэффективно, так как при замыкании питающего напряжения (одной фазы в трехфазных се-

тях) на корпус напряжение на нем по отношению к земле достигнет значения, превышающего или равного половине фазного (в трехфазных сетях при $R_3 = r_0$):

$$U = I_3 \cdot R_3 = \frac{U_\phi}{R_3 + r_0} \cdot R_3.$$

В этом случае ток замыкания на землю I_3 через защитное заземление R_3 будет недостаточен для срабатывания защиты (см. рисунок 5.4).

Защитное отключение представляет собой устройство, автоматически отключающее установку или участок электрической сети при возникновении в них опасности поражения человека электрическим током.

Такая опасность может возникнуть при замыкании электропитания установки на ее корпус, снижении сопротивления изоляции проводов электрической сети относительно земли ниже допустимого значения, появлении в сети более высокого напряжения, при прикосновении человека к токоведущим частям при выполнении работ под напряжением и т. п. При этом происходит изменение некоторых электрических параметров сети или электроустановки. Например, могут измениться напряжение корпуса установки относительно земли, ток замыкания с корпуса на землю, напряжение фаз относительно земли и т. п.

Эти изменения параметров используются в устройствах защитного отключения (УЗО) как входные сигналы, вызывающие срабатывание этих устройств и автоматическое отключение установки или опасного участка электрической сети от питающего напряжения. Эти сигналы называются уставкой.

В зависимости от того, что является уставкой, применяются следующие схемы УЗО:

- на напряжении корпуса относительно земли;
- токе замыкания на землю;
- токе нулевой последовательности;
- напряжении нулевой последовательности и др.

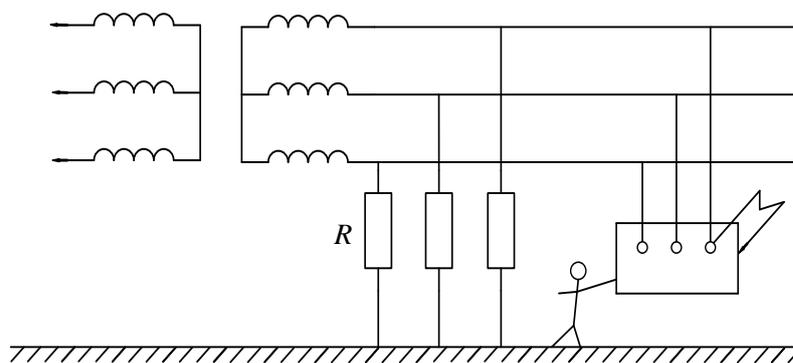
5.3 Примеры выполнения заданий

Задача 1

Оценить опасность поражения электрическим током человека, стоящего на бетонном полу в кожаной обуви, при однофазном прикосновении и незаземленному корпусу установки в аварийном ее состоянии (полное замыкание фазы на корпус), питающейся от трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью в нормальном режиме работы. Исходные данные: $U_c = 380/220$ В; $R > 500$ кОм; $C_1 = C_2 = C_3 = 0$;

Решение

- 1 Представим на схеме указанные условия.



2 Так как опасность электропоражения оценивается величиной тока, протекающего через тело человека, то искомую величину можно определить по формуле (см. таблицу 5.1, пункт 1);

$$I_h = 3U_\phi / (3R_{ch} + R), \text{ А,}$$

где U_ϕ – фазное напряжение сети (220 В);

$$R_{ch} = R_h + R_{об} + R_{oc};$$

$$R_h = 1 \text{ кОм}; R_{об} = 100 \text{ кОм}; R_{oc} = 0,9 \text{ кОм.}$$

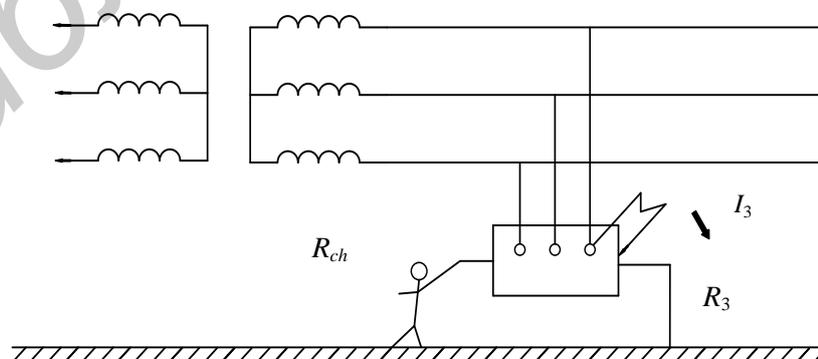
Подставив данные в формулу, получим

$$I_h = 3 \cdot 220 / (3(1 + 0,9 + 100) + 500) = 0,8 \text{ мА.}$$

3 Чтобы оценить опасность поражения этим током, необходимо знать предельно допустимое значение тока. Согласно таблице 5.4 его значение равно 6 мА (при продолжительности воздействия более 1 с). Таким образом, указанное прикосновение малоопасно.

Задача 2

Рассчитать ток, проходящий через человека, стоящего на мокром полу в обуви с кожматовой подошвой и касающегося заземленного корпуса установки, находящегося в аварийном режиме (схема, представленная ниже). Установка питается трехфазным напряжением от сети с изолированной нейтралью. Сделать вывод относительно опасности такого прикосновения. Исходные данные: $U_c = 380/220 \text{ В}$.



Решение

1 Для определения тока, проходящего через человека, необходимо знать напряжение прикосновения, действующее в данной ситуации на человека:

$$U_{np} = I_3 \cdot R_3, \text{ В,}$$

где I_3 – ток, проходящий через заземлитель.

Ток проходящий через заземлитель определяется по формуле

$$I_3 = 3U_{\phi}/(3R_3 + R), \text{ А,}$$

где R_3 – сопротивление заземлителя (оно не должно превышать 4 Ом в сети с указанными напряжением и мощностью);

R – сопротивление изоляции (в нормальном режиме работы сети оно не должно опускаться ниже 500 кОм).

2 Ток, проходящий через человека, определяется по формуле $I_h = U_{np}/R_{ch}$, где $R_{ch} = R_h + R_{oc} + R_{об}$ ($R_h = 1$ кОм; $R_{oc} = 0,1$ кОм; $R_{об} = 0,5$ кОм).

Таким образом,

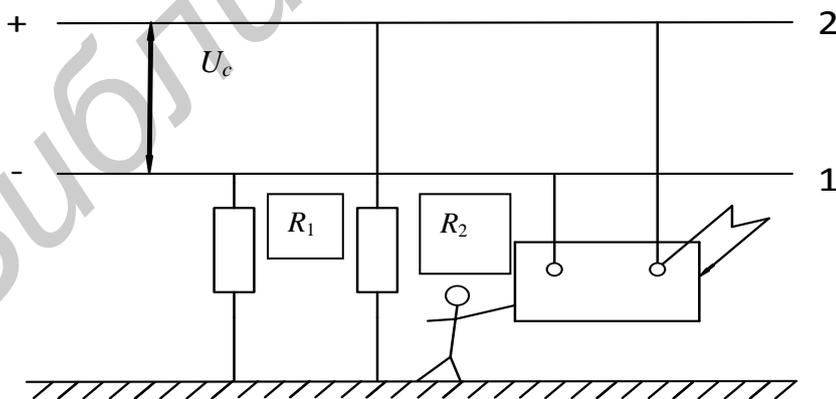
$$R_{ch} = 1 + 0,1 + 0,5 = 1,6 \text{ кОм.}$$

Тогда $I_h = 3U_{\phi}R_3/(3R_3 + R)R_{ch} = 3 \cdot 220 \cdot 4/(3 \cdot 4 + 500 \cdot 10^3) \cdot 1,6 \cdot 10^3 = 0,033 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$

3 Так как предельно допустимый ток при продолжительном воздействии (более 1 с) в заданных условиях равен 6 мА, то человеку опасность поражения током не угрожает.

Задача 3

Установить, опасно ли прикосновение человека к корпусу установки в ситуации, указанной ниже. Исходные данные: $U = 60 \text{ В}$; $R_1 = R_2 = R$. Оборудование передвижное. Человек работает в резиновой обуви на влажном торфяном грунте.



Решение

1 Чтобы ответить на поставленный в задаче вопрос, необходимо рассчитать ток через человека (или напряжение прикосновения) и сравнить с допустимыми значениями ($U_c = 60$ В).

$$2 I_h = U_c R_1 / (R_{ch}(R_1 + R_2) + R_1 R_2),$$

где R – сопротивление изоляции проводов по отношению к земле, $R > 500$ кОм;

$$R_{ch} = R_h + R_{об} + R_{oc} \quad (R_h = 1 \text{ кОм}; R_{об} = 2 \text{ кОм}; R_{oc} = 50 \text{ кОм});$$

Таким образом,

$$R_{ch} = 1 + 2 + 0,05 = 3,05 \text{ кОм}.$$

$$\text{Тогда } I_h = U_c / (2R_{ch} + R) = 60 / (0,1 + 10^3 + 500 \cdot 10^3) = 0,11 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

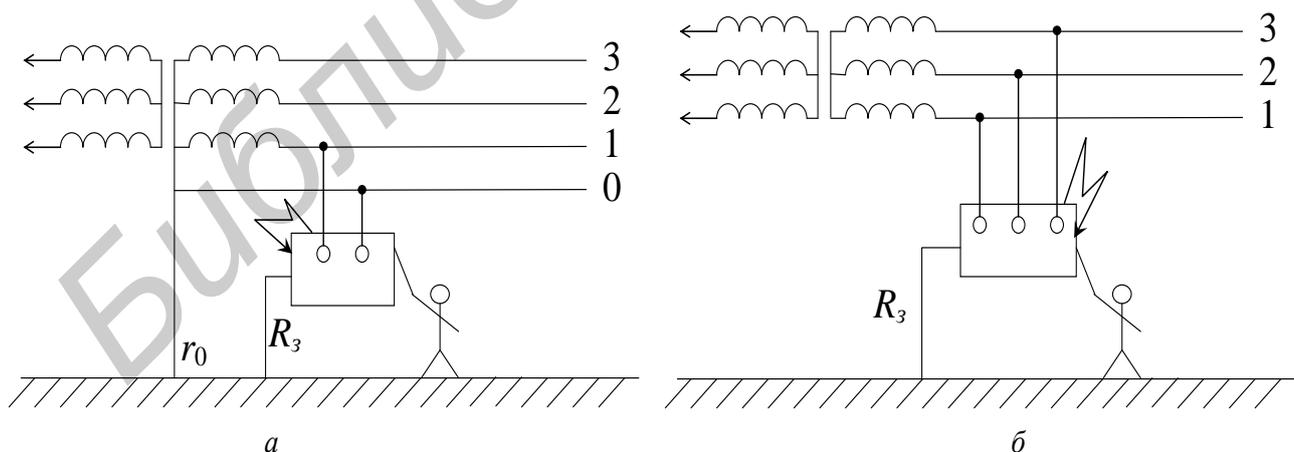
3 Таким образом, сравнив полученные значения I_h с допустимыми (6 мА), можно сделать вывод о безопасности такого прикосновения.

Задача 4

Сравнить опасность электропоражения персонала при прикосновении к поврежденной (пробой фазы на корпусе) заземленной электроустановке при питании ее от трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью и от трехфазной сети с изолированной нейтралью при следующих условиях: напряжение в сетях $U_c = 380/220$ В, сопротивление заземления установки $R_3 = 4$ Ом. Сделать вывод об эффективности защитного заземления в сетях с различным режимом нейтрали (заземленной и изолированной от земли).

Решение

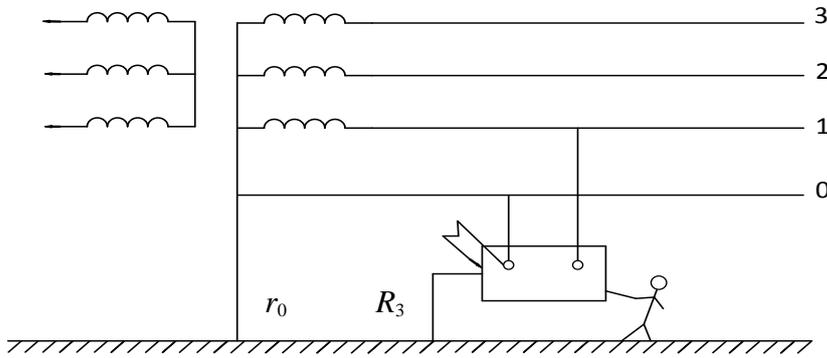
1 Представим указанные условия схематично.



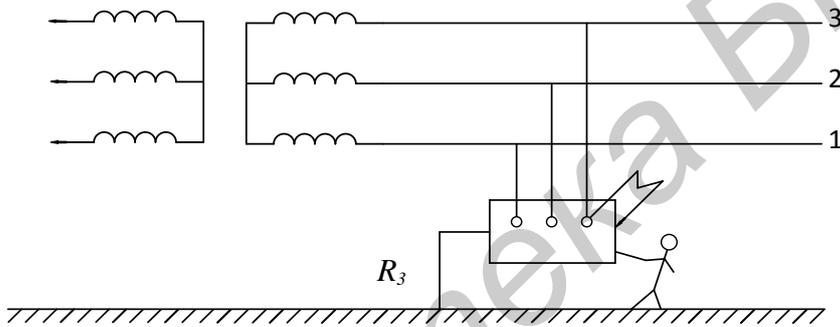
2 Для сравнения степени опасности однофазного прикосновения в указанных случаях (a , b) необходимо знать значения тока, протекающего через

человека в одном и другом случаях, либо значения напряжений прикосновения, которые соответственно равны:

- для случая *a*: $U_{np} = I_3 R_3 = U_{\phi} / R_3 + r_0 \cdot R_3 = 220 / 4 + 4 \cdot 4 = 110 \text{ В};$



- для случая *б*: $U_{np} = I_3 R_3 = 3U_{\phi} / 3R_3 + Z \cdot R_3 = 3 \cdot 220 \cdot 4 / 3 \cdot 4 + 500 \cdot 10^3 = 5,3 \cdot 10^3 \text{ В}.$



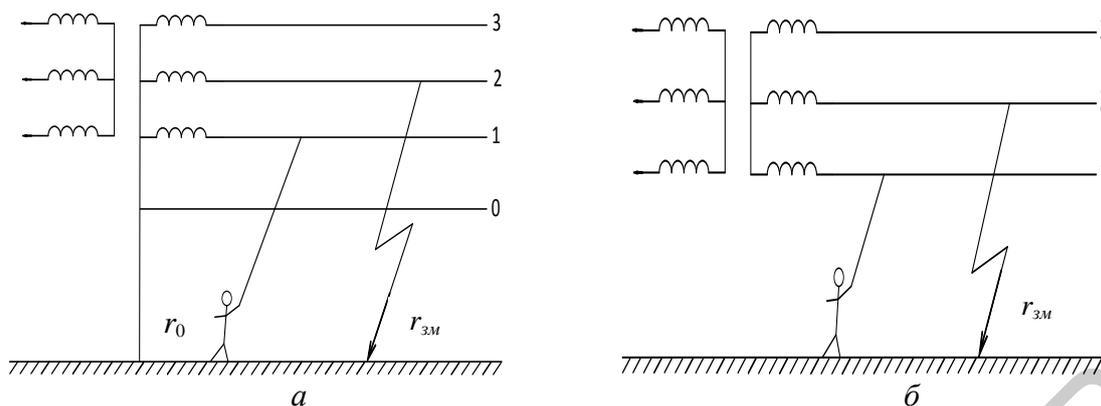
3 Вывод: как видно из результатов расчета, защитное заземление эффективно в сетях с изолированной нейтралью.

Задача 5

Сравнить значения напряжений, под действием которых окажется человек при однофазном прикосновении его к исправной фазе в трехфазной четырехпроводной сети мощностью $P_c > 100 \text{ кВА}$ с заземленной и изолированной от земли нейтралью в аварийном режиме работы (одна из фаз имеет замыкание на земле). $U_c = 330 / 220 \text{ В}; r_{zm} = 50 \text{ Ом}; Z \gg r_{zm}$ (для сети с изолированной нейтралью).

Решение

1 Представим схематично указанные условия.



2 Значения напряжений прикосновения, как видно из схем, будут равны:

- для случая *а*: $U_{\phi} < U_{np} < U_{л}$ ($220 < U_{np} < 380$);
- для случая *б*: $U_{np} = U_{л} = 380$ В (так как $r_{3м} \ll Z$).

Таким образом, в аварийном состоянии сети однофазное прикосновение всегда опаснее при отсутствии заземления нейтрали.

Задача 6

Определить необходимость применения защитных мер от поражения электротоком при использовании электродрели с металлическим корпусом при выполнении работ в подвальном помещении (вода на поверхности грунта). Напряжение питания дрели 36 В от сети, изолированной от земли.

Решение

Так как дрель эксплуатируется в помещении, особо опасном по степени поражения электрическим током, то согласно требованиям ПУЭ защита (защитное заземление, зануление) необходима при напряжениях 42 В и выше.

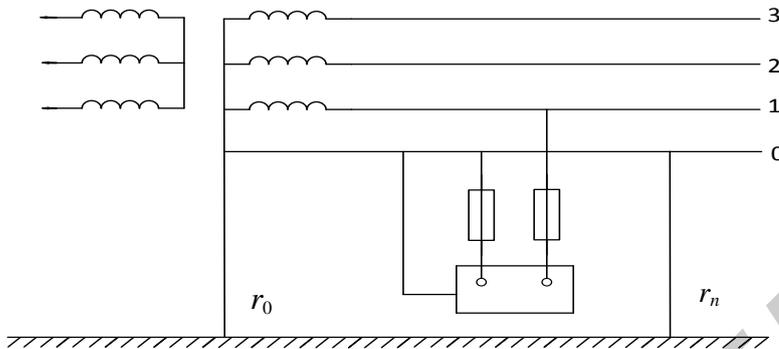
Вместе с тем предельно допустимое напряжение прикосновения при длительном воздействии (более 1 с) равно 42 В. Поэтому в данных условиях необходимо предусмотреть защитное отключение или использовать электротехнические приспособления (изолирующие средства).

Задача 7

Обосновать необходимость применения технического способа защиты от электрического тока и описать последовательность его расчета в следующих условиях: напряжение сети с заземленной нейтралью составляет 380/220 В, установка эксплуатируется стационарно в помещении с повышенной опасностью поражения электрическим током.

Решение

1 Так как установка питается от сети 380/220 В с заземленной нейтралью и эксплуатируется в помещении с повышенной опасностью поражения электрическим током, то наиболее простым и надежным способом защиты в таких условиях является зануление, схема которого представлена ниже (r_0 – заземление нейтрали источника; r_n – повторное заземление нулевого провода).



2 Проектирование и расчет зануления включает:

1) выбор средства автоматического отключения установки от сети (предохранителя, электромагнитного выключателя и т. п.);

2) расчет тока однофазного короткого замыкания $I_{кз}$, номинального тока срабатывания защиты (перегорание плавкой вставки предохранителя или вставки автоматического выключателя), I_n (исходя из потребляемой установкой мощности и коэффициента надежности $K_n = 1,1$) и проверка условия надежности работы средства автоматического отключения установки от сети, то есть $I_{кз} \geq K \cdot I_n$;

3) расчет заземляющего устройства нейтрали;

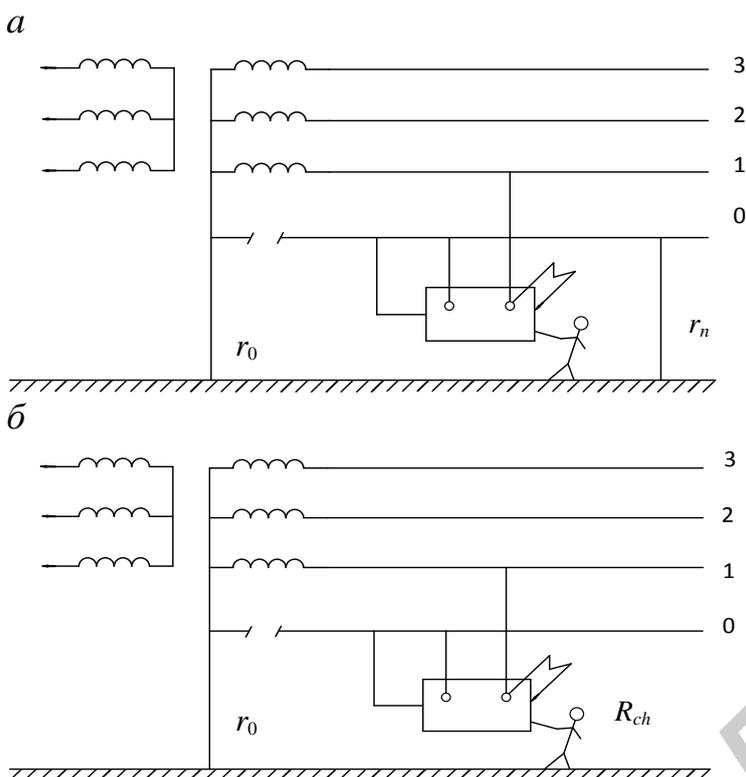
4) расчет повторного заземления нулевого провода.

Задача 8

Сделать вывод о роли повторного заземления нейтрали, сравнив значения тока, протекающего через человека, прикоснувшегося к корпусу поврежденной (пробой фазы на корпус) зануленной установки, питающейся однофазным напряжением от трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при обрыве нулевого провода со стороны источника напряжения сети при наличии и отсутствии повторного заземления нейтрали $U_c = 380/220$ В, $P_c > 100$ кВА.

Решение

Представим схематично указанные условия.



Значение токов можно определить по следующим выражениям:

$$I = U_{np}/R_{ch}; U_{np} = I_{r_n} \cdot r_n = U_{\phi}/r_n + r_0 \cdot r_n; I_h = U_{\phi}/(r_n + r_0) \cdot R_{ch}.$$

Примем $R_{ch} = R_h = 1$ Ом; $r_n = 10$ Ом; так как $U_c = 380/220$ В, то $r_0 = 4$ Ом.

Тогда $I_h = 220 \cdot 10 / (4 + 10) \cdot 1000 = 160$ мА.

$$I_h = U_{\phi} / R_{ch} + r_0 = 220 / 10^3 + 4 = 220 \text{ мА}.$$

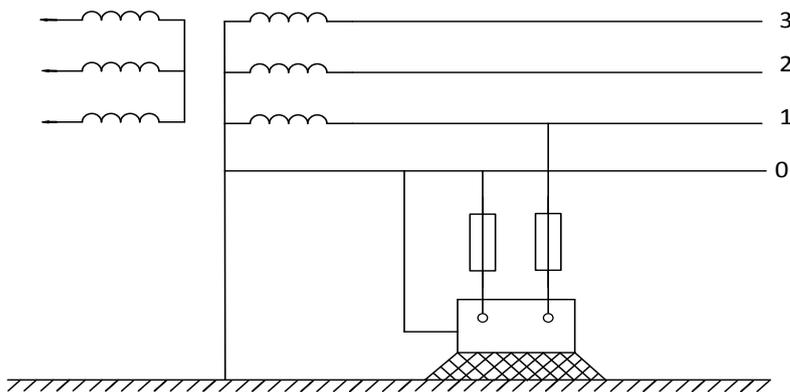
При наличии повторного заземления нейтрали (см. схематично указанное условие) опасность прикосновения человека к поврежденному корпусу невелика ($I_{ha} = 0,16$ А), а при отсутствии его ток, проходящий через человека, резко возрастает ($I_{h\bar{o}} = 220$ мА). Таким образом, повторное заземление играет важную роль по снижению опасности электропоражения до срабатывания зануления.

Задача 9

Определить номинальное значение тока плавкой вставки предохранителя установки, питающейся однофазным напряжением от трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при следующих данных: $U_c = 380/220$ В, мощность установки $N_y = 0,44$ кВт.

Решение

1 Схема заданных условий имеет представленный ниже вид.



2 Потребляемый установкой ток можно определить из соотношения

$$I_{номр} = N_y / U_\phi = 0,44 \cdot 10^3 / 220 = 2 \text{ А.}$$

Таким образом, номинальный ток плавкой вставки I_n с учетом коэффициента надежности $K_n = 1,1$ будет равен

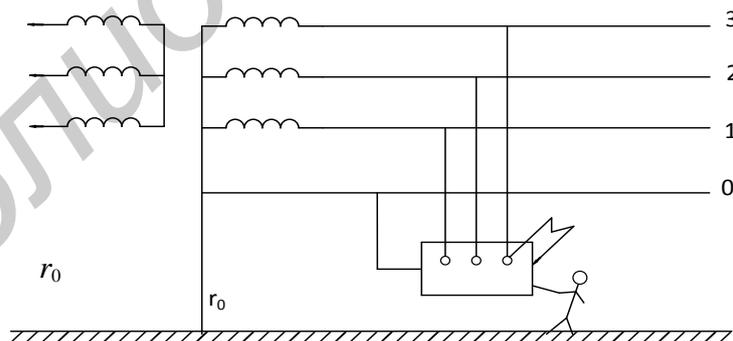
$$I_n = I_{номр} \cdot K_n = 2,2 \text{ А.}$$

Задача 10

Определить необходимое время срабатывания защиты исходя из условий безопасности, если человек прикоснулся к зануленной электроустановке (рисунок ниже), на которой произошел пробой одной из фаз трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью, $U_c = 380/220 \text{ В}$, сопротивление фазного провода приблизительно равно сопротивлению нулевого защитного провода.

Решение

1 Схема заданных условий имеет вид, представленный ниже.



2 В данном случае фактическое напряжение прикосновения $U_{np} = 110 \text{ В}$. Значит, предельно допустимое напряжение должно быть $U_{np.дон} \geq U_{np}$.

3 Согласно таблице 5.4 $U_{np.дон} = 125 \text{ В}$ допускается при продолжительности воздействия $0,4 \text{ с}$. Значит защита должна сработать в течение этого времени.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Исходные данные для проектирования и расчета производственного освещения

Таблица А.1.1 – Нормативные значения освещенности и коэффициента естественной освещенности

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Искусственное освещение | | | | Естественное освещение | | Совместное освещение | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--|-----------------------|---|--------------------|------------------------|---|-----------------------|---|----|---|---|---|----|----|--|--|
| | | | | | | Освещенность, лк | | Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации | К _п , % | КЕО e _n , % | | при боковом освещении | при верхнем или комбинированном освещении | | | | | | | | |
| | | | | | | при системе комбинированного освещения | при системе освещения | | | при боковом освещении | при верхнем или комбинированном освещении | | | | | | | | | | |
| Характеристика зрительной работы | Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм | Ряд зрительной работы | Подряд зрительной работы | Контраст объекта с фоном | Характеристика фона | всего | в том числе об-щего | при си-стеме об-щего осве-ще-ния | Р | K _п , % | 12 | 13 | 14 | 15 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | | |
| Наивысшей точности | Менее 0,15 | I | а | малый | темный | 5000 | 500 | - | 10 | 20 | 10 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 4500 | 500 | - | 10 | 10 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 4000 | 400 | 1250 | 20 | 10 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 3500 | 400 | 1000 | 10 | 10 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 2500 | 300 | 750 | 20 | 10 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 2000 | 200 | 600 | 10 | 10 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 1500 | 200 | 400 | 20 | 10 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 1250 | 200 | 300 | 10 | 10 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Продолжение таблицы А.1.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | | |
|------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| Очень высокой точности | От 0,15 до 0,30 включительно | II | а | малый | темный | 4000 | 400 | — | 20 | 10 | — | — | 4,2 | 1,5 | | | |
| | | | | | | 3500 | 400 | — | 10 | 10 | | | | | | | |
| | | | | 3000 | 300 | 750 | 20 | 10 | | | | | | | | | |
| | | | б | средний | темный | 2500 | 300 | 600 | 10 | 10 | | | | | | | |
| | | | | | | в | малый | светлый | 2000 | 200 | | | | | 500 | 20 | 10 |
| | | | | | | | | | средний | темный | | | | | 1500 | 200 | 400 |
| | | г | средний | светлый | 1000 | 200 | 300 | 20 | | | 10 | | | | | | |
| | | | | | большой | темный | 750 | 200 | 200 | 10 | 10 | | | | | | |
| | | | | | | | а | малый | темный | 2000 | 200 | 500 | 40 | 15 | | | |
| | | б | средний | темный | 1500 | 200 | | | | 400 | 20 | 15 | | | | | |
| | | | | | в | малый | средний | 1000 | 200 | 300 | 40 | 15 | | | | | |
| | | | | | | | | большой | темный | 750 | 200 | 200 | 20 | 15 | | | |
| Высокой точности | От 0,30 до 0,50 включительно | III | а | малый | светлый | 750 | 200 | | | 300 | 40 | 15 | — | — | 3,0 | 1,2 | |
| | | | | | | средний | темный | 600 | 200 | 200 | 20 | 15 | | | | | |
| | | | | б | средний | | | темный | 400 | 200 | 200 | 40 | | | | | 15 |
| | | | в | | | малый | светлый | | 400 | 200 | 200 | 20 | | | | | 15 |
| | | | | | | | | | большой | темный | 400 | 200 | | | | | 200 |
| | | | г | большой | средний | 400 | 200 | 200 | | | 40 | 15 | | | | | |

Продолжение таблицы А.1.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-------------------------------|----------------------------|---------|---------|--|---------|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|
| Средней точности | От 0,5 до 1,0 включительно | IV | а | малый | темный | 750 | 200 | 300 | 40 | 20 | 4 | 1,5 | 2,4 | 0,9 |
| | | | | малый | средний | 500 | 200 | 200 | 40 | 20 | | | | |
| | | | | средний | темный | | | | | | | | | |
| | | | б | малый | светлый | 400 | 200 | 200 | 40 | 20 | | | | |
| | | | | средний | средний | | | | | | | | | |
| | | | | большой | темный | | | | | | | | | |
| | | г | средний | светлый | | | | | | | | | | |
| | | | большой | светлый | - | - | 200 | 40 | 20 | | | | | |
| | | | большой | средний | | | | | | | | | | |
| | | | а | малый | темный | 400 | 200 | 300 | 40 | 20 | | | | |
| | | | | малый | средний | | | | | | | | | |
| | | | | средний | темный | | | 200 | 40 | 20 | | | | |
| V | От 1,0 до 5,0 включительно | б | малый | темный | | | | | | 3 | 1 | 1,8 | 0,6 | |
| | | | малый | средний | | | | | | | | | | |
| | | | средний | темный | | | | | | | | | | |
| | | в | малый | светлый | | | | | | | | | | |
| | | | средний | средний | - | - | 200 | 40 | 20 | | | | | |
| | | | большой | темный | | | | | | | | | | |
| г | средний | светлый | | | | | | | | | | | | |
| | большой | светлый | - | - | 200 | 40 | 20 | | | | | | | |
| | большой | средний | | | | | | | | | | | | |
| Грубая (очень малой точности) | Более 5,0 | VI | - | Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном | - | - | 200 | 40 | 20 | 3 | 1 | 1,8 | 0,6 | |

Продолжение таблицы А.1.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|-----------|------|---|-------|---|---|---|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах | Более 0,5 | VII | - | То же | | - | - | 200 | 40 | 20 | 3 | 1 | 1,8 | 0,6 |
| Общее наблюдение за ходом производственного процесса: | | | | | | | | | | | | | | |
| постоянное | - | VIII | а | >> | | - | - | 200 | 40 | 20 | 3 | 1 | 1,8 | 0,6 |
| периодическое, при постоянном пребывании людей в помещении | - | VIII | б | > | | - | - | 75 | - | - | 1 | 0,3 | 0,7 | 0,2 |
| периодическое, при периодическом пребывании людей в помещении | - | VIII | в | >> | | - | - | 50 | - | - | 0,7 | 0,2 | 0,5 | 0,2 |
| Общее наблюдение за инженерными коммуникациями | - | VIII | г | | | - | - | 20 | - | - | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,1 |

Примечания

- 1 Для подряда норм от Ia до IIIв может приниматься один из наборов нормируемых показателей, приведенных для данного подряда в графах 7–11.
- 2 Наименьшие размеры объекта различения и соответствующие им разряды зрительной работы установлены при расположении объектов различения на расстоянии не более 0,5 м от глаз работающего.
- 3 Освещенность при работах со светящимися объектами размером 0,5 мм и менее следует выбирать в соответствии с размером объекта различения и относить их к подряду «в».
- 4 Показатель освещенности регламентируется в графе 10 только для общего освещения (при любой системе освещения).

Таблица А.1.2 – Коэффициент запаса для различных видов освещения

| Количество пыли, дыма и копоти в производственных помещениях с воздушной средой (мг/м ³) | Коэффициент запаса K_z | |
|--|--------------------------|-------------------------|
| | естественное освещение | искусственное освещение |
| свыше 5 | 1,5–1,8 | 1,6–2,0 |
| от 1 до 5 | 1,4–1,6 | 1,6–1,8 |
| менее 1 | 1,3–1,5 | 1,4–1,5 |

Таблица А.1.3 – Значения световой характеристики окон η_o при боковом освещении

| Отношение длины помещения l_n к его глубине | Значение световой характеристики η_o при отношении глубины помещения B к его высоте 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 | 23 | 26,5 | 29 |
| 0,5 | 18 | 23 | 31 | 37 | 45 | 54 | 66 | – |

Таблица А.1.4 – Значение коэффициента K_ϕ

| Тип фонаря | Значения коэффициента K_ϕ |
|--|--------------------------------|
| Световые проемы в плоскости покрытия (ленточные) | 1 |
| Световые проемы в плоскости покрытия (штучные) | 1,1 |
| Фонари с наклонным двусторонним остеклением (трапециевидные) | 1,15 |
| Фонари с вертикальным двусторонним остеклением (прямоугольные) | 1,2 |
| Фонари с односторонним наклонным остеклением (шеды) | 1,3 |
| Фонари с односторонним вертикальным остеклением (шеды) | 1,4 |

Таблица А.1.5 – Сортамент светильников с люминесцентными лампами и рекомендации по их применению

| Серия, тип | Число (шт.) × мощность (Вт) | Характеристика помещения; модификация; исполнение | Длина, мм |
|------------|-----------------------------|---|--------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| ЛСП 02 | 2×36 2×58 | Общее освещение производственных зданий; с решеткой; подвесной | 1240 1540 |
| ЛСП 24 | 1×40, 2×40, 2×36, 2×58 | Общее освещение пыльных и влажных производственных зданий; с решеткой; подвесной | 1290 1590 |
| ЛСП 40 | 2×40 | Общее освещение пыльных и влажных производственных зданий; с рассеивателем; подвесной | 1279 |

Продолжение таблицы А.1.5

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------|----------------------------|--|------|
| ЛСП 44 | 1×40, 2×40 | Общее освещение сырых и пыльных промышленных зданий; помещений с химически агрессивными средами; складских помещений; для пожароопасных помещений; корпус и рассеиватель из поликарбоната; подвесной | 1279 |
| ЛПО 46 | 2×36, 2×40 | Общее освещение производственных зданий; с рассеивателем; потолочный | 1235 |
| ШОД | 2×40, 2×80 | Общего освещения; с решеткой; диффузионный | 1520 |
| ОД | 2×30, 2×40, 2×80, 2×125 | Общего освещения; диффузионный | 1520 |

Таблица А.1.6 – Оптимальные значения отношений расстояния между светильниками к высоте подвеса над рабочей поверхностью

$$\left(\lambda = \frac{l}{h_p} \right)$$

| Тип светильника | Отношение $\left(\lambda = \frac{l}{h_p} \right)$ | |
|---|--|--|
| | однорядное расположение светильников | многорядное расположение светильников |
| 1 Светильники с люминесцентными лампами: - без решетчатых затенителей (ЛСП, ЛПО, ПВЛМ, ЛД, ПВЛП, ЛСУ1ПЗ); - с решетчатыми затенителями (ШОД, ОДР) | 1,35 (1,7) 1,25 (1,5) | 1,8 (2,3) 1,5 |
| 2 Светильник с лампами накаливания: - повышенной надежности и взрывопожираемости с отражателем (ВВГ, НЧБН); - люцетта цельного стекла (ЛЦ); - универсаль (У), универсаль с затенителем (УЗ), универсаль с эмалированным отражателем (УПД); - глубокоизлучатель эмалированный (ГЭ), с алюминиевым незеркальным отражателем (ГС, ГСУ) | 1 (2,4) 1,4 1,6 (1,8) 1,4 (1,7) | 1,6 (1,8) 1,6 1,5 (1,8) 1,6 (1,8) |
| Примечание – В скобках указаны наиболее допустимые значения $\left(\lambda = \frac{l}{h_p} \right)$. | | |

Таблица А.1.7 – Коэффициенты использования светового потока для светильников с люминесцентными лампами

| Типы светильников | ЛСП 02 | ЛПО 46 | ЛСП 24 | ЛСП 44 | ЛПО 40 | ШОД | ОД |
|----------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|----|
| $\rho_n, \%$ | 70 70 50 30 0 | 70 70 50 30 0 | 70 70 50 30 0 | 70 70 50 30 0 | 70 70 50 30 0 | 70 | 70 |
| $\rho_c, \%$ | 50 50 30 10 0 | 50 50 30 10 0 | 50 50 30 10 0 | 50 50 30 10 0 | 50 50 30 10 0 | 50 | 50 |
| $\rho_{p.n}, \%$ | 30 10 10 10 0 | 30 10 10 10 0 | 30 10 10 10 0 | 30 10 10 10 0 | 30 10 10 10 0 | 30 | 30 |
| Индекс помещения i | Коэффициент использования осветительной установки $\eta, \%$ | | | | | | |
| 0,5 | 28 27 21 18 16 | 30 28 20 16 14 | 22 18 13 11 9 | 28 27 20 13 11 | 27 26 21 16 15 | 23 | 22 |
| 0,6 | 33 32 25 22 20 | 34 32 24 20 18 | 25 23 17 14 12 | 33 32 22 17 14 | 32 30 24 20 18 | 29 | 28 |
| 0,7 | 38 36 30 26 24 | 38 36 29 24 22 | 28 27 20 16 15 | 38 36 27 20 17 | 40 37 31 27 25 | 33 | 32 |
| 0,8 | 42 39 33 29 28 | 42 40 32 27 24 | 31 29 23 19 17 | 42 40 30 23 20 | 40 37 31 27 25 | 37 | 35 |
| 0,9 | 46 42 37 32 31 | 47 43 36 30 28 | 34 32 26 21 19 | 47 44 34 26 22 | 44 40 34 30 28 | 40 | 38 |
| 1,0 | 49 45 40 35 34 | 50 46 39 33 30 | 37 34 28 23 21 | 51 47 37 29 25 | 47 43 37 32 30 | 43 | 41 |
| 1,1 | 52 48 42 38 36 | 53 49 41 35 32 | 39 36 30 25 23 | 54 50 39 31 27 | 49 45 39 34 32 | 46 | 43 |
| 1,25 | 55 50 45 40 39 | 56 52 44 38 35 | 42 38 32 27 25 | 57 53 42 34 29 | 52 48 42 37 34 | 49 | 46 |
| 1,5 | 60 54 49 45 44 | 61 56 48 42 39 | 46 42 36 30 28 | 63 57 47 38 33 | 56 51 46 41 38 | 54 | 50 |
| 1,75 | 63 57 52 48 47 | 65 59 52 46 42 | 49 44 38 33 30 | 67 61 50 42 36 | 59 54 49 44 41 | 57 | 53 |
| 2,0 | 65 59 55 51 49 | 68 61 54 48 44 | 51 46 40 35 32 | 70 63 53 44 38 | 62 56 50 46 43 | 60 | 55 |
| 2,25 | 68 62 57 53 52 | 70 64 56 50 46 | 53 48 42 37 34 | 73 66 55 47 40 | 61 58 52 48 45 | 63 | 57 |
| 2,5 | 70 63 58 55 54 | 73 66 58 52 48 | 55 50 43 39 35 | 76 68 57 49 42 | 69 63 53 47 41 | 65 | 59 |
| 3,0 | 73 65 61 58 56 | 76 68 60 55 50 | 58 52 45 41 37 | 80 71 60 52 44 | 68 62 56 52 48 | 68 | 61 |
| 3,5 | 75 67 62 60 58 | 78 69 62 57 52 | 60 53 47 43 39 | 82 73 62 54 46 | 70 63 57 53 50 | 71 | 63 |
| 4,0 | 77 68 64 61 69 | 80 71 64 59 53 | 61 54 48 44 40 | 85 75 64 56 48 | 72 64 68 55 51 | 73 | 65 |
| 5,0 | 80 70 67 65 62 | 84 74 67 62 56 | 65 57 51 48 43 | 90 79 69 61 52 | 76 66 61 58 53 | 76 | 67 |

Таблица А.1.8 – Технические данные люминесцентных ламп

| Тип лампы | Световой поток, лм | Длина лампы, мм |
|-----------|--------------------|-----------------|
| ЛД 36-7 | 2300 | 1213,6 |
| ЛХБ 36-7 | 2700 | |
| ЛБ 36-7 | 2800 | |
| ЛТБ 36-7 | 2800 | |
| ЛД 40-7 | 2300 | 1213,6 |
| ЛХБ 40-7 | 2700 | |
| ЛБ 40-7 | 2800 | |
| ЛБ 40-4 | 3000 | |
| ЛТБ 40-7 | 2800 | |
| ЛД 58-7 | 3750 | 1517,2 |
| ЛХБ 58-7 | 4400 | |
| ЛБ 58-7 | 4600 | |
| ЛТБ 58-7 | 4600 | |
| ЛД 65-7 | 3750 | 1514,2 |
| ЛХБ 65-7 | 4400 | |
| ЛБ 65-7 | 4600 | |
| ЛТБ 65-7 | 4600 | |
| ЛД 80-7 | 4250 | 1514,2 |
| ЛХБ 80-7 | 5000 | |
| ЛБ 80-7 | 5200 | |
| ЛТБ 80-7 | 5200 | |
| ЛД 90 | 4500 | 1512,8 |
| ЛХБ 90 | 5300 | |
| ЛТБ 90 | 5000 | |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Данные для оценки опасности электропоражения

Таблица Б.1.1 – Сопротивление опорной поверхности ног человека растеканию тока в зависимости от вида грунта

| Материал | Сопротивление опорной поверхности ног, в зависимости от грунта, Ом | |
|-------------------------|--|----------------|
| | сухой | влажный |
| Асфальт, гравий, щебень | 7200 | 3800 |
| Вода на поверхности | – | 30 |
| Глина | 200 | 40 |
| Каменистый грунт | 8500 | 5000 |
| Лед, снег | $2 \cdot 10^6$ | 300 |
| Мерзлый грунт | 10^4 | 4000 |
| Песок | 8000 | 1600 |
| Садовая земля | 190 | 90 |
| Скалистый грунт | $3 \cdot 10^7$ | $3 \cdot 10^4$ |
| Суглинок | 500 | 125 |
| Супесок | 1250 | 500 |
| Торф | – | 50 |
| Чернозем | 160 | 50 |

Таблица Б.1.2 – Сопротивление опорной поверхности ног человека, стоящего на определенной поверхности

| Материал поверхности | Сопротивление опорной поверхности ног человека с учетом состояния пола, кОм | | |
|----------------------|---|---------|--------|
| | сухой | влажный | мокрый |
| Асфальт | 2000 | 10 | 0,8 |
| Бетон | 200 | 0,9 | 0,1 |
| Дерево | 30 | 3,0 | 0,3 |
| Земля | 20 | 0,8 | 0,3 |
| Кирпич | 10 | 1,5 | 0,8 |
| Ксилолит | 100 | 10 | 0,5 |
| Линолеум | 1500 | 50 | 4,0 |
| Металл | 0,01 | 0 | 0 |
| Метлахская плитка | 25 | 2,0 | 0,3 |

Таблица Б.1.3 – Сопротивление обуви протеканию тока

| Материал подошвы | Сопротивление обуви при напряжениях сети, кОм | | | |
|------------------------|---|-------|-------|------------|
| | до 65 В | 127 В | 220 В | выше 220 В |
| Помещение сухое | | | | |
| Кожа | 200 | 150 | 100 | 50 |
| Кожимит | 150 | 100 | 50 | 25 |
| Резина | 500 | 500 | 500 | 500 |
| Помещение сырое | | | | |
| Кожа | 1,6 | 0,8 | 0,5 | 0,2 |
| Кожимит | 2,0 | 1,0 | 0,7 | 0,5 |
| Резина | 2,0 | 1,8 | 1,5 | 1,0 |

Список литературы

1. СанПиН от 30.04.2013 №33 «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях».
2. СанПиН от 16.11.2011 №115 «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
3. СанПин от 31.12.2011 №123 «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ».
4. ТКП 45-2.04-153-2009 (02250). Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования.
5. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды : учебник / С. В. Белов. – М. : ЮРАЙТ, 2011. – 680 с.
6. Михнюк, Т. Ф. Охрана труда : учебник / Т. Ф. Михнюк. – Минск : ИВУ Минфина, 2009. – 345 с.
7. Михнюк, Т. Ф. Защита от электронных полей радиочастотного диапазона : учеб. пособие / Т. Ф. Михнюк. – Минск : БГУИР, 2003. – 47 с.
8. Михнюк, Т. Ф. Электробезопасность : учеб. пособие к практическим занятиям по курсу «Охрана труда» / Т. В. Михнюк. – Минск : БГУИР, 2004. – 76 с.
9. Русак, О. Н. Безопасность жизнедеятельности : учеб. пособие / О. Н. Русак, К. Р. Малин, Н. Г. Занько; под ред. О. Н. Русака. – 6-е изд. – СПб. : Лань, 2003. – 448 с.

Учебное издание

Михнюк Тимофей Федорович
Мельниченко Дмитрий Александрович
Зацепин Евгений Николаевич

**ОХРАНА ТРУДА. ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ
ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ САНИТАРИИ
И БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *Е. С. Чайковская*
Корректор *Е. И. Герман*
Компьютерная правка, оригинал-макет *М. В. Гуртатовская*

Подписано в печать 02.10.2014. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 4,3. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 250 экз. Заказ 252.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.
ЛП №02330/264 от 14.04.2014.
220013, Минск, П. Бровки, 6