

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра управления охраной труда

## ОХРАНА ТРУДА В КУРСОВОМ И ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по аграрному техническому образованию в качестве  
учебно-методического пособия для студентов учреждений  
высшего образования по группе специальностей  
74 06 Агроинженерия*

Минск  
БГАТУ  
2015

УДК 658.345(07)  
ББК 65.247я 7  
О-92

Авторы:  
кандидат технических наук, доцент *В. Г. Андруш*,  
доктор технических наук, профессор *Л. В. Мисун*,  
старший преподаватель *Н. Н. Жаркова*,  
старший преподаватель *С. А. Корчик*

Рецензенты:  
кафедра «Безопасность жизнедеятельности» Учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет»;  
доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и курортологии  
Учреждения образования «Белорусский государственный экономический  
университет», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
*И. Н. Марицель*

**Охрана труда в курсовом и дипломном проектировании** : учебно-методическое пособие / В. Г. Андруш [и др.]. –  
О-92 Минск : БГАТУ, 2015. – 100 с.  
ISBN 978-985-519-752-3.

Изложены единые требования к структуре и содержанию раздела «Охрана труда», выделены ключевые этапы и последовательность проведения расчетов, разработана методика, которая совмещает в себе максимально возможную простоту с достаточно высокой точностью расчетов и может быть широко использована в курсовом и дипломном проектировании. В приложениях приведены примеры расчетов и основные нормативно-справочные материалы.

Пособие предназначено для студентов учреждений высшего образования по группе специальностей 74 06 Агроинженерия.

УДК 658.345(07)  
ББК 65.247я 7

ISBN 978-985-519-752-3

© БГАТУ, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИКА СБОРА МАТЕРИАЛОВ НА ПРЕДДИПЛОМНОЙ ПРАКТИКЕ.....	5
2. ПОРЯДОК ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ОХРАНА ТРУДА» ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА.....	6
3. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАЗДЕЛА.....	7
4. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛА «ОХРАНА ТРУДА».....	8
4.1. Анализ состояния охраны труда на предприятии.....	8
4.2. Разработка мер безопасности при эксплуатации (монтаже, ремонте) технических средств (электрооборудования) на объекте проектирования.....	11
4.3. Обеспечение пожарной безопасности на объектах проектирования.....	14
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	17
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	27
1. Расчет естественной вентиляции животноводческих помещений.....	28
2. Расчет естественного освещения производственных помещений.....	34
3. Расчет искусственного освещения производственных помещений.....	50
4. Расчет толщины теплоизоляции производственного оборудования.....	59
5. Разработка инструкции по охране труда.....	63
6. Расчет ограждения абразивного круга.....	70
7. Расчетная проверка эффективности зануления электрооборудования.....	72
8. Расчет заземляющего устройства.....	74
9. Расчет молниезащиты.....	88

## ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие науки и техники не только не снижает актуальность проблемы защиты жизни и сохранения здоровья людей, но и обостряет ее. Объем, свойства и интенсивность материальных, энергетических и информационных потоков в производственной среде постоянно расширяют поле опасностей, уровень воздействия на организм работающих, что приводит к огромным социальным и экономическим потерям общества – повышенной заболеваемости, сокращению продолжительности жизни, ухудшению качества жизненной среды, снижению трудового потенциала общества.

Подготовка специалистов АПК невозможна без знания вопросов охраны труда. Будущий инженер сельскохозяйственного производства должен уметь анализировать состояние охраны труда на проектируемом объекте, оценивать опасность производственных процессов при выполнении механизированных работ, при монтаже и эксплуатации электрооборудования, разрабатывать мероприятия по созданию здоровых и безопасных условий труда. Поэтому при работе над дипломным проектом, который является заключительным этапом обучения студентов в вузе, одной из основных задач, решаемых студентом, является обеспечение безопасности разрабатываемого в дипломном проекте объекта.

Пособие предназначено для студентов всех факультетов очного и заочного отделений университета, содержит порядок выполнения и основные требования к разделу «ОХРАНА ТРУДА» в дипломных проектах. Приводятся рекомендации по анализу состояния охраны труда на предприятии, вредных и опасных производственных факторов, оценке их воздействия на человека, разработке инженерных методов защиты, по определению категорий помещений по взрыво- и пожарной опасности.

Только при этих условиях проект может быть оценен положительно. Если в дипломном проекте эти вопросы не решены или рассмотрены поверхностно, без анализа и обоснования трудовоохранительных решений, то такая работа считается неполноценной и не допускается к защите.

## **1. МЕТОДИКА СБОРА МАТЕРИАЛОВ НА ПРЕДДИПЛОМНОЙ ПРАКТИКЕ**

Для написания раздела «ОХРАНА ТРУДА» студент-дипломник должен четко представлять условия труда, характер производственных опасностей и вредностей при выполнении определенных производственных операций, состояние охраны труда и ее перспективы развития на исследуемом объекте.

На преддипломной практике студенты должны ознакомиться с организацией работы по обеспечению здоровых и безопасных условий труда на предприятии, требованиями безопасности технологических процессов и электрооборудования, гигиеной труда и производственной санитарией на рабочих местах, мерами пожарной профилактики, а также собрать необходимые материалы для практической разработки этих вопросов в дипломных проектах.

С целью получения данных для выполнения раздела необходимо изучить следующие материалы:

- план номенклатурных мероприятий по охране труда, раздел «ОХРАНА ТРУДА» коллективного договора;
- отчетные документы по охране труда (годовые отчеты о травматизме и освоении средств на мероприятия по охране труда), а также акты формы Н-1;
- журналы регистрации инструктажей по охране труда и обучения по безопасности труда;
- документы по результатам аттестации рабочих мест (карты условий труда на рабочих местах: параметры по метеоусловиям, шуму, вибрации, запыленности, загазованности, освещенности и др.);
- состояние электробезопасности на объекте проектирования (соответствие электроустановок и электросетей требованиям нормативной документации). При этом особое внимание обратить на защитные средства, своевременность контроля изоляции, заземляющих устройств, проверку изолирующих защитных средств, соответствие электроустановок видам помещений, нагрузке и т. д.;
- технологические регламенты (карты);
- планировочные решения;
- паспорта технологического оборудования;
- инструкции по охране труда;
- документы по обеспечению пожарной безопасности объекта проектирования (реконструкции), наличие пожарного оборудова-

ния и средств тушения пожаров, средств защиты электрических линий и зданий от атмосферного электричества, средств защиты от заноса высоких потенциалов через наземные и подземные коммуникации и от статического электричества, наличие средств автоматизации для этих целей;

– годовые и перспективные планы повышения уровня противопожарной защиты предприятия.

Студенты, выполняющие дипломные работы (исследовательского направления), должны изучить указанные выше вопросы применительно к разрабатываемой теме.

При сборе материалов для разработки раздела дипломного проекта (работы) «ОХРАНА ТРУДА» необходимо взаимодействие с руководителем практики от предприятия, службой охраны труда, главным механиком и энергетиком и др. службами (подразделениями) предприятия (объекта).

## **2. ПОРЯДОК ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ОХРАНА ТРУДА» ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА**

После получения студентом-дипломником основного задания на дипломное проектирование преподавателем-консультантом кафедры «Управление охраной труда», «Безопасность жизнедеятельности» выдается конкретное задание по разделу «ОХРАНА ТРУДА», согласующееся с темой дипломного проекта. Для выдачи индивидуального задания по охране труда кафедры, выдающая задание на дипломное проектирование, обязана обеспечить явку студента-дипломника к консультанту, преподавателю кафедры, не позже чем через неделю после получения им темы и задания на дипломное проектирование.

Для успешного выполнения задания по охране труда кафедры «Управление охраной труда», «Безопасность жизнедеятельности» обеспечивают студентов-дипломников консультантами-преподавателями. Консультации проводятся по расписанию в дни, установленные кафедрой.

Содержание задания по охране труда должно соответствовать основной теме дипломного проекта и являться его составной частью. Оно предусматривает разработку вопросов по организации охраны труда, обеспечению требований производственной санитарии,

техники безопасности, электробезопасности, пожарной профилактики и других вопросов, касающихся предупреждения несчастных случаев, профессиональных заболеваний и отравлений, возникновения пожаров, аварий и т. п.

После выполнения студентом раздела «ОХРАНА ТРУДА» преподаватель-консультант кафедры ставит свою подпись на титульном листе пояснительной записки дипломного проекта, без которой дипломный проект к защите не допускается.

Специальные кафедры при выдаче заданий на дипломное проектирование должны включать в график выполнения дипломных проектов раздел «ОХРАНА ТРУДА» и контролировать ход его выполнения студентом.

### 3. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАЗДЕЛА

Используя собранные на практике материалы, методическую литературу, государственные стандарты системы безопасности труда (ССБТ), строительные нормы и правила (СНиП, СНБ), санитарные правила и нормы (СанПиН), ТКП, РД и др. нормативные, правовые и технические документы, студенты разрабатывают раздел «ОХРАНА ТРУДА» (в дальнейшем – раздел).

Недопустимо заполнение раздела общими рассуждениями и переписыванием нормативных положений, правил и т. п. При изложении материала не должны применяться выражения типа: «должно быть», «необходимо предусмотреть», «требуется» и т. д. Дипломник, используя действующую нормативно-техническую документацию, дает собственные рекомендации на основе исследований, расчетов, сопоставлений и т. п.

Оформляется раздел так же, как и весь проект, согласно ЕСКД, методическим рекомендациям по дипломному проектированию, изданным на факультетах.

В списке использованных литературных источников, приводимом в конце пояснительной записки, должна быть указана литература, которой пользовался студент при написании раздела (стандарты, правила, нормы и т. п.).

Раздел, выполненный в соответствии с заданием, помещается перед экономическими расчетами и составляет обычно до 12 страниц машинописного текста, в зависимости от тематики дипломного

проекта (работы). При проектировании процессов на опасных производственных объектах, разработке вопросов, связанных с выполнением работ повышенной опасности, объем раздела «ОХРАНА ТРУДА» в расчетно-пояснительной записке может быть увеличен по согласованию с руководителем дипломного проекта и дополнен графическими материалами.

При защите проекта дипломник должен изложить содержание раздела и дать пояснения своим техническим решениям.

За все принятые в дипломном проекте решения, достоверность приведенных данных отвечает студент – автор дипломного проекта.

При необходимости студент может включать дополнительные подразделы в структуру раздела или заменять их по согласованию с преподавателем-консультантом.

### 4. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛА «ОХРАНА ТРУДА»

Содержание данного раздела выбирается в соответствии с дипломным проектом под руководством преподавателя-консультанта.

#### 4.1. Анализ состояния охраны труда на предприятии

*(указать предприятие (организацию), где студент-дипломник проходил преддипломную практику)*

На основании материалов, собранных во время преддипломной практики, необходимо обобщить собранный материал и дать краткий анализ состояния охраны труда на предприятии, для которого разрабатывается дипломный проект. Анализ состояния охраны труда проводят таким образом, чтобы можно было определить предпосылки для разработки мероприятий по снижению травматизма, профессиональных заболеваний и улучшению условий труда.

*Для студентов специальностей 1-54 01 01; 1-74 06 01; 1-36 12 01; 1-74 06 02; 1-74 06 03; 1-74 06 06*

При анализе состояния охраны учитывают следующее:

– организацию и управление охраной труда на предприятии (в хозяйстве) [1, 54];

– наличие на предприятии службы по охране труда или специалиста (инженера) по охране труда, его роль в организации охраны труда, наличие кабинета (учебного класса) по охране труда, его оборудование и оснащение;

- соблюдение законодательства о режиме труда и отдыха работающих [3];
- порядок обучения вопросам охраны труда, проведения инструктажей [19];
- обеспеченность инструкциями по охране труда [20];
- контроль за охраной труда [17];
- обеспеченность спецодеждой, защитными средствами [30];
- состояние производственного травматизма на предприятии за последние 3 года. Желательно привести данные в виде таблицы, произвести расчет коэффициентов частоты, тяжести травматизма и потерь рабочего времени и показать состояние травматизма и заболеваемости (табл. 4.1);
- обеспеченность организации нормативными документами по охране труда [4, 14];
- планирование мероприятий по охране труда, выделение и использование денежных и материальных средств на их выполнение [13];
- соответствие территорий, зданий, помещений требованиям санитарных и строительных норм и правил [40, 41, 42, 43, 44];
- возможность появления вредных и опасных производственных факторов, основные причины производственных травм [46, 47];
- соблюдение требований безопасности при использовании оборудования, грузоподъемных машин и сосудов, работающих под давлением [21, 22, 23];
- санитарно-бытовые условия работников [27, 48, 49, 50, 51, 55].

Таблица 4.1

Состояние травматизма и заболеваемости на предприятии за последние 3 года

Отчетный период (год)	Среднесписочное кол-во работников (Р, чел.)	Кол-во несчастных случаев (Т)	Кол-во дней нетрудоспособности всех пострадавших (Д <sub>н</sub> )	Коэффициент частоты, К <sub>ч</sub>	Коэффициент тяжести, К <sub>т</sub>	Коэффициент потерь рабочего времени, К <sub>п.в</sub>

Коэффициент частоты травматизма рассчитывается по формуле

$$K_{ч} = 1000T/P, \quad (4.1.1)$$

где Т – количество несчастных случаев с потерей работоспособности на день и более, чел.;

Р – среднесписочное число работающих за отчетный период, чел.

Коэффициент тяжести травматизма:

$$K_{т} = D_{н}/T, \quad (4.1.2)$$

где D<sub>н</sub> – суммарное число дней нетрудоспособности всех пострадавших.

Коэффициент потерь рабочего времени:

$$K_{п.в} = 1000D_{н}/P. \quad (4.1.3)$$

При численности работающих в организации более 250 человек необходимо произвести расчет необходимой численности специалистов службы охраны труда организации [3, 5].

По результатам анализа состояния охраны труда, динамики травматизма и заболеваемости необходимо дать несколько конкретных предложений по повышению эффективности функционирования системы управления охраной труда, в том числе включающих совершенствование самой системы управления охраной труда, ее организационно-функциональной структуры, распределение обязанностей работников по вопросам охраны труда.

Для студентов специальностей 1-74 06 05; 1-53 01 01 при анализе состояния охраны учитывают следующее:

- организацию и управление охраной труда на предприятии (в хозяйстве);
- наличие и анализ приказа о назначении лица, ответственного за электрохозяйство;
- соблюдение требований при приеме на работу электротехнического персонала (производственное обучение, стажировка);
- аттестацию электротехнического персонала на группу допуска к работе в электроустановках;
- обучение и проверку знаний по охране труда электротехнического, электротехнологического и неэлектротехнического персонала;

- основные обязанности лица, ответственного за электрохозяйство;
- наличие и анализ инструкций по охране труда при эксплуатации электроустановок;
- проведение инструктажей по охране труда с электротехническим и электротехнологическим персоналом;
- правильность оформления нарядов-допусков к работе в электроустановках и в охранных зонах воздушных линий (ВЛ) при выполнении электросварочных работ;
- наличие перечня особо опасных работ, связанных с эксплуатацией электрооборудования;
- наличие нормативной документации по охране труда (ПУЭ, ПТЭ, межотраслевые правила и др.).

#### **4.2. Разработка мер безопасности при эксплуатации (монтаже, ремонте) технических средств (электрооборудования) на объекте проектирования**

При выполнении данного пункта проводится анализ опасных и вредных производственных факторов на объекте проектирования; выявляются вредные и опасные факторы и источники их образования [45], сопутствующие предлагаемому технологическому процессу, оценивается их уровень по сравнению с предельно допустимыми значениями по нормам. При этом следует выявить возможные потенциальные причины травматизма при эксплуатации проектируемого объекта и электрооборудования; соблюдение требований безопасности при эксплуатации паровых и водонагревательных котлов и сосудов, работающих под давлением [30]; опасные зоны используемых машинно-тракторных агрегатов; наличие ручного труда, средств механизации и автоматизации; категорию работ по тяжести; параметры микроклимата на рабочих местах; наличие вредных факторов (избыточное тепло, вредные пары, газы, пыль, шум, вибрации, электромагнитные поля), их источники, дать оценку содержания или уровней вредностей на рабочих местах по сравнению с предельно допустимыми значениями. Необходимо также дать оценку освещения рабочих мест (виды освещения на участке, зрительный разряд работ, норма освещенности); выявить категорию помещения участка по электрической опасности, применяемое напряжение, режим нейтрали в электросети, возможные причины электротравматизма; охарактеризовать проектируемые техпроцессы

с позиций возможных источников и видов загрязнения окружающей среды.

В данном пункте необходимо излагать материал, конкретно относящийся к своему объекту проектирования, в соответствии с темой дипломного проекта на усмотрение преподавателя-консультанта выполняется индивидуальное задание.

*Для студентов специальностей 1-54 01 01; 1-74 06 01;  
1-36 12 01; 1-74 06 02*

Если задание связано с эксплуатацией технических средств, то необходимо изложить, как конкретно обеспечивается защита работающих от выявленных опасных и вредных факторов. Необходимо произвести обоснованный выбор ограждений; предохранительных защитных средств (электроконтактные термометры, предохранительные клапаны, реле и т. п.) для автоматического отключения оборудования, машин, аппаратов при отклонении рабочих параметров (температуры, давления, величины тока и т. п.) от допустимых значений; усиление слабых звеньев (срезные штифты, фрикционные муфты и т. п.), рассчитанных на срабатывание при аварийных режимах; блокировочных устройств, исключающих возможность включения в работу технологического оборудования при наличии свободного доступа к опасным зонам; средств сигнализации и дистанционного управления [41, 42, 43, 66, 70, 72, 74].

Примерный перечень индивидуальных заданий:

- расчет естественной вентиляции животноводческих помещений (прилож. 1);
- расчет естественного освещения производственных помещений (прилож. 2);
- расчет искусственного освещения производственных помещений (прилож. 3);
- расчет толщины теплоизоляции производственного оборудования (прилож. 4);
- разработка инструкции по охране труда при эксплуатации объекта. Инструкции могут разрабатываться для работников отдельных профессий и на отдельные виды работы. В наименовании инструкции кратко указывается, для какой профессии или вида работ она предназначена (прилож. 5);
- расчет оградительных, предохранительных, блокировочных и др. устройств (прилож. 6) [76];

– расчетная проверка эффективности зануления электрооборудования (прилож. 7);

– расчет заземляющих устройств (прилож. 8).

*Для студентов специальностей 1-74 06 05; 1-53 01 01*

Например, если задание связано с внешними сетями (тема: «Электроснабжение или энергоснабжение или электрификация объекта...»), то описывается техника безопасности при монтаже электрооборудования для внешних сетей или трансформаторных подстанций, при работах на высоте на опорах, погрузочно-разгрузочных работах, сварочных и земляных работах и т. д.

Если задание связано с монтажом электрооборудования внутри помещений, то надо охарактеризовать объект по классу опасности поражения электрическим током, указать меры защиты от поражения электрическим током (заземление, зануление, УВЭП, УЗО), организационные и технические мероприятия электробезопасности.

Примерный перечень индивидуальных заданий:

– разработка инструкции по охране труда при эксплуатации объекта (прилож. 5);

– расчетная проверка эффективности зануления электрооборудования (прилож. 7);

– расчет заземляющих устройств (прилож. 8);

– расчет молниезащиты (прилож. 9).

Расчеты необходимо сопровождать рисунками или схемами.

*Для студентов специальностей 1-74 06 03; 1-74 06 06*

При написании этого подраздела приводятся способы и приемы для безопасного выполнения разработанного (или усовершенствованного) в дипломном проекте технологического процесса ремонта деталей и узлов тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин; использования безопасного обращения с материалами; способы и приемы безопасной эксплуатации транспортных средств, тары и грузоподъемных механизмов; указания о безопасном содержании рабочего места; требования к использованию средств защиты работника.

Примерный перечень индивидуальных заданий:

– расчет естественного освещения производственных помещений (прилож. 2);

– расчет искусственного освещения производственных помещений (прилож. 3);

– требования безопасности при мойке машин, их агрегатов и деталей;

– требования безопасности при выполнении работ по диагностированию тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин;

– требования безопасности при выполнении разборочно-сборочных работ;

– требования безопасности при работе на металлорежущих станках;

– требования безопасности при ремонте топливной аппаратуры;

– требования безопасности при обкатке и испытании отремонтированных машин;

– требования безопасности при использовании грузоподъемных средств, управляемых с пола;

– требование безопасности при проведении огневых работ;

– требование безопасности при проведении электросварочных работ;

– требования безопасности при проведении газосварочных и газорезательных работ.

Рекомендуемая литература [77, 78, 79].

#### **4.3. Обеспечение пожарной безопасности на объектах проектирования**

Вопросы пожарной безопасности объектов – важная составляющая эксплуатации зданий и сооружений, требующая постоянного внимания и контроля ответственных лиц организаций. Наибольшая пожарная нагрузка, а значит, и опасность, сосредоточена, как правило, в производственных и складских зданиях и помещениях. Поэтому требования действующих нормативных правовых актов классифицируют подобные объекты по взрывопожарной и пожарной опасности и предусматривают соответствующие противопожарные мероприятия.

Требования к категорированию помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности установлены нормами пожарной безопасности (ТКП 474-2013 Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности).

Не установив категорию по ТКП 474-2013, невозможно в проекте и при эксплуатации объекта определить противопожарные требования, необходимые в соответствии с действующими техническими нормативными правовыми актами. Напрямую зависят от категории по взрывопожарной и пожарной опасности и вопросы

размещения складских и производственных помещений в зданиях по этажам, площади пожарных отсеков и секций.

В настоящее время определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям, приведенным от высшей (А) к низшей (Д) в таблице [33].

При проектировании технологических процессов и оборудования должны учитываться специфические требования по обеспечению пожарной безопасности: к помещениям для ремонта и ТО, пунктам заправки ТСМ, участкам мойки, окраски, электроустановкам, трансформаторным подстанциям, животноводческим помещениям, рабочим местам для проведения огневых работ, хранению и применению легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, горючих газов, пожароопасных веществ и материалов [11, 33, 34, 62].

Предотвращение пожара в проектируемом производстве должно достигаться исключением образования горючей среды и возникновения в ней источника зажигания. Исключение образования горючей среды должно обеспечиваться регламентацией допустимых концентраций горючих газов, паров, взвесей в воздухе, горючести, образующихся веществ, материалов, оборудования и конструкций.

При выполнении данного пункта необходимо предусматривать мероприятия, обеспечивающие пожарную безопасность. Надо изучить возможные причины возникновения и распространения пожаров, уделив особое внимание электрическим источникам воспламенения.

В зависимости от характеристики производств определяют нормативные противопожарные требования к производственным зданиям: класс взрыво- и пожароопасных зон по ПУЭ, объемно-планировочные решения, степень огнестойкости, допустимое число этажей, максимальную площадь пожарных отсеков, ширину лестниц, площадок, размеров выходов, коридоров и т. п., протяженность путей эвакуации, противопожарные преграды. Изучая противопожарные мероприятия, необходимо описать принципы конструктивного исполнения аппаратов и электрооборудования, применяемых для взрывоопасных помещений.

Предусматриваются внутреннее противопожарное водоснабжение и первичные средства пожаротушения в соответствии с нормативами обеспечения первичными средствами пожаротушения. Особое внимание должно быть уделено местам хранения ТСМ.

Необходимо указать:

– простейший пожарный инвентарь, огнетушители, имеющиеся на вооружении сельскохозяйственных предприятий, ручные пожарные насосы, мотопомпы, пожарные автомобили и другое противопожарное оборудование, в том числе для тушения пожара в электроустановках;

– особенности тушения пожаров в электроустановках, в животноводческих помещениях, ремонтных мастерских, в местах хранения грубых кормов, на складах нефтепродуктов и ядохимикатов [36, 38, 44, 46];

– мероприятия по пожарной безопасности (краткое описание организации пожарной охраны на предприятии (организации): структура, функции, состав, численность).

Пожар в электроустановках, находящихся под напряжением, лучше всего тушить углекислотными или порошковыми огнетушителями. Применять под напряжением пенные огнетушители запрещается.

При выполнении этого подраздела возможны расчеты:

– подбор необходимого количества средств пожаротушения с указанием места размещения противопожарных щитов и постов;

– расчет потребности в воде для тушения пожаров.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция государственного управления охраной труда в Республике Беларусь : постановление Совета Министров Республики Беларусь 16.08.2005 г., № 904 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2005. – № 5/16410.

2. Конституция Республики Беларусь от 15 марта 1994 года (с изм. и доп. от 24.11.1996 г. и 17.10.2004 г.). – Минск : Амалфея, 2005. – 48 с.

3. Трудовой кодекс Республики Беларусь (с изм. и доп. от 19.07.2005 г. № 37-3, от 16.05.2006 г. № 118-3, от 29.06.2006 г. № 138-3, от 07.05.2007 г. № 219-3, от 20.07.2007 г. № 272-3) // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2007. – № 118. – 2/1316, № 183. – 2/1369.

4. Государственный реестр действующих в Республике Беларусь нормативных правовых актов (документов) по охране труда / сост.: Г. Е. Седюкевич, Л. В. Булаш. – Минск : «Лоранж-2», 2003. – 232 с.

5. Об утверждении Нормативов численности специалистов по охране труда на предприятиях, утв. постановлением Минтруда Республики Беларусь от 23 июля 1999 г. № 94 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 1999 г. – № 63. – 8/698.

6. Республиканская целевая программа по улучшению условий охраны труда на 2011–2015 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 29.06.2010 г., № 982 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2010 г. – № 161. – 5/32106.

7. Об охране труда : Закон Республики Беларусь от 23.06.2008 г., № 356-3 (с изм. и доп. от 12.07.2013 г., № 61-3). – Минск : Национальный центр правовой информации Республики Беларусь, 2013. – 30 с.

8. О санитарно-эпидемическом благополучии населения : Закон Республики Беларусь от 07.01.2012 г., № 340-3 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2012. – № 8. – 2/1892.

9. Сборник инструкций по охране труда для предприятий сельского хозяйства / сост. П. Г. Мартынов. – Минск : ЦОТЖ, 2005. – 220 с.

10. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : Закон Республики Беларусь от 10.01.2000 г., № 363-3 // На-

циональный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2000. – № 8. – 2/1398.

11. О пожарной безопасности : Закон Республики Беларусь от 15.06.1993 г., № 2403-XII (с изм. и доп. от 03.05.1996 г. № 440-XIII, от 13.11.1997 г. № 87-3, от 11.01.2002 г. № 89-3, от 18.11.2004 г. № 338-3, от 29.06.2006 г. № 137-3, от 14.06.2007 г. № 239-3, от 31.12.2009 г. № 114-3, от 30.11.2010 г. № 196-3, от 04.01.2014 г. № 130-3) // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный Центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

12. Межотраслевые общие правила по охране труда : постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь 03.06.2007 г., № 70 (с изм. и доп. от 30.09.2011 г., № 96) // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2011. – № 125. – 8/24335.

13. Правила расследования и учета несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний : постановление Совета Министров Республики Беларусь 15.01.2004 г., № 30 (с изм. и доп. от 04.11.2006 г. № 1462, от 18.01.2007 г. № 60, от 18.02.2008 г. № 221, от 19.04.2010 г. № 579, от 09.12.2011 г. № 1663, от 01.03.2012 г. № 200, от 29.09.2012 г. № 885, от 18.10.2012 г. № 947, от 14.08.2013 г. № 712, от 30.06.14 № 637) // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный Центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

14. О страховой деятельности : Указ Президента Республики Беларусь 25.08.2006 г. № 530 (с изм. и доп.: текст по состоянию на 30.11.2013 г.) // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

15. Правила охраны труда при работе на высоте : постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь 28.04.2001 г. № 52 (с изм. и доп. от 19.11.2007 г., № 150) // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2008. – № 8. – 8/17989.

16. Типовое положение о службе охраны труда организации : постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, 30.09.2013 г., № 98 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

17. Типовое положение о комиссии по охране труда : постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, 28.11.2013 г., № 114 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный Центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

18. Типовая инструкция о проведении контроля за соблюдением законодательства об охране труда в организации : постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь 26.12.2003 г., № 159 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный Центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

19. Инструкция о порядке обучения, стажировки, инструктажа и проверки знаний работающих по вопросам охраны труда : постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь 28.11. 2008 г., № 175 (с изм. и доп. от 27.06.2011 г. № 50) // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2009. – № 53. – 8/20209.

20. Инструкция о порядке принятия локальных нормативных правовых актов по охране труда для профессий и отдельных видов работ (услуг) : постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь 28.11.2008 г., № 176 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2009. – № 29. – 8/20258.

21. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением : постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь 27.12.2005 г., № 56 (с изм. и доп. от 13.12.2007 г. № 121, от 16.04.2008 г. № 31) // (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2008. – № 8. – 8/13868.

22. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов : постановление Министерства по чрезвычайным си-

туациям Республики Беларусь 28.06.2012 г., № 37 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

23. Межотраслевые правила по охране труда при проведении грузочно-разгрузочных работ : постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь 12.12.2005 г., № 173 : с изм. и доп. от 19.11.2007 г., № 150 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2008. – № 8. – 2/17989.

24. Правила по охране труда при производстве продукции животноводства : постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь 28.12.2007 г., № 89 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 16.01.2008.

25. Правила по охране труда при производстве и послеуборочной обработке продукции растениеводства : постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 15.04.2008 г. № 36 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный Центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 13.05.2008.

26. Межотраслевая типовая инструкция по охране труда при работе с персональными компьютерами : постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 30.11.2004 г. № 138. // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь.– 2004. – № 8/11835.

27. Положение о порядке проведения аттестации рабочих мест по условиям труда : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 22.02.2008 г. № 253 (с изм. и доп. от 11.01. 2014 г. № 15) // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2014. – № 5/38295.

28. Инструкция о порядке проведения обязательных медицинских осмотров работающих : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.04.2010 г. № 47 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2010. – № 87. – 8/3914.

29. Положение о страховой деятельности в Республики Беларусь : Указ Президента Республики Беларусь, 25.08.2006 г., № 530 (посл. изм. и доп. от 29.11.2013 г., № 529) // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

30. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация : ГОСТ 12.4.011-89. – Взамен ГОСТ 12.4.011-87. – Введ. 01.07.1990. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2008. – 12 с.

31. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация : ГОСТ 12.0.003-74. – Введ. 01.01.1976. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2008. – 8 с.

32. Процессы производственные. Общие требования безопасности : ГОСТ 12.3.002-75. – Введ. 01.07.1976. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2000. – 12 с.

33. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : ТКП 474-2013. – Введ. 15.04.2013. – Минск : УП «Промбытсервис», 2013. – 57 с.

34. Эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре : СНБ 2.02.02-01. – Введ. 01.07.2002. – Минск : Минстройархитектуры, 2002. – 40 с.

35. Снижение производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в АПК : монография / А. И. Федорчук, В. Г. Андруш. – Минск : БГАТУ, 2012. – 244 с.

36. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний : ТКП 339-2011. – Утв. пост. Минэнерго Республики Беларусь от 01.12.2011 г. № 26. – Минск : Минэнерго, 2011. – 593 с.

37. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей : ТКП 181-2009. – Утв. пост. Минэнерго Республики Беларусь от 20.05.2009 № 16. – Минск : Минэнерго, 2009. – 324 с.

38. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок : ТКП 427-2012. – Утв. пост. Минэнерго Республики Беларусь от 28.11.2012 № 228. – Минск : Минэнерго, 2013. – 148 с.

39. Электроустановки зданий. Ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током : ГОСТ 30331.3-95. – Введ. пост. Госстандарта России от 31.10.94 № 254. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. – 83 с.

40. Защита сельскохозяйственных животных от поражения электрическим током. Общие требования: ТКП 538-2014. – Утв. пост. Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 23.07.2014 № 37. – Минск : Минсельхозпрод, 2014. – 45 с.

41. Федорчук, А. И. Производственная безопасность / А. И. Федорчук. – Минск : ЗАО «Техноперспектива», 2005. – 304 с.

42. Федорчук, А. И. Безопасность производственных процессов в животноводстве / А. И. Федорчук. – Минск : ЗАО «Техноперспектива», 2007. – 350 с.

43. Федорчук, А. И. Безопасность труда при техническом обслуживании и ремонте сельскохозяйственной техники / А. И. Федорчук. – Минск : Бел. энцикл. імя П. Броўкі, 2009. – 263 с.

44. Лазаренков, А. М. Охрана труда в энергетической отрасли : учебник / А. М. Лазаренков, Л. П. Филянович, В. П. Бубнов. – Минск : ИВЦ Минфина, 2010. – 655 с.

45. Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций : ТКП 336–2011. – Утв. пост. Минэнерго Республики Беларусь от 12.08.2011 № 184. – Минск : Минэнерго, 2011. – 198 с.

46. Электробезопасность : пособие / сост.: А. И. Федорчук, В. Г. Андруш, О. В. Абметко. – Минск : БГАТУ, 2012. – 197 с.

47. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2008 г. № 240 (в ред. постановлений Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 19.11.2009 г. № 124, от 21.12.2010 № 172, от 13.12.2011 № 123).

48. Санитарные нормы и правила «Гигиеническая классификация условий труда» : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 г. № 211 / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

49. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к организации технологических процессов и производственному оборудованию» : постановление Ми-

нистерства здравоохранения Республики Беларусь от 13.07.2010 г. № 93 / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

50. Санитарные нормы и правила «Требования к условиям труда работающих и содержанию производственных объектов» : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 29.12.2012 г. № 215 / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

51. Санитарные нормы и правила «Требования к производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий» и Гигиенический норматив «Предельно допустимые и допустимые уровни нормируемых параметров при работах с источниками производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий»: постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 26.12.2013 г. № 132 / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

52. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 16.11.2011 г. № 115 / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

53. Санитарные нормы и правила «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях» и Гигиенический норматив «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений» : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30.04.2013 г. № 33 / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

54. Правила по охране труда при проведении работ по возделыванию, уборке и подготовке льна к переработке : постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 18.01.2011 г. № 2 / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://mshp.minsk.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

55. «Положение о системе управления охраной труда Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь» :

Приказ Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 12.06.2013 г. № 191 / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://mshp.minsk.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

56. Санитарные нормы, правила и гигиенический норматив «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ» : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2008 г. № 240: в ред. от 19.11.2009 г. № 124 / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by>. – Дата доступа: 13.02.2014.

57. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны : ГОСТ 12.1.005-88. – Взамен ГОСТ 12.1.005-76. – Введ. 01.01.89 г. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1988. – 52 с.

58. Вибрационная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.012-2004. – Взамен ГОСТ 12.1.012-90. – Введ. 01.08.2009 г. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2009. – 20 с.

59. Цвета сигнальные и знаки безопасности : ГОСТ 12.4.026-76. – Введ. 01.01.1978 г. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1996. – 34 с.

60. Цвета сигнальные. Знаки пожарной безопасности. Общие технические требования. Методы испытаний : СТБ 1392-2003. – Введ. 01.11.2003 г. – Минск : БелГИСС, 2003. – 40 с.

61. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03, утв. Приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 30.12.2003 г. № 259. – Взамен СНИП 2.04.05-91. – Введ. 01.01.2005 г. – Минск : Минстройархитектуры, 2004. – 78 с.

62. ППБ 01-2014, утверждены постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 1.07.2014 № 3.

63. Федорчук, А. И. Охрана труда в организациях по переработке мясной и молочной продукции : учебное пособие / А. И. Федорчук, Л. Т. Ткачева. – Минск : Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі, 2010. – 256 с.

64. Аттестация рабочих мест по условиям труда : учебно-методическое пособие / Л. Г. Основина, Г. Ф. Назарова, О. В. Абметко. – Минск : БГАТУ, 2012. – 165 с.

65. Производственная санитария : практикум / Л. Т. Ткачева, М. В. Бренч, С. А. Корчик. – Минск : БГАТУ, 2012. – 220 с.

66. Охрана труда в АПК : практикум / В. Г. Андруш [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2013. – 162 с.

67. Федорчук, А. И. Снижение производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в АПК : монография / А. И. Федорчук, В. Г. Андруш. – Минск : БГАТУ, 2012. – 257 с.

68. Мисун, Л. В. Организационно-технические мероприятия для повышения безопасности и улучшения условий труда операторов мобильной сельскохозяйственной техники : монография / Л. В. Мисун [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2012. – 192 с.

69. Мисун, Л. В. Профессиональная успешность и безопасность операторов мобильной сельскохозяйственной техники: психофизиологический отбор и прогнозирование : монография / Л. В. Мисун, А. Н. Гурина. – Минск : БГАТУ, 2013. – 184 с.

70. Беляков, Г. И. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда : учебник для бакалавров / Г. И. Беляков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : издательство Юрайт, 2012. – 572 с.

71. Ткачева, Л. Т. Безопасность производственных процессов переработки сельскохозяйственной продукции : учебное пособие / Л. Т. Ткачева. – Минск : БГАТУ, 2010. – 269 с.

72. Производственная санитария : практикум / сост.: Л. И. Ткачева, М. В. Бренч, С. А. Корчик. – Минск : БГАТУ, 2012. – 218 с.

73. Никитин, В. С. Охрана труда на предприятиях пищевой промышленности / В. С. Никитин, Ю. М. Бурашников. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 393 с.

74. Шкрабак, В. С. Безопасность жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве / В. С. Шкрабак, А. В. Луковников, А. К. Тургиев. – Москва : КолосС, 2004. – 512 с.

75. Безопасность использования грузоподъемных механизмов : учебно-методическое пособие / сост.: Л. Т. Ткачева [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2007. – 92 с.

76. Курдюмов, В. И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности : учебное пособие для студентов ВУЗов / В. И. Курдюмов, Б. И. Зотов. – Москва : КолосС, 2005. – 216 с.

77. Правила по охране труда при ремонте, техническом обслуживании и постановке на хранение сельскохозяйственных машин, агрегатов и оборудования. Утверждено постановлением

Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 25 февраля 2008 г. № 14.

78. Межотраслевая типовая инструкция по охране труда при выполнении работ с ручным слесарно-монтажным инструментом. Утверждено постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 30.12.2008 г. № 213.

79. Межотраслевые правила по охране труда при холодной обработке металлов. Утверждено постановлением Министерства промышленности Республики Беларусь, Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 28 июля 2004 г. № 7/92 (в ред. постановления Минпрома, Минтруда и соцзащиты от 10.12.2007 г. № 22/171).

**РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ**

**Исходные данные**

Рассчитать естественную вентиляцию в животноводческом помещении. Количество животных, содержащихся на ферме – 150 гол. КРС; средний вес одного животного – 4 ц, температура воздуха – +4 °С, разница температуры внутреннего и наружного воздуха – 8 °С. Расчет проводим для холодного периода года. Высота трубы – 5 м, условия содержания животных – регулярная уборка навоза, применение достаточного количества соломенной подстилки.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

**Решение**

Необходимо определить требуемый воздухообмен в животноводческом помещении – количество воздуха, которое необходимо удалить из помещения или подать в него за 1 час.

Требуемый воздухообмен в животноводческом помещении рассчитывают:

1) из условия удаления избыточной влаги:

$$L_{H_2O} = \frac{W_{ж} + W_{исп}}{g_{в} - g_{н}} = \frac{52500 + 5250}{6,37 - 3,2} = 18218 \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (П1.1)$$

где  $W_{ж}$  – количество влаги, выделяемой всеми животными в виде пара, г/ч;

$$W_{ж} = W_i \cdot m_i = 350 \cdot 150 = 52500 \text{ г/ч}, \quad (П1.2)$$

где  $W_i$  – выделение влаги одним животным данной категории в виде пара, г/ч (см. табл. П1.1);

$m$  – количество животных;

$W_{исп}$  – количество влаги, испаряющейся с пола, потолка, кормушек, стен и перекрытий, г/ч (см. табл. П1.2), в процентах к общему количеству выделяемой влаги;

$$W_{исп} = 0,1 \cdot W_{ж} = 0,1 \cdot 52500 = 5250 \text{ г/ч};$$

$g_v$  – абсолютная влажность воздуха помещений, при которой относительная влажность остается в пределах норматива, г/м<sup>3</sup> (см. табл. П1.3);

$g_n$  – средняя абсолютная влажность наружного воздуха, вводимого в помещение в холодный период (ноябрь – март) по данной климатической зоне.

Для Минского района средняя температура в ноябре – марте составляет –3,5 °С, а абсолютная влажность – 3,2 г/м<sup>3</sup>.

Таблица П1.1

Выделение водяного пара и двуокиси углерода животными разных видов (по нормам технологического проектирования)

Животные	Масса, кг	Выделение одним животным	
		двуокиси углерода, л/ч	водяных паров, г/ч
Коровы стельные (сухостойные)	400	110	350
Коровы лактующие, удой 10 кг	500	128	410
Телята от 3-х до 4-х месяцев	90	37	118
Молодняк от 4-х месяцев и старше	120	48	153
Взрослые свиньи на откорме	100	47	132

Таблица П1.2

Количество влаги выделяемой животными при испарении воды с пола, кормушек, поилок, стен и перегородок

Условия содержания животных	Количество % от $W_{ж}$	
	Коровники, скотные дворы, телятники	Свинарники, маточники и откормочники
1	2	3
1. Удовлетворительный санитарный режим, исправно действующая канализация	7	9

Окончание табл. П1.2

1	2	3
2. Регулярная уборка навоза, применение достаточного количества торфяной подстилки	8	10
3. Регулярная уборка навоза, применение достаточного количества соломенной подстилки	10	12
4. Условия содержания удовлетворительные. Уборка навоза 2–3 раза в сутки. Нерегулярная работа канализации (засорение сточных желобов). Применение недостаточных количеств соломенной подстилки	15	20
5. Условия содержания удовлетворительные. Уборка навоза 2–3 раза в сутки. Нерегулярная работа канализации (засорение сточных желобов)	25	30

Таблица П1.3

Максимальная влажность для данной температуры воздуха

Температура воздуха, °С	Водяные пары, г/м <sup>3</sup>
-15	1,57
-10	2,3
-5	3,36
-1	4,52
0	4,87
+1	5,21
+6	7,26
+10	9,37
+18	15,33
+20	17,16
+26	25,55
+30	30,13

2. Из условия удаления двуокиси углерода, м<sup>3</sup>/ч:

Таблица П1.4

Минимальный воздухообмен ( $L''$ ) на 1 ц живой массы, м<sup>3</sup>/ч

Вид животных	Периоды года	
	холодный	теплый
Крупный рогатый скот	17	70
Телята и молодняк КРС	20	100
Свиноматки, поросята	15	70
Свины на откорме	20	70

Общую площадь сечения вытяжных и приточных каналов, а также их количество при вентиляции с естественным побуждением, определяется по формуле

$$F_1 = \frac{L}{3600v} = \frac{18218}{3600 \cdot 0,84} = 6 \text{ м}^2, \quad (\text{П1.7})$$

где  $F_1$  – общая площадь поперечного сечения вытяжных шахт, м<sup>2</sup>;  
 $v$  – скорость движения воздуха в вытяжной шахте, м/с;  
 3600 – количество секунд в одном часе.

Скорость движения воздуха в вентиляционных трубах при разной высоте труб и при различных температурах воздуха внутри помещения и наружного воздуха определяется по табл. П1.5.

Таблица П1.5

Скорость движения воздуха в вентиляционных трубах

Разница температур внутреннего и наружного воздуха, °С ( $\Delta t$ )	Высота трубы в метрах				
	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
6	0,64	0,73	0,8	0,87	0,92
8	0,76	0,84	0,93	1	1,07
14	1,01	1,13	1,24	1,34	1,43
16	1,09	1,22	1,33	1,44	1,54
24	1,35	1,51	1,66	1,79	1,91

$$L_{CO_2} = \frac{Y}{Y_g - Y_n} = \frac{16500}{2,3 - 0,3} = 8250 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (\text{П1.3})$$

где  $Y$  – количество двуокиси углерода, выделяемой всеми животными, находящимися в данном помещении, л/ч;

$Y_g$  – допустимое содержание двуокиси углерода в воздухе помещения, л/м<sup>3</sup> (согласно нормам оно не должно превышать 2,5 л/м<sup>3</sup>);

$Y_n$  – содержание окиси углерода в приточном воздухе, принимается в среднем 0,3 л/м<sup>3</sup>.

Количество двуокиси углерода, выделяемой всеми животными, л/ч:

$$Y = Y_i \cdot m = 110 \cdot 150 = 16500 \text{ л/ч}, \quad (\text{П1.4})$$

где  $Y_i$  – выделение двуокиси углерода одним животным данной категории, л/ч (см. табл. П1.1);

$m$  – количество животных данной категории.

Из двух полученных расходов воздуха ( $L_{H_2O}$ ,  $L_{CO_2}$ ) принимается наибольшее значение  $L$ .

После этого необходимо определить удельный воздухообмен  $L'$  (м<sup>3</sup>) из расчета подачи воздуха на 1 ц живого веса по формуле

$$L' = \frac{L}{m \cdot G} = \frac{18218}{150 \cdot 4} = 30,4 \text{ м}^3, \quad (\text{П1.5})$$

где  $L$  – наибольшее значение воздухообмена, м<sup>3</sup>/ч;

$m$  – количество животных;

$G$  – средний живой вес одного животного, ц.

Полученное значение  $L'$  надо сравнить с нормами воздухообмена на 1 ц живого веса  $L''$ , приведенными в табл. П1.4 для холодного периода года.

$$17 < 30,4.$$

Если  $L'' > L'$ , то необходимый воздухообмен определяется, исходя из значения  $L''$  (м<sup>3</sup>/ч).

$$L = m \cdot G \cdot L'', \quad (\text{П1.6})$$

где  $m$  – количество животных, гол.;  $G$  – вес одного животного, ц.

Размеры вытяжных шахт (колодцев) и приточных каналов рекомендуется выбирать 1×1 м или 1×1,5 м. В таких шахтах (каналах) устраиваются поворотные заслонки, изменяя положение которых можно регулировать проходное сечение вытяжного канала или шахты, значит, и интенсивность вытяжки. Большие вытяжные шахты (2×1,5 м или 1,5×3 м) не обеспечивают равномерной циркуляции воздуха по длине животноводческих помещений.

Количество вытяжных шахт рассчитывается по формуле

$$n_1 = \frac{F_1}{F_1} = \frac{6}{1} = 6, \tag{П1.8}$$

где  $F_1$  – площадь одной вытяжной шахты, м<sup>2</sup>.

Принимаем 6 вытяжных шахт.

Площадь приточных каналов  $F_{II}$  составляет 70–80 % от общей площади вытяжных шахт и определяется по формуле

$$F_{II} = 0,7 \cdot F_1 = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ м}^2, \tag{П1.9}$$

где  $F_1$  – общая площадь сечения вытяжных и приточных каналов, м<sup>2</sup>.

Число приточных каналов  $n_2$  рассчитывается по следующей формуле:

$$n_2 = \frac{F_{II}}{F_2} = \frac{4,2}{1} = 4,2 = 4, \tag{П1.10}$$

где  $F_{II}$  – площадь приточных каналов, м<sup>2</sup>;

$F_2$  – площадь одного приточного канала, м<sup>2</sup>.

Принимаем число приточных каналов – 4.

## РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

### Исходные данные

Определить необходимую площадь световых проемов при одностороннем боковом естественном освещении помещения длиной  $L_n = 18$  м, шириной  $B = 12$  м. Окна расположены под углом  $90^\circ$  к горизонту. Высота от рабочей поверхности до верха окна  $h_1 = 4$  м. Расстояние до здания, расположенного напротив окон  $P = 12$  м. Высота карниза этого здания над подоконниками окон в рассматриваемом производственном помещении  $H_k = 6$  м. Расстояние от окна до самого удаленного от него рабочего места  $l = 10$  м. Средневзвешенный коэффициент отражения света от поверхностей помещения и земли  $\rho = 0,3$ . Светопроникающий материал – стекло оконное листовое, гладкое, двойное. Вид оконного переплета – деревянные двойные раздельные рамы. Светозащитные устройства – горизонтальные стационарные жалюзи. Несущие конструкции – железобетонные фермы. Область в Республике Беларусь – Могилевская. Ориентация световых проемов по сторонам горизонта – ЮВ. Разряд работ – IV. Концентрация пыли  $C =$  менее  $1 \text{ мг/м}^3$ .

### Решение

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

Расчет площади световых проемов при боковом освещении помещений производится по формуле

$$S_o = \frac{S_{II} \cdot e_N \cdot K_3 \cdot \eta_o \cdot K_{зд}}{\tau_o \cdot r_1 \cdot 100}, \tag{П2.1}$$

где  $S_o, S_{\phi}$  - площади соответственно световых проемов окон (при боковом освещении) и фонарей, м<sup>2</sup>;

$S_{II}$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;

$e_N$  – нормированное значение коэффициента естественной освещенности (табл. П2.1);

$K_3$  – коэффициент запаса (табл. П2.10);

$\eta_o$  – световая характеристика окон (табл. П2.2);

$K_{зд}$  – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями (табл. П2.3);

$r_1$  – коэффициент, учитывающий повышение  $e_N$ , благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и земли, прилегающей к зданию (табл. П2.8, П2.9);

$\tau_o$  – общий коэффициент светопропускания, определяемый по формуле

$$\tau_o = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (\text{П2.2})$$

где  $\tau_1$  – коэффициент светопропускания материала (табл. П2.4);

$\tau_2$  – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах окна (табл. П2.5);

$\tau_3$  – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах (табл. П2.6);

$\tau_4$  – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях (табл. П2.7);

$\tau_5$  – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимается равным 0,9.

#### ***Последовательность расчета бокового освещения***

1. Выбрать вид естественного освещения: боковое одностороннее, боковое двустороннее, верхнее через светоаэрационный фонарь или комбинированное.

2. По разряду зрительной работы определить значение  $e_N$  (табл. П2.1).

$$e_N = 1,5.$$

Нормы освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях промышленных предприятий  
извлечение из ТКП 45-2.04-153-2009 (02250)

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение			
						Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации		КЕО $e_n$ , %					
						при системе комбинированного освещения	при системе общего освещения	при системе освещения	в том числе от общего		Р	К <sub>п</sub> , %	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
									всего	в том числе от общего						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	Малый	Темный	5000	500	—	20	10	—	—	6,0	2,0		
						4500	500	—	10	10						
			б	Малый	Средний	4000	400	1250	20	10						
						3500	400	1000	10	10						
			в	Малый	Светлый	2500	300	750	20	10						
						Средний	Средний	2000	200	600					10	10
			г	Средний	Светлый	1500	200	400	20	10						
						Большой	Светлый	1250	200	300					10	10

Продолжение табл. П2.1

Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	а	Малый	Темный	4000	400	—	20	10	—	—	4,2	1,5
						3500	400	—	10	10				
			б	Малый	Средний	3000	300	750	20	10				
						Средний	Темный	2500	300	600				
			в	Малый	Светлый	2000	200	500	20	10				
						Средний	Средний	1500	200	400				
			г	Средний	Светлый	1000	200	300	20	10				
						Большой	Светлый	750	200	200				
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	а	Малый	Темный	2000	200	500	40	15	—	—	3,0	1,2
						1500	200	400	20	15				
			б	Малый	Средний	1000	200	300	40	15				
						Средний	Темный	750	200	200				
			в	Малый	Светлый	750	200	300	40	15				
						Средний	Средний	600	200	200				
			г	Средний	Светлый	400	200	200	40	15				
						Большой	Светлый	400	200	200				
Большой	Средний	Темный	750	200	300	40	20							
			500	200	200	40	20							
Средней точности	Свыше 0,5 до 1,0	IV	а	Малый	Темный	750	200	300	40	20	4	1,5	2,4	0,9
						б	Малый	Средний	500	200				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Малой точности	Свыше 1 до 5	V	в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200	40	20	3	1	1,8	0,6
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	–	–	200	40	20				
			а	Малый Средний	Темный Средний	400	200	300	40	20				
			б	Малый Средний Большой	Средний Средний Темный	–	–	200	40	20				
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
				г	Средний Большой Большой									
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII		То же		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Общее наблюдение за ходом производственного процесса постоянное		VIII	а	То же		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Периодическое наблюдение при постоянном пребывании людей в помещении		VIII	б	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	75	–	–	1	0,3	0,7	0,2
Периодическое наблюдение при периодическом пребывании людей в помещении			в	То же		–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями			г	То же		–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1

3. Определить отношение длины  $L_n$  помещения к глубине помещения ( $L_n / B = 18 / 12 = 1,5$ ), отношение глубины помещения к высоте  $h_1$  от уровня условной рабочей поверхности до верха окон ( $B / h_1 = 12 / 4 = 3$ ) и по табл. П2.2 установить световую характеристику световых проемов.

Таблица П2.2

Значение световой характеристики окна  $\eta_o$

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

*Примечание.*

Глубина помещения  $B$  при боковом естественном освещении – расстояние между наружной поверхностью стены со светопроемами и наиболее удаленной от нее стеной помещения.

Длина помещения  $L_n$  – расстояние между стенами, перпендикулярными наружной стене.  $\eta_o = 15$ .

4. Определить значение коэффициента  $K_{зд}$ , учитывающего затенение окон противостоящими зданиями в зависимости от отношения расстояния до противостоящего здания  $P$  к высоте расположения карниза противостоящего здания над подоконником окна  $H_k$  (табл. П2.3).

Таблица П2.3

Значение коэффициента  $K_{зд}$

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

$K_{зд} = 1,1$ .

4. Рассчитать значение  $\tau_o$  по формуле (П2.2), предварительно определив значения  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  и  $\tau_4$  по табл. П2.4, П2.5, П2.6, П2.7.

Таблица П2.4

Значение коэффициента  $\tau_1$

Вид светопропускающего материала		Значение $\tau_1$
Стекло оконное листовое	Одинарное	0,9
	Двойное	0,8
	Тройное	0,75
Стекло витринное толщиной 6–8 мм		0,8
Стекло листовое армированное		0,6
Стекло листовое узорчатое		0,65
Стекло листовое со специальными свойствами	Солнцезащитное	0,65
	Контрастное	0,75
Органическое стекло	Прозрачное	0,9
	Молочное	0,6
Пустотелые стеклянные блоки	Светорассеивающие	0,5
	Светопрозрачные	0,55
Стеклопакеты		0,7

Таблица П2.5

Значение коэффициента  $\tau_2$

Вид переплета		Значение $\tau_2$
Переплеты для окон и фонарей промышленных зданий		
Деревянные	Одинарные	0,75
	Спаренные	0,7
	Двойные раздельные	0,6
Стальные	Одинарные открывающиеся	0,75
	Одинарные глухие	0,9
	Двойные открывающиеся	0,6
	Двойные глухие	0,9

Вид переплета	Значение $\tau_2$	
Переплеты для окон жилых, общественных и вспомогательных зданий		
Деревянные	Одинарные	0,8
	Спаренные	0,75
	Двойные раздельные	0,85
	С тройным остеклением	0,5
Металлические	Одинарные	0,9
	Спаренные	0,85
	Двойные раздельные	0,8
	С тройным остеклением	0,7
Стекложелезобетонные панели с пустотелыми стеклянными блоками при толщине шва	20 мм и менее	0,9
	Более 20 мм	0,85

Таблица П2.6

Значение коэффициента  $\tau_3$ 

Солнцезащитное устройства, изделия и материалы	Значение $\tau_4$
1. Убирающиеся регулируемые жалюзи и шторы (междустекольные, внутренние, наружные)	1
2. Стационарные жалюзи и экраны с защитным углом не более 45° при расположении пластин жалюзи или экранов под углом 90° к плоскости окна: горизонтальные вертикальные	0,65 0,75
3. Горизонтальные козырьки: с защитным углом не более 30° с защитным углом от 15 до 45° (многоугольные)	0,8 0,9-0,6

Значение коэффициента $\tau_4$		Значение $\tau_3$
Несущие конструкции покрытий		
Стальные фермы		0,9
Железобетонные и деревянные фермы и арки		0,8
Балки и рамы сплошные при высоте сечения	50 см и более	0,8
	Менее 50 см	0,9

$$\tau_o = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5 = 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,22.$$

6. По табл. П2.8 и П2.9 установить значение  $r_1$ ;  $r_1 = 1,5$ .

Таблица П2.8

Значение коэффициента  $r_1$  при боковом освещении

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

Окончание табл. П2.8

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

Таблица П2.9

Значение коэффициента  $r_1$  при боковом двустороннем освещении

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

Окончание табл. П2.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0,8	2,8	2,4	1,9	1,9	1,6	1,3	1,65	1,5	1,25
	0,9	3,65	2,9	2,6	2,2	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3
	1	4,45	3,35	2,65	2,4	2,1	1,6	2	1,7	1,4
Более 3,5	0,1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1
	0,2	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,05	1,05
	0,3	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,25	1,2	1,1
	0,4	2,35	2	1,75	1,6	1,4	1,3	1,25	1,25	1,15
	0,5	3,25	2,8	2,4	1,9	1,7	1,45	1,65	1,5	1,4
	0,6	4,2	3,5	2,85	2,25	2	1,7	1,95	1,7	1,4
	0,7	5,1	4	3,2	2,55	2,3	1,85	2,1	1,8	1,5
	0,8	5,8	4,5	2,6	2,8	2,4	2,95	2,25	2	1,5
	0,9	6,2	4,9	3,8	3,4	2,8	2,3	2,45	2,1	1,7
	1	6,3	6	4	3,5	2,9	2,4	2,6	2,25	1,8

7. Определить коэффициент запаса  $K_3$ , учитывающий загрязнение оконных проемов (табл. П2.10).  $K_3 = 1,3$ .

Таблица П2.10

Значение коэффициента запаса  $K_3$  (извлечение из ТКП 45-2.04-153-2009 (02250))

Помещения и территории	Примеры помещений	Искусственное освещение			Естественное освещение			
		Коэффициент запаса $K_3$			Коэффициент запаса $K_3$			
		Количество чисток светильников в год			Количество чисток остекления светопроемов в год			
		Эксплуатационная группа светильников			Угол наклона свето- пропускающего материала к горизонту, градусы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне</b>								

Продолжение табл. П2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
а) свыше 5 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти	Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов	<u>2,0</u> 18	<u>1,7</u> 6	<u>1,6</u> 4	<u>2,0</u> 4	<u>1,8</u> 4	<u>1,7</u> 4	<u>1,5</u> 4
б) от 1 до 5 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти	Цехи кузнечные, литейные, мартеновские, сборного железобетона	<u>1,8</u> 6	<u>1,6</u> 4	<u>1,6</u> 2	<u>1,8</u> 3	<u>1,6</u> 3	<u>1,5</u> 3	<u>1,4</u> 3
в) менее 1 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти	Цехи инструментальные, сборочные, механические, механосборочные, пошивочные	<u>1,5</u> 4	<u>1,4</u> 2	<u>1,4</u> 1	<u>1,6</u> 2	<u>1,5</u> 2	<u>1,4</u> 2	<u>1,3</u> 2
г) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных обрывать с влагой слабые растворы кислот, щелочей, а также обладающих коррозией способностью	Цехи химических заводов по выпарке кислот, щелочей, едких химических реактивов, ядохимикатов, удобрений, цехи гальванических покрытий и различных отраслей промышленности с применением электролиза	<u>1,8</u> 6	<u>1,6</u> 4	<u>1,6</u> 2	<u>2,0</u> 3	<u>1,8</u> 3	<u>1,7</u> 3	<u>1,5</u> 3
<b>2. Производственные помещения с особым режимом по чистоте воздуха при обслуживании светильников</b>								
а) с технического этажа		<u>1,3</u> 4	-	-	-	-	-	-
б) снизу из помещения		<u>1,4</u> 2	-	-	-	-	-	-

Продолжение табл. П2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>3. Помещения общественных и жилых зданий</b>								
а) пыльные, жаркие и сырые	Горячие цехи предприятий общественного питания, охлаждаемые камеры, помещения для приготовления растворов в прачечных, душевые и т. д.	<u>1,7</u> 2	<u>1,6</u> 2	<u>1,6</u> 2	<u>2,0</u> 3	<u>1,8</u> 3	<u>1,7</u> 3	<u>1,6</u> 3
б) с нормальными условиями среды	Кабинеты и рабочие помещения, жилые комнаты, учебные помещения, лаборатории, читальные залы, залы совещаний, торговые залы и т. д.	<u>1,4</u> 2	<u>1,4</u> 1	<u>1,4</u> 1	<u>1,5</u> 2	<u>1,4</u> 2	<u>1,3</u> 1	<u>1,2</u> 1
<b>4. Территории с воздушной средой, содержащей</b>								
а) большое количество пыли (более 1 мг/м <sup>3</sup> )	Территории металлургических, химических, горнодобывающих предприятий, шахт, рудников, железнодорожных станций и прилегающих к ним улиц и дорог	<u>1,5</u> 4	<u>1,5</u> 4	<u>1,5</u> 4	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
б) малое количество пыли (менее 1 мг/м <sup>3</sup> )	Территории промышленных предприятий, кроме указанных в 4а, и общественных зданий	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	–	–	–	–
5. Населенные пункты	Улицы, площади, дороги, территории жилых районов, парки, бульвары	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	–	–	–	–
	Пешеходные тоннели, фасады зданий, памятники, транспортные тоннели	$\frac{1,7}{2}$	–	–	–	–	–	–

**Примечания.**

1. Значения коэффициента запаса, указанные в графах 6–9, следует умножать на 1,1 – при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армированной пленки и матового стекла, а также при использовании световых проемов для аэрации; на 0,9 – при применении органического стекла.

2. Значения коэффициентов запаса, указанные в графах 3–5, приведены для разрядных источников света. При использовании ламп накаливания их следует умножать на 0,85.

3. Значения коэффициентов запаса, указанные в графе 3, следует снижать при односменной работе по I б, I г – на 0,2; по I в – на 0,1; при двухсменной работе – по I б, I г – на 0,15.

8. Рассчитать площадь световых проемов:

$$S_o = \frac{S_{\Pi} \cdot e_N \cdot K_3 \cdot \eta_o \cdot K_{зд}}{\tau_o \cdot r_1 \cdot 100} = \frac{216 \cdot 1,5 \cdot 1,3 \cdot 15 \cdot 1,1}{0,22 \cdot 1,5 \cdot 100} = 210,6 \text{ м}^2.$$

9. Определить необходимое количество окон, обеспечивающее равномерное освещение площади помещения, предварительно приняв размеры окна по табл. П2.11.

Габаритные размеры окон, применяемых в промышленных и сельскохозяйственных постройках

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

Количество окон определяют по формуле

$$n_o = \frac{\sum S_o}{S_o} = \frac{210,6}{1,5} = 140,4 = 140, \quad (\text{П2.3})$$

где  $n_o$  – количество окон (фонарей), шт.;

$S_o$  – площадь одного окна (фонаря), м<sup>2</sup>; (по табл. П2.11 выбираем габаритные размеры окон, например 860·1760 = 1,5 м<sup>2</sup>);

$\sum S_o$  – общая площадь световых проемов.

### Приложение 3

## РАСЧЕТ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

### Исходные данные

Расчет общего равномерного освещения производится по **методу коэффициента использования светового потока**, позволяющему определить необходимое количество источников света и их мощность.

Длина помещения  $A = 28$  м, ширина  $B = 14$  м, высота  $H = 3,6$  м. Запыленность помещения  $C = 1,5$  мг/м<sup>3</sup>. Количество чисток светильников в год –  $n_{\text{ч}} = 6$ .

### Решение

По разряду и подразряду зрительной работы определяется минимально необходимая освещенность, создаваемая общим освещением. При выполнении в помещениях работ I–III, IVa, IVб, IVв, Va разрядов применяется система комбинированного освещения (общее и местное).

Рассчитывается необходимый световой поток одной лампы (лм):

$$F_{\text{л}} = \frac{E_{\text{min}} \cdot K_3 \cdot Z \cdot S_{\text{п}} \cdot 100}{N_{\text{св}} \cdot n_{\text{л}} \cdot \varphi}, \quad (\text{ПЗ.1})$$

где  $E_{\text{min}}$  – минимальная освещенность для данного разряда и подразряда работ по ТКП 45-2.04-153-2009, лк;

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий старение и загрязнение ламп;

$Z$  – коэффициент, учитывающий неравномерность освещения;

$S_{\text{п}}$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;

$N_{\text{св}}$  – общее расчетное число светильников, шт.;

$n_{\text{л}}$  – количество ламп в светильнике (для люминесцентных ламп), шт.;

$\eta_{\text{и}}$  – коэффициент использования светового потока.

### Порядок расчета общего равномерного освещения

1. С учетом особенностей технологического процесса (класса пожароопасности или взрывоопасности по ПЭУ) и условий окружающей среды (помещение нормальное, сухое, влажное и т. д.) выбирают тип светильника. Рекомендуемые типы светильников приведены в табл. ПЗ.1.

Таблица ПЗ.1

Допустимые типы светильников в зависимости от условий окружающей среды

Характеристика помещений	Допустимый тип светильников с лампами накаливания	Допустимый тип светильников с люминесцентными лампами
Сухие и влажные	Все типы	ОД, ОДО, ОДО-2, ОДОР, ОДО –2, ОДОР–4, МОДР, ПВЛ, МЛ, ВОД, ВЛВ, ВЛН, ПЛУ, ШОД, ШЛД, АОД, ПНЗ
Сырые	У, Ум, Гэ, Лц, Фм, Шм, ПУ	ОД, ОДО, ОДОР, МОДР, ПВЛ, ВОД, ВЛВ, ВЛН, ПЛУ, ПНЗ
Особо сырые	Лц, У, Ум, Гз, Гэ, СПО, Фм	ПВЛ, ВОД, ВЛВ, ВЛН, ПЛУ
С химически активной средой	Лц, Фм, Гэ, СХ, НОБ	ПВЛ, ВОД, ВЛВ, ВЛН, ПЛУ, ПНЗ, РВЛ
Пыльные	А, У, Ум, Уп, Гэ, Гг, ПУ, ПГТ, СХ, РН, НОБ, Фм, РНЛ	ПВЛ, ВОД, ВЛВ, ВЛН, ПЛУ, СХЛ
Пожароопасные	У, Ум, Уп, Гэ, Гп, ПГТ, Фм, ПУ, ПГТ, РН, СХ, НОБ, Шм,	ПВЛ, ВОД, ВЛВ, ВЛН, ПЛУ, СХЛ
Взрывоопасные	ВЗГ, ВЗБ, ВЗГ, В4А, В4Б, ПУ, ПГТ, РН, СХ, Фм, НОБ	ВОД, ВЛВ, ВЛН, ПЛУ, НОГЛ

Тип светильника	$\gamma$
Промышленный уплотненный без отражателя ПУ, СПБ	2,0
Промышленный уплотненный с отражателем ПУ	1,5
Для химически активной среды без отражателя СХ	2,0
Для химически активной среды с отражателями СХ и СХМ	1,4
Взрывозащищенные без отражателей	2,0
Взрывозащищенные с отражателем	1,4
Светильники с люминесцентными лампами	
ОД, ОДР, ОДОР, МОД, ПВЛ-6, НОГЛ, ПЛУ, ОДО	1,4
ВОД, ВЛН, ПВЛ-1	1,5

Высоту подвеса светильника над рабочей поверхностью принимают 2,5–3,0 м, или рассчитывают по формуле

$$h_{\text{под}} = H - h_{\text{св}} - h_{\text{р}} = 3,6 - 0,2 - 0,8 = 2,6 \text{ м}, \quad (\text{ПЗ.3})$$

где  $H$  – высота помещения, м;

$h_{\text{св}}$  – высота свеса светильника от потолка, м;

$h_{\text{р}}$  – высота рабочей поверхности, м.

4. Определяют расстояние между рядами светильников:

$$L_{\text{св}} = \gamma \cdot h_{\text{под}} = 1,4 \cdot 2,6 = 3,64 \text{ м}. \quad (\text{ПЗ.4})$$

5. Расстояние от стены помещения до первого ряда светильников (светильники располагаются параллельно продольной оси здания), м:

$$L_1 = 0,3 L_{\text{св}} = 3,64 \cdot 0,3 = 1,092 \text{ м}. \quad (\text{ПЗ.5})$$

6. Расстояние между крайними рядами светильников по ширине помещения,:

$$L_2 = B - 2L_1 = 14 - 2 \cdot 1,092 = 11,6 \text{ м}, \quad (\text{ПЗ.6})$$

где  $B$  – ширина помещения, м.

7. Количество рядов светильников по ширине помещения:

$$n_{\text{р,св}} = L_2 / L_{\text{св}} = 11,6 / 3,64 = 3,2 = 3 \text{ ряда}. \quad (\text{ПЗ.7})$$

Так как животноводческие помещения относятся к помещениям с повышенной опасностью (сырые, с химически активной средой, пожароопасные и т. д.), то тип светильника выбираем ОДОР-2.

2. По разряду и подразряду выполняемой работы определяют необходимую минимальную освещенность при общем равномерном освещении по табл. ПЗ.1. Нормируемая освещенность  $E_{\text{мин}} = 75$  лк.

Нормы освещенности, приведенные в прилож. 8, следует повышать на одну ступень шкалы освещенности в перечисленных ниже случаях:

а) при работах I–IV разрядов, если зрительная работа выполняется более половины рабочего дня;

б) при повышенной опасности травматизма, если освещенность от системы общего освещения составляет 150 лк и менее (работа на дисковых пилах, гильотинных ножницах и т. п.);

в) в помещениях, где более половины работающих старше 40 лет.

3. По выбранному типу светильника определяют оптимальное отношение расстояния между светильниками к высоте подвеса над рабочей поверхностью, обеспечивающее равномерность освещения рабочих мест (табл. ПЗ.2):

$$\gamma = L_{\text{св}} / h_{\text{под}} = 1,4, \quad (\text{ПЗ.2})$$

где  $L_{\text{св}}$  – расстояние между светильниками, м;

$h_{\text{под}}$  – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

Таблица ПЗ.2

Наивыгоднейшие значения отношения  $\gamma = L_{\text{св}} / h_{\text{св}}$  для некоторых распространенных светильников

Тип светильника	$\gamma$
Светильники с лампами накаливания	
Универсаль без затенителя У	1,5
Универсаль с затенителем Уз	1,4
Глубокоизлучатель эмалированный Гэ	1,4
Глубокоизлучатель Гс	0,9
Глубокоизлучатель Гк	2,7
Фарфоровый полугерметичный Фм	2,0

8. Расстояние между светильниками в ряду:

$$L_3 = 0,5 h_{\text{под.}} = 0,5 \cdot 2,6 = 1,3 \text{ м.} \quad (\text{ПЗ.8})$$

9. Расстояние между крайними светильниками по длине ряда:

$$L_4 = A - 2 L_1 = 28 - 2 \cdot 1,092 = 25,816 \text{ м.} \quad (\text{ПЗ.9})$$

10. Количество светильников в ряду:

$$n_{\text{св.р}} = L_4 / L_3 + 1 = (25,816 / 1,3) + 1 = 20 \text{ шт.} \quad (\text{ПЗ.10})$$

11. Общее количество светильников в цехе:

$$N_{\text{св}} = n_{\text{р}} \cdot n_{\text{св.р}} = 20 \cdot 3 = 60 \text{ шт.} \quad (\text{ПЗ.11})$$

12. По табл. П2.10 определяют коэффициент запаса  $K_3$ , учитывающий снижение светового потока при старении и загрязнении ламп.  $K_3 = 1,8$ .

13. Коэффициент  $Z$ , учитывающий неравномерность освещения, принять 1,15 для ламп накаливания и ДРЛ и 1,1 – для люминесцентных ламп.  $Z = 1,1$ .

14. Коэффициенты отражения потолка, стен, пола определить по табл. П2.8, П2.9. Коэффициент отражения потолка –  $\rho_{\text{пт}} = 50\%$ , стен –  $\rho_{\text{ст}} = 30\%$ .

15. Коэффициент использования светового потока  $\phi$  определить по индексу помещения и коэффициентам отражения (табл. ПЗ.3).

Индекс помещения вычислить по формуле

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{\text{под.}} \cdot (A + B)} = \frac{392}{2,6 \cdot (28 + 14)} = 3,6, \quad (\text{ПЗ.12})$$

где  $A$  – длина помещения, м;

$B$  – ширина помещения, м;

$h_{\text{под.}}$  – высота подвеса светильников общего освещения над рабочей поверхностью, м.

$$\phi = 63.$$

Коэффициенты использования светового потока различных ламп  $\eta$ 

Тип светильника	$\rho_{\text{пт}}, \%$	$\rho_{\text{ст}}, \%$	Показатель помещения $i$																
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
У и	70	50	22	32	39	44	47	49	50	52	55	58	60	62	64	66	68	70	73
УП	50	30	20	26	34	38	41	43	45	47	50	53	55	57	59	62	64	66	69
М	30	10	17	23	30	34	37	39	41	43	46	48	51	53	55	58	61	62	64
У <sub>3</sub>	70	50	19	27	32	35	37	39	40	42	44	46	48	49	51	53	55	56	57
	50	30	15	22	28	31	33	35	36	38	40	42	44	45	47	49	51	52	53
	30	10	12	19	25	28	30	31	32	34	36	39	40	42	44	46	48	48	51
Г <sub>3</sub> и	70	50	26	32	36	40	43	45	47	50	54	57	59	61	62	64	66	67	69
	50	30	22	27	31	34	37	40	42	45	49	53	55	57	58	61	63	64	66
	30	10	19	24	28	31	34	37	39	42	46	49	52	54	55	58	60	61	63
В <sub>3</sub> Г	70	50	16	19	22	26	27	28	30	32	34	36	38	39	41	44	46	47	49
	50	30	10	12	16	19	20	21	22	24	26	28	30	31	33	35	37	38	40
Лц	30	10	7	9	12	14	15	16	17	18	20	22	23	25	26	28	30	32	34
	70	50	22	29	34	38	41	44	46	49	52	54	56	58	60	62	64	66	68
	50	50	21	26	31	35	37	40	42	44	47	50	52	53	55	57	58	60	62
СК	50	30	18	22	27	31	34	36	38	40	43	46	48	49	51	52	54	56	58
	70	50	15	19	22	25	28	30	32	35	38	40	42	45	47	49	51	53	55
	50	50	11	14	16	18	20	22	23	26	28	30	31	33	35	37	39	41	42
ОД	50	30	9	11	14	16	18	19	21	23	25	27	29	30	32	34	36	38	40
	70	50	30	34	38	42	45	47	50	53	57	60	62	64	65	67	69	70	72
	50	30	25	29	33	36	39	42	44	48	52	54	57	59	60	63	65	66	69
ОДР и	30	10	20	25	29	33	35	38	40	43	47	51	54	56	57	60	62	64	66
	70	50	28	32	35	38	41	44	46	48	52	54	56	58	60	62	63	64	65
ПВЛ-6	50	30	24	27	30	33	36	38	41	44	47	50	52	54	55	58	59	61	62
	30	10	21	24	27	29	32	34	36	39	43	46	49	51	52	55	57	58	60

16. Необходимый световой поток одной лампы:

$$F_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{мин}} \cdot K_3 \cdot Z \cdot S_{\text{п}} \cdot 100}{N_{\text{св}} \cdot n_{\text{л}} \cdot \phi} = \frac{75 \cdot 1,8 \cdot 1,1 \cdot 392 \cdot 100}{60 \cdot 2 \cdot 63} = 770 \text{ лм. (ПЗ.13)}$$

17. По световому потоку выбрать лампу необходимой мощности со световым потоком не менее расчетного  $F_{\text{расч}}$  по табл. ПЗ.4 или ПЗ.5, ПЗ.6.

Выбираем люминесцентную лампу типа ЛХБ-20.  $F_{\text{мин}} = 900$  лм.

Таблица ПЗ.4

Величина светового потока ламп накаливания

Мощность ламп, Вт	Напряжение в сети, В	Световой поток, лм	Напряжение в сети, В	Световой поток, лм
25	110, 120, 127	225	220	191
40	110, 120, 127	380	220	336
60	110, 120, 127	645	220	540
75	110, 120, 127	881	220	671
100	110, 120, 127	1275	220	1000
150	110, 120, 127	2175	220	1710
200	110, 120, 127	3050	220	2510
300	110, 120, 127	4875	220	4100
500	110, 120, 127	8725	220	7560
750	110, 120, 127	13690	220	12230
1000	110, 120, 127	19000	220	17200

Таблица ПЗ.5

Величина светового потока ламп ДРЛ

Тип лампы	Световой поток, лм	Напряжение на лампе, В	Мощность, Вт
ДРЛ-80	2000	115	80
ДРЛ-125	4800	125	125
ДРЛ-250	9500	140	250
ДРЛ-400	18000	143	400
ДРЛ-700	33000	143	700
ДРЛ-1000	46000	143	1000

Величина светового потока люминесцентных ламп

Тип ламп	Световой поток, лм	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В
ЛДЦ-15	450	15	58
ЛД-15	525		
ЛХБ-15	600		
ЛБ-15	630		
ЛТБ-15	600		
ЛДЦ-20	620	20	60
ЛД-20	760		
ЛХБ-20	900		
ЛБ-20	980		
ЛТБ-20	900		
ЛДЦ-30	1100	30	108
ЛД-30	1380		
ЛХБ-30	1500		
ЛБ-30	1740		
ЛТБ-30	1500		
ЛДЦ-40	1520	40	108
ЛД-40	1960		
ЛХБ-40	2200		
ЛБ-40	2480		
ЛТБ-40	2200		
ЛДЦ-80	2720	80	108
ЛД-80	3440		
ЛХБ-80	3840		
ЛБ-80	4320		
ЛТБ-80	3840		

18. Фактическая освещенность рабочих мест от общего равномерного освещения:

$$E_{\text{факт}} = \frac{F_{\text{факт}} \cdot N_{\text{св}} \cdot n_{\text{л}} \cdot \phi}{K_3 \cdot Z \cdot S_{\text{п}} \cdot 100} = \frac{900 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 63}{1,8 \cdot 1,1 \cdot 392 \cdot 100} = 88 \text{ лк. (ПЗ.14)}$$

Отклонение действительной освещенности от нормируемой не должно превышать  $-10 - +20$  %. Если отклонение больше указанного значения, то необходимо выбрать другую схему расположения светильников.

Так как действительная освещенность  $E_{\text{факт}} = 74$  лк, а нормируемая освещенность  $E_{\text{мин}} = 75$  лк, то расчет выполнен верно.

19. Последним этапом расчета искусственной освещенности является определение мощности системы освещения.

Мощность люминесцентной лампы типа ЛХБ-20 равна 20 Вт ( $P_{\text{л}} = 20$  Вт).

$$P = P_{\text{л}} \cdot N_{\text{св}} = 20 \cdot 60 = 1200 \text{ Вт.} \quad (\text{П3.15})$$

## РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### Исходные данные

Необходимо рассчитать толщину теплоизоляции вакуум-аппарата, диаметром  $d = 1,5$  м, изготовленного из стали, толщина стенки аппарата  $\delta_{\text{ст}} = 10$  мм. Температура среды в аппарате  $t_{\text{вн}} = 118$  °С; температура воздуха в помещении  $t_{\text{в}}$  принимается до 23 °С. В качестве изоляции используется изоляционный материал войлок шерстяной  $M_{\text{из}}$ .

### Решение

При расчете изоляции придерживаются следующего порядка. Сначала устанавливаются допустимые тепловые потери объекта при наличии изоляции, задавшись температурой на поверхности изоляции  $t_{\text{из}} = 45$  °С.

Количество теплоты, отдаваемой единицей поверхности тела в единицу времени в окружающую среду:

$$q = \alpha(t_{\text{из}} - t_{\text{в}}) = 10,59(45 - 23) = 231 \text{ Вт/м}^2, \quad (\text{П4.1})$$

где  $\alpha$  – суммарный коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к воздуху, Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$t_{\text{из}}$  – температура на наружной поверхности изоляции, °С;

$t_{\text{в}}$  – температура воздуха в помещении, °С.

$$\alpha = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}} = 4,5 + 6,096 = 10,59 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}, \quad (\text{П4.2})$$

где  $\alpha_{\text{к}}$  – коэффициент теплоотдачи от изолируемой стенки к воздуху путем конвекции, Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$\alpha_{\text{л}}$  – коэффициент теплоотдачи от изолируемой стенки к воздуху путем лучеиспускания, Вт/м<sup>2</sup>·°С.

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{5,7 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \left( \frac{T_{\text{вн}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{в}}}{100} \right)^4 \right]}{T_{\text{вн}} - T_{\text{в}}} = \frac{5,7 \cdot 0,65 \cdot \left[ \left( \frac{391}{100} \right)^4 - \left( \frac{318}{100} \right)^4 \right]}{(273+118) - (273+45)} = 6,096, \quad (\text{П4.3})$$

где 5,7 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);

ε – степень черноты тела (для стали равна 0,65; чугуна – 0,95; меди – 0,023; кирпича красного – 0,93; алюминия – 0,04; латуни – 0,6);

T<sub>вн</sub> – температура внутри аппарата, °К;

T<sub>в</sub> – температура воздуха в помещении, °К.

$$\alpha_{\text{к}} = \frac{N_u \cdot \lambda}{l} = \frac{262,4 \cdot 0,0259}{1,5} = 4,5, \quad (\text{П4.4})$$

где N<sub>u</sub> – критерий Нуссельта;

λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м·°С (табл. П8.1);

l – характерный размер тела, м; для цилиндра – диаметр; вертикального параллелепипеда – высота; горизонтального параллелепипеда – ширина.

Таблица П4.1

Значение коэффициента теплопроводности воздуха в зависимости от температуры и соответствующие им значения коэффициента кинематической вязкости и критерия Прандтля

Температура воздуха, °С	Коэффициент теплопроводности воздуха λ, Вт / м·°С	Коэффициент кинематической вязкости ν, м <sup>2</sup> / С·10 <sup>-6</sup>	Критерий Прандтля P <sub>r</sub>
10	0,0251	14,16	0,705
20	0,0259	15,06	0,703
30	0,0267	16,00	0,701
40	0,0276	16,96	0,699
50	0,0283	17,95	0,698

В свою очередь:

$$N_u = c \cdot (G_r \cdot P_r)^n = 0,135 \cdot (0,735 \cdot 10^{10})^{\frac{1}{3}} = 1,94 \cdot 10^3 \cdot 0,135 = 262,4, \quad (\text{П4.5})$$

где c и n – эмпирические коэффициенты, приведены в табл. П4.2; G<sub>r</sub> – критерий Грасгофа.

Таблица П4.2

Значения коэффициентов c и n

G <sub>r</sub> · P <sub>r</sub>	c	n
1 · 10 <sup>-3</sup>	0,500	0
1 · 10 <sup>-3</sup> – 5 · 10 <sup>2</sup>	1,180	1/8
5 · 10 <sup>2</sup> – 2 · 10 <sup>7</sup>	0,540	1/4
2 · 10 <sup>7</sup> – 1 · 10 <sup>18</sup>	0,135	1/3

$$G_r = \beta \cdot g \cdot \frac{l^3}{\nu^2} (t_{\text{из}} - t_{\text{в}}) = 0,0034 \cdot 9,81 \cdot \frac{1,5^3}{(15,3 \cdot 10^{-6})^2} \cdot (45 - 23) = 0,10419 \cdot 10^{11}, \quad (\text{П4.6})$$

где β – коэффициент объемного расширения, °С;

$$\beta = \frac{1}{273 + t_{\text{в}}} = \frac{1}{273 + 23} = 0,0034, \quad (\text{П4.7})$$

g – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>; g = 9,81;

ν – коэффициент кинематической вязкости (табл. П4.1);

P<sub>r</sub> – критерий Прандтля (табл. П4.1).

Выражение для определения толщины теплоизоляции имеет вид:

$$\delta_{\text{из}} = \lambda_{\text{из}} \cdot \left( \frac{1}{K} - \frac{1}{\alpha} - \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} \right) = 0,05 \cdot \left( \frac{1}{2,43} - \frac{1}{10,59} - \frac{0,01}{45,4} \right) = 0,015, \quad (\text{П4.8})$$

где δ<sub>ст</sub>, λ<sub>ст</sub> – толщина (м) и коэффициент теплопроводности стенки, Вт/м·°С (табл. П4.3);

δ<sub>из</sub>, λ<sub>из</sub> – толщина (м) и коэффициент теплопроводности изоляционного материала, Вт/м·°С (табл. П4.3);

$K$  – коэффициент теплопередачи стенки, Вт/м<sup>2</sup>·°С, который можно определить из выражения

$$q = K(t_{\text{вн}} - t_{\text{в}}) = 10,59(45 - 23) = 231. \quad (\text{П4.9})$$

Таблица П4.3

Значения коэффициентов теплопроводности

Материал	Температура, °С	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С
Альфоль	50	0,0465
Асбест листовой	30	0,1200
Волокно (асбестовое)	50	0,1100
Войлок шерстяной	30	0,0524
Глина огнеупорная	450	1,0400
Дерево сосна	20	0,1100
Картон гофрированный	20	0,0600
Кирпич изоляционный	100	0,1400
Кирпич строительный	20	0,23–0,30
Гипс	–	0,291
Пробка	20	0,0384
Штукатурка	20	0,7800
Кожа	30	0,1600
Резина	0	0,1600
Стеклянная вата	0	0,0400
Шлаковая вата	100	0,4700
Алюминий	0	204,0
Бронза	20	64,0
Латунь	0	85,5
Сталь	0	45,4
Чугун	0	63,0

## РАЗРАБОТКА ИНСТРУКЦИИ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Инструкции по охране труда разрабатываются в соответствии с перечнем, который составляется службой охраны труда (специалистом по охране труда), а при ее отсутствии – специалистом, на которого возложены эти обязанности, с участием руководителей структурных подразделений, служб, главных специалистов организации (главного механика, главного технолога, главного энергетика и др.), службы организации труда и заработной платы, отдела кадров.

Инструкция по охране труда делится на главы и пункты. Пункты могут делиться на подпункты, части или абзацы (если пункт состоит из одной части), подпункты – на части или абзацы (если подпункт состоит из одной части), части – на абзацы.

Инструкция по охране труда должна содержать следующие главы, именуемые:

- «Общие требования по охране труда»;
- «Требования по охране труда перед началом работы»;
- «Требования по охране труда при выполнении работы»;
- «Требования по охране труда по окончании работы»;
- «Требования по охране труда в аварийных ситуациях».

В инструкцию по охране труда с учетом специфики профессии, вида работ (услуг) могут включаться другие главы.

В главе «Общие требования по охране труда» отражаются:

- требования по охране труда по допуску работающих к работе по соответствующей профессии или виду работ (услуг) с учетом возраста, пола, состояния здоровья, наличия необходимой квалификации, прохождения обучения, стажировки, инструктажа и проверки знаний по вопросам охраны труда и т. п.;

- обязанности работающих соблюдать требования по охране труда, а также правила поведения на территории организации, в производственных, вспомогательных и бытовых помещениях, использовать и правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты, немедленно сообщать руководителю работ о любой ситуации, угрожающей жизни или здоровью работающих и окружающих, несчастном случае, произошедшем на производстве, ухудшении состояния своего здоровья, оказывать содействие по

принятию мер для оказания необходимой помощи потерпевшим и доставки их в организацию здравоохранения;

- недопустимость нахождения работающих в состоянии алкогольного опьянения либо в состоянии, вызванном употреблением наркотических средств, психотропных или токсичных веществ, а также распития спиртных напитков, употребления наркотических средств, психотропных или токсических веществ на рабочем месте или в рабочее время, курения в неустановленных местах;

- перечень опасных и (или) вредных производственных факторов, которые могут воздействовать на работающих в процессе труда;

- перечень средств индивидуальной защиты, выдаваемых в соответствии с установленными нормами, с указанием маркировки по защитным свойствам;

- требования по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности;

- порядок уведомления работодателя об обнаруженных неисправностях оборудования, приспособлений, инструмента, нарушениях технологического процесса;

- требования о необходимости уметь оказывать первую помощь потерпевшим при несчастных случаях на производстве;

- требования по личной гигиене, которые должен знать и соблюдать работающий при выполнении работы, оказании услуг;

- ответственность работающего за нарушение требований инструкции по охране труда.

В главе «Требования по охране труда перед началом работы» отражается порядок:

- проверки годности к эксплуатации и применения средств индивидуальной защиты;

- подготовки рабочего места, проверки комплектности и исправности оборудования, приспособлений и инструмента, эффективности работы вентиляционных систем, местного освещения, средств коллективной защиты (защитного заземления (зануления) электрооборудования, устройств оградительных, предохранительных, тормозных, автоматического контроля, сигнализации и др.);

- проверки состояния исходных материалов, заготовок, полуфабрикатов, комплектующих изделий;

- приемки рабочего места при сменной работе.

В главе «Требования по охране труда при выполнении работы» отражаются:

- способы и приемы безопасного выполнения работ (оказания услуг), использования технологического оборудования, приспособлений и инструмента;

- требования безопасного обращения с исходными материалами (сырье, заготовки, полуфабрикаты);

- способы и приемы безопасной эксплуатации транспортных средств, тары и грузоподъемных механизмов;

- указания по безопасному содержанию рабочего места;

- основные виды отклонений от нормального технологического режима и методы их устранения;

- действия, направленные на предотвращение условий возникновения взрывов, пожаров и др. аварийных ситуаций;

- требования по применению работающими средств индивидуальной защиты, соответствующих характеру выполняемой работы и обеспечивающих безопасные условия труда.

В главе «Требования по охране труда по окончании работы» отражаются:

- порядок безопасного отключения (остановки), разборки, очистки и смазки оборудования, приспособлений, машин, механизмов и аппаратуры;

- порядок уборки рабочего места;

- порядок сдачи рабочего места, а при непрерывном процессе – порядок передачи их по смене;

- требования по соблюдению мер личной гигиены;

- порядок извещения руководителя работ о недостатках, влияющих на безопасность труда, выявленных во время работы.

В главе «Требования по охране труда в аварийных ситуациях» отражаются:

- возможные (основные) аварийные ситуации, которые могут привести к аварии или несчастному случаю, а также причины, их вызывающие;

- действия работающих при возникновении аварийных ситуаций;

- действия по оказанию первой помощи потерпевшим при аварии, в результате травмирования, отравления или внезапного заболевания;

- порядок сообщения об аварии и несчастном случае на производстве.

Более подробное содержание глав описано в «Инструкции о порядке принятия локальных нормативных правовых актов по охране труда для профессий и отдельных видов работ (услуг)» [11].

## **ПРИМЕРНАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ СТАЦИОНАРНЫХ КОРМОРАЗДАТОЧНЫХ УСТАНОВОК**

### **ГЛАВА 1**

#### **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА**

1. К работе на стационарных кормораздаточных установках допускаются лица, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие производственное обучение, вводный и первичный на рабочем месте инструктажи по охране труда.

2. Рабочие в течение не менее двух смен выполняют работу под наблюдением бригадира или наставника, после чего оформляется допуск их к самостоятельной работе.

3. Необходимо соблюдать правила внутреннего распорядка. Не допускается: присутствие в рабочей зоне посторонних лиц, распитие спиртных напитков и курение, работа в состоянии алкогольного или наркотического опьянения, а также работа в болезненном или утомленном состоянии.

4. При работе на стационарных кормораздаточных установках работающие могут подвергаться воздействию опасных и вредных производственных факторов. Опасность представляют: движущиеся механизмы, подвижные части оборудования, отлетающие частицы, повышенный уровень шума, сквозняки, недостаточная освещенность и повышенная запыленность воздуха рабочей зоны, опасность поражения электрическим током, агрессивные животные. Поэтому необходимо соблюдать меры предосторожности.

5. Спецодежда, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты, выдаваемые работающим по установленным нормам, должны отвечать требованиям соответствующих стандартов и технических условий, храниться в специально отведенных местах с соблюдением правил гигиены хранения и обслуживания и применяться в исправном состоянии в соответствии с назначением.

6. Во избежание взрывов и пожаров необходимо содержать в чистоте и исправности оборудование и помещения, не захламлять

проходы и проезды. Знать расположение и уметь пользоваться средствами сигнализации, пожаротушения. Выполнять требования инструкции по пожарной безопасности.

7. При обнаружении неисправности оборудования, а также нарушении норм безопасности, пожаре, аварии или травмировании работников немедленно сообщить об этом руководителю работ.

8. Работающие должны строго соблюдать правила личной гигиены. Принимать пищу, курить следует в местах, отведенных для этих целей.

9. Лица, нарушившие требования настоящей инструкции, несут ответственность в порядке, установленном законодательством.

### **ГЛАВА 2**

#### **ТРЕБОВАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПЕРЕД НАЧАЛОМ РАБОТЫ**

11. Осмотреть рабочее место. Устранить обнаруженные недостатки. Проверить исправность лопат и другого инструмента, инвентаря и приспособлений.

12. Проверить комплектность и исправность кормораздатчиков. Их техническое состояние должно отвечать требованиям завода-изготовителя, изложенным в техническом описании и инструкции по эксплуатации.

13. Визуально убедиться в наличии надежного зануления всех нетоковедущих металлических частей, защитных ограждений.

14. Осмотреть тяговые цепи и тросы стационарных кормораздатчиков, проверить их натяжение.

15. Приготовить чистик и проталкиватель кормов.

16. Проверить работу кормораздатчика на холостом ходу в такой последовательности: убедиться в отсутствии на конвейере кормораздатчика посторонних предметов (инвентаря, инструмента и т. п.), животных; убедиться в безопасности других работников; включить раздатчик и убедиться в отсутствии посторонних шумов, вибрации.

### **ГЛАВА 3**

#### **ТРЕБОВАНИЯ ОХРАНЫ ТРУДА ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ**

17. Перед включением в работу всей кормораздающей линии или какой-либо части с пульта управления подать предупредительный сигнал.

18. Во время работы стационарных кормораздающих установок не допускать их перегрузки, а также попадания на них посторонних предметов (камней, обломков досок, металлических предметов и т. д.), инструмента, инвентаря, так как это может привести к аварии и возникновению травмоопасной ситуации.

19. При обслуживании открытых кормовых транспортеров переходить через них по мостикам с поручнями.

20. Очистку при забивании кормовым материалом тросошайбовых, шнековых, спирально-пружинных раздатчиков производить при отключенном электроприводе с применением чистиков с удобной и безопасной рукояткой длиной не менее 1 м.

21. В целях устранения запыленности воздушной среды на рабочем месте при раздаче сыпучих кормов следить за герметичностью оборудования и эффективностью вентиляции, своевременно ставить в известность руководителя работ о неисправности общей вентиляции производственного помещения.

22. Пневматические установки для раздачи жидких кормов эксплуатировать при наличии и исправности манометров на продувочной емкости и ресивере.

23. Загрузочный люк пневмоустановки открывать только после прекращения подачи сжатого воздуха и снижения давления до атмосферного.

24. Недопустима работа со снятыми или поврежденными средствами защиты (кожухами, занулением, блокировками и т. д.).

#### ГЛАВА 4

##### ТРЕБОВАНИЯ ОХРАНЫ ТРУДА ПО ОКОНЧАНИИ РАБОТЫ

25. Привести в порядок рабочее место, отключить установку от сети. Очистить кормонесущие органы от остатков корма. Произвести ежедневное техническое обслуживание установки в соответствии с требованиями инструкции завода-изготовителя. Собрать, очистить и поставить инструмент в отведенное место.

26. Спецодежду снять, очистить, сдать на обслуживание или хранение. Выполнить требования гигиены.

#### ГЛАВА 5

##### ТРЕБОВАНИЯ ОХРАНЫ ТРУДА В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

27. При возникновении посторонних шумов и стуков немедленно остановить кормораздатчик и устранить причину, вызывающую их.

28. При появлении на нетоковедущих металлических частях электрического напряжения немедленно отключить привод кормораздатчика от электрической сети и сообщить руководителю работ.

29. При прекращении подачи электроэнергии отключить установку от сети и принять меры, исключающие ее внезапный пуск.

30. Перед подачей (после снятия) напряжения подать сигнал и предупредить работающих о включении (выключении) установки.

31. Необходимо знать, уметь применять способы оказания первой (доврачебной) помощи пострадавшему.

## Приложение 6

Толщину стенки принимаем по табл. Пб.1 равной 3 мм.

### РАСЧЕТ ОГРАЖДЕНИЯ АБРАЗИВНОГО КРУГА

Таблица Пб.1

Толщина стенки ограждения в зависимости от ударной нагрузки

Ударная нагрузка, кН	Толщина стенки ограждения, мм	Ударная нагрузка, кН	Толщина стенки ограждения, мм
4,91	1	73,5	10
8,33	2	80,36	11
14,6	3	96,04	12
17,15	4	102,9	13
25,67	5	115,64	14
31,16	6	139,16	15
39,69	7	159,74	16
47,04	8	188,16	17
61,74	9	205,8	18

#### Исходные данные

Масса круга – 2 кг, частота вращения – 1500 мин<sup>-1</sup>, радиус наружной окружности круга – 0,150 м, радиус внешней окружности круга – 0,15 м, радиус центрального отверстия круга – 0,001 м. Определить толщину стенки ограждения.

#### Решение

Ударная нагрузка на ограждение  $P_{уд}$ :

$$P_{уд} = \frac{m_k v_{вр}^2}{2R_0}, \quad (Пб.1)$$

где  $m_k$  – масса круга, кг ( $m_k = 2$  кг);

$v_{вр}$  – окружная скорость вращения, м/с.

$$v_{вр} = 2\pi R\omega, \quad (Пб.2)$$

где  $\omega$  – частота вращения, мин<sup>-1</sup> ( $\omega = 1500$  мин<sup>-1</sup>);

$R$  – радиус наружной окружности круга ( $R_n = 0,150$  м);

$$V = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,15 \cdot 25 = 23,6 \text{ м/с}.$$

Радиус центра тяжести:

$$R_0 = \frac{4(R^3 - r^3)}{3\pi(R^2 - r^2)}, \quad (Пб.3)$$

где  $R$  – радиус внешней окружности круга,  $R = 0,15$  м;

$r$  – радиус центрального отверстия круга,  $r = 0,001$  м.

$$R_0 = \frac{4(0,00338 - 0,000001)}{3 \cdot 3,14(0,0225 - 0,0001)} = \frac{0,0135}{0,21} = 0,06 \text{ м};$$

$$P_{уд} = \frac{2 \cdot 23,6 \cdot 23,6}{2 \cdot 0,06} = 9282,7 \text{ м}.$$

## Приложение 7

### РАСЧЕТНАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАНУЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Данная проверка производится на стадии проектирования объекта электрификации.

#### Пример

#### Исходные данные

Расчет производится для линии, самого удаленного электроприемника – электродвигателя вентиляционной установки, состоящей из трех участков (рис. П7.1):

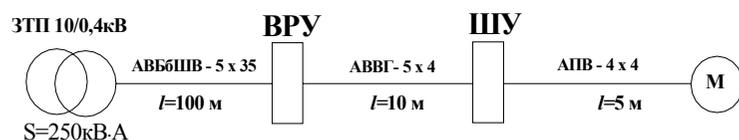


Рис. П7.1. Функциональная схема

Электроприемник защищен автоматическим выключателем ВА51Г-25 с электромагнитным расцепителем:

$$I_{\text{н.расц}} = 20 \text{ А}, \quad I_{\text{н.авт}} = 25 \text{ А}, \quad I_{\text{ср.расц}} = 20 \cdot 7 = 140 \text{ А}.$$

#### Решение

Трансформатор ТМ имеет мощность  $P = 250 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ , а схема его соединения – «звезда – звезда с нулем».

Находим удельные сопротивления кабелей постоянному току:

$$R_{\text{ф.у.1}} = \frac{28}{35} = 0,8 \text{ Ом/км},$$

$$R_{\text{ф.у.2}} = \frac{28}{4} = 7 \text{ Ом/км},$$

$$R_{\text{ф.у.3}} = \frac{28}{4} = 7 \text{ Ом/км}.$$

Сопротивление фазы трансформатора току однофазного короткого замыкания при вторичном номинальном напряжении трансформатора 400 / 230 В можно приближенно рассчитать:

$$Z_T = \frac{26}{250} = 0,104 \text{ Ом}.$$

Полное сопротивление петли «фаза-нуль»:

$$z_{\Pi} = \sum_{i=1}^n l \cdot \sqrt{(R_{\text{ф.}} + R_{\text{н}})^2 + (X_{\text{ф.}} + X_{\text{н.}} + X_{\text{п.}})^2}.$$

Принимаем для кабельной линии  $X_{\Pi} = 0,15 \text{ Ом/км}$  (для воздушной линии следует принимать  $X_{\Pi} = 0,6 \text{ Ом/км}$ ):

$$\text{– на первом участке: } z_{\Pi 1} = 0,1 \cdot \sqrt{(0,8 + 0,8)^2 + 0,15^2} = 0,16 \text{ Ом},$$

$$\text{– на втором участке: } z_{\Pi 2} = 0,01 \cdot \sqrt{(7 + 7)^2 + 0,15^2} = 0,14 \text{ Ом},$$

$$\text{– на третьем участке: } z_{\Pi 3} = 0,005 \cdot \sqrt{(7 + 7)^2 + 0,15^2} = 0,04 \text{ Ом}.$$

Ток короткого замыкания

$$I_{(\text{кз})} = \frac{220}{(0,16 + 0,14 + 0,04 + 0,104)} = 495,5 \text{ А}.$$

Условие эффективности зануления:

$$I_{(\text{кз})} \geq k \cdot I_y;$$

$$495,5 \text{ А} \geq 1,25 \cdot 140 \text{ А};$$

$$495,5 \text{ А} \geq 175 \text{ А}.$$

Так как полученное расчетное значение тока короткого замыкания  $I_{\text{кз.р}} = 495,5 \text{ А}$  превышает наименьший допустимый ток по условиям срабатывания автомата защиты  $I_{\text{кз.доп}} = 175 \text{ А}$ , то эффективность зануления в рассматриваемом случае обеспечена.

## Приложение 8

### РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

#### Пример 1. Расчет заземлителя в однородном грунте

##### Исходные данные

ТП 10 / 0,4 кВ расположена в третьей климатической зоне. От подстанции отходят две воздушные линии 380 / 220 В, на которых, согласно ПУЭ, намечено выполнить 6 повторных заземлений нулевого провода. Удельное сопротивление грунта, измеренное при нормальной влажности по данным РЭС,  $\rho_{\text{изм}} = 120 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Заземляющий контур в виде прямоугольного четырехугольника выполняется путем заложения в грунт вертикальных стальных стержней длиной  $l_{\text{в}} = 5 \text{ м}$  и диаметром  $d = 12 \text{ мм}$ , соединенных между собой стальной полосой  $40 \times 4 \text{ мм}$ . Глубина заложения стержней  $t_{\text{в}} = 0,6 \text{ м}$ , полосы  $t_{\text{г}} = 0,7 \text{ м}$ . Ток замыкания на землю на стороне 10 кВ по данным РЭС  $I_3 = 8 \text{ А}$ .

##### Решение

Для определения расчетного сопротивления грунта для вертикальных заземлителей  $\rho_{\text{р.в}}$  находим коэффициент сезонности  $K_c = 1,15$  и коэффициент состояния грунта при измерении  $K_2 = 1$  (табл. П8.1, П8.2):

$$\rho_{\text{р.в}} = K_c \cdot K_2 \cdot \rho_{\text{изм}}; \quad (\text{П8.1})$$

$$\rho_{\text{р.в}} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 120 = 138 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Определяем сопротивление растеканию тока одного вертикального электрода:

$$R_{\text{в}} = \frac{0,366 \rho_{\text{р.в}}}{l_{\text{в}}} \left( \lg \frac{K_{\text{в}} l_{\text{в}}}{d} + 0,5 \lg \frac{4t_{\text{в.с}} + l_{\text{в}}}{4t_{\text{в.с}} - l_{\text{в}}} \right), \quad (\text{П8.2})$$

где  $K_{\text{в}}$  – числовой коэффициент (для круглых стержней  $K_{\text{в}} = 2$ ; для уголков –  $K_{\text{в}} = 2,1$ );

$d$  – внешний диаметр трубы или диаметр стержня, а для уголка – ширина полки, м;

$t_{\text{в.с}}$  – расстояние от поверхности земли до середины вертикального электрода.

Таблица П8.1

Коэффициенты сезонности по климатическим зонам

Климатическая зона	Климатический признак		Продолжительность замерзания вод, дней	Коэффициент сезонности $K_c$ для электродов			
	Средняя многолетняя температура, °С			вертикальных, длиной 3м	вертикальных, длиной 5м	горизонтальных, длиной 10м	горизонтальных, длиной 50м
	низшая (январь)	высшая (июль)					
II	От -15	От +18	~150	1,45	1,25	3,5	3,0
	До -10	До +22					
III	От -10	От +22	~100	1,3	1,15	2,5	2,0
	До 0	До +24					

Таблица П8.2

Коэффициенты, учитывающие состояние грунта при измерении удельного сопротивления земли

Тип электрода и его длина, м	Значение коэффициента и условия измерения удельного сопротивления земли		
	$K_1$ при значительной влажности	$K_2$ при средней влажности	$K_3$ при сухом грунте
Вертикальный, 3	1,15	1	0,92
Вертикальный, 5	1,1	1	0,95
Горизонтальный, 10	1,7	1	0,75
Горизонтальный, 50	1,6	1	0,8

$$t_{\text{в.с}} = t_{\text{в}} + \frac{l_{\text{в}}}{2}; \quad (\text{П8.3})$$

$$t_{\text{в.с}} = 0,6 + \frac{5}{2} = 3,1 \text{ м}.$$

Находим по формуле (П8.2):

$$R_B = \frac{0,366 \cdot 138}{5} \left( \lg \frac{2 \cdot 5}{0,012} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 3,1 + 5}{4 \cdot 3,1 - 5} \right) = 31,4 \text{ Ом}.$$

Сопротивление повторного заземления нулевого провода  $r_{зп}$  на ВЛ напряжением 380 / 220 В не должно превышать 30 Ом, а для всех повторных и грозозащитных заземлений одной такой линии  $r_{зпл} \leq 10$  Ом при  $\rho \leq 100$  Ом·м. При  $\rho > 100$  Ом·м для одного повторного заземлителя допускается принимать:

$$r_{зп} \leq \frac{30\rho}{100} \text{ Ом}. \quad (\text{П8.4})$$

Для нашего примера:

$$r_{зп} = \frac{30\rho}{100} = \frac{30 \cdot 138}{100} \approx 41 \text{ Ом}.$$

Для повторного заземления принимаем один стержень длиной  $l_b = 5$  м и диаметром 12 мм, сопротивление которого  $r_{зп} = 31,4$  Ом  $< 41$  Ом (стержень для повторных заземлений такой же, как и для контура заземления).

Общее сопротивление всех шести повторных заземлений:

$$r_{зпл} = \frac{R_B}{n} = \frac{31,4}{6} = 5,2 \text{ Ом}.$$

Определяем расчетное сопротивление заземления нейтрали трансформатора с учетом повторных заземлений при условии, что  $r_3 \leq 4$  Ом при  $\rho \leq 100$  Ом·м.

В нашем случае  $\rho_{р.в} = 138$  Ом·м, то

$$r_3 \leq 4 \cdot \frac{138}{100} = 5,5 \text{ Ом}. \quad (\text{П8.5})$$

Таким образом, повторное заземление обеспечивает условие, так как  $r_{зпл} < r_3$ .

Согласно другому условию, сопротивление искусственного заземляющего устройства при подсоединении к нему электрооборудования

до и выше 1000 В не должно быть более 10 Ом и  $\frac{125}{I_3}$ , если последнее значение меньше 10 Ом:

$$r_u = \frac{125}{8} = 15,6 \text{ Ом}.$$

Так как  $10 \text{ Ом} < 15,6 \text{ Ом}$ , принимаем для расчета  $r_u = 10$  Ом. Определяем теоретическое число стержней:

$$n_T = \frac{R_B}{r_u} = \frac{31,4}{10} = 3,14. \quad (\text{П8.6})$$

Принимаем 4 стержня и располагаем их на расстоянии друг от друга  $a$ , не меньше длины стержня, т. е.  $a = l_b = 5$  м.

Получаем длину полосы связи  $l_n = a \cdot n = 5 \cdot 4 = 20$  м.

По таблицам (П8.1, П8.2) для полосы связи находим  $K_c = 2,1$ ;  $K_1 = 1$ .

Расчетное сопротивление грунта для полосы связи:

$$\rho_{рг} = K_c K_1 \rho_{изм}, \quad (\text{П8.7})$$

$$\rho_{рг} = K_c K_1 \rho_{изм} = 2,1 \cdot 1 \cdot 0 \cdot 120 = 252 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Расчетное сопротивление полосы связи (Ом) определяем по формуле

$$R_r = \frac{0,366 \cdot \rho_{рг}}{l_n} \lg \frac{K_r \cdot l_n^2}{d_r \cdot t_r}, \quad (\text{П8.8})$$

где  $K_r$  – коэффициент горизонтального заземлителя (для круглого сечения  $K_r = 1$ , для прямоугольной полосы –  $K_r = 2$ ).

Получаем:

$$R_r = \frac{0,366 \cdot 252}{20} \lg \frac{2 \cdot 20^2}{0,04 \cdot 0,7} = 20,5 \text{ Ом}.$$

Определяем коэффициенты использования вертикальных заземлителей  $\eta_v$  и горизонтальных  $\eta_h$  в зависимости от  $n$  и  $\frac{a}{l_b}$ .

Таблица П8.3

Коэффициенты использования  $\eta_b$  вертикальных электродов группового заземления (труб, уголков и т. п.) без учета влияния полосы связи

Отношение расстояний между вертикальными заземлителями к их длине $\left(\frac{a}{l_b}\right)$	Число заземлителей $n$							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Электроды размещены в ряд								
1	0,85	0,73	0,65	0,59	0,48	—	—	—
2	0,91	0,83	0,77	0,74	0,67	—	—	—
3	0,94	0,89	0,85	0,81	0,76	—	—	—
Электроды размещены по контуру								
1	—	0,69	0,61	0,56	0,47	0,41	0,39	0,36
2	—	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58	0,55	0,52
3	—	0,85	0,80	0,76	0,71	0,66	0,64	0,62

Таблица П8.4

Коэффициенты использования  $\eta_r$  горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды (трубы, уголки и т. п.) группового заземлителя

Отношение расстояний между вертикальными заземлителями к их длине $\left(\frac{a}{l_b}\right)$	Число заземлителей $n$							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальные электроды размещены в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	—	—	—
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56	—	—	—
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	—	—	—
Вертикальные электроды размещены по контуру								
1	—	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	—	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	—	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

При  $n = 4$  и  $\frac{a}{l_b} = \frac{5}{5} = 1$  по табл. П8.3, П8.4 находим соответственно  $\eta_b = 0,69$ ;  $\eta_r = 0,45$ .

Определяем в первом приближении действительное число стержней  $n_d$ :

$$n_d = \frac{R_b \cdot \eta_r}{\eta_b} \left( \frac{1}{r_u \cdot \eta_r} - \frac{1}{R_r} \right);$$

$$n_d = \frac{31,4 \cdot 0,45}{0,69} \left( \frac{1}{10 \cdot 0,45} - \frac{1}{20,5} \right) = 3,6.$$

Принимаем к монтажу  $n_d = 4$  стержня и проводим поверочный расчет.

Действительное сопротивление искусственного заземления определяем по формуле

$$r_{\text{ри}} = \frac{R_b \cdot R_r}{R_r \cdot n_d \cdot \eta_b + R_b \cdot \eta_r}; \quad (\text{П8.9})$$

$$r_{\text{ри}} = \frac{31,4 \cdot 20,5}{20,5 \cdot 4 \cdot 0,69 + 31,4 \cdot 0,45} = 9,2 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}.$$

Сопротивление заземляющего устройства с учетом повторных заземлений находим по формуле (П8.10):

$$r_3 = \frac{r_d \cdot r_{\text{зпл}}}{r_d + r_{\text{зпл}}}. \quad (\text{П8.10})$$

Получаем:

$$r_3 = \frac{9,2 \cdot 5,2}{9,2 + 5,2} = 3,3 \text{ Ом} < 5,5 \text{ Ом}.$$

Расчетное сопротивление удовлетворяет требованиям ПУЭ. Заземлитель представляет собой квадрат  $5 \times 5$  м, внутри которого расположена подстанция. К заземлителю подключены нулевые провода линий, имеющих 6 повторных заземлений, одно из повторных

заземлений каждой линии расположено в непосредственной близости от ТП (не более 100 м).

### Пример 2. Расчет заземляющего устройства подстанции

#### Исходные данные

Подстанция понижающая, имеет 2 трансформатора 10/0,4 кВ с заземленными нейтралями на стороне 0,4 кВ; размещена в отдельно стоящем одноэтажном кирпичном здании длиной 15 м и шириной 10 м (рис. П8.1).

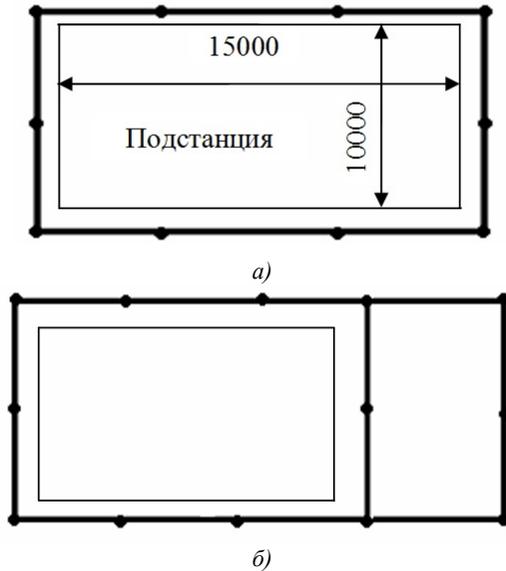


Рис. П8.1. Подстанция с расчетами заземлителя:  
а – план подстанции и предварительная схема заземлителя;  
б – окончательная схема заземлителя

В качестве естественного заземлителя будет использована металлическая технологическая конструкция, частично погруженная в землю; ее расчетное сопротивление растеканию (с учетом сезонных изменений)  $R_e = 15 \text{ Ом}$ . Ток замыкания на землю – неизвестен, однако известна протяженность линии 10 кВ – кабельных  $l_{кл} = 42 \text{ км}$ , воздушных  $l_{вл} = 35 \text{ км}$ . Заземлитель предполагается выполнить из вертикальных стержневых электродов длиной  $l_b = 5 \text{ м}$ , диаметром  $d = 12 \text{ мм}$ , верхние концы которых соединяются между собой с помо-

щью горизонтального электрода – стальной полосы сечением  $4 \times 40 \text{ мм}$ , уложенной в землю на глубине  $t = 0,8 \text{ м}$ . Расчетные удельные сопротивления земли, полученные в результате измерений на участке, где предполагается сооружение заземлителя, и расчета, равны:

для вертикального электрода (длиной 5 м)  $\rho_b = 120 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ;

для горизонтального электрода (длиной 50 м)  $\rho_r = 176 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

**Решение.** Расчетный ток замыкания на землю на стороне 10 кВ определяем по приближенной формуле

$$I_3 = \frac{U}{350} (35 \cdot I_{кл} + I_{вл}) = \frac{10}{350} (35 \cdot 42 + 35) = 43 \text{ А.}$$

Требуемое сопротивление растеканию заземлителя, который принимаем общим для установок 10 и 0,4 кВ, согласно требованиям ПУЭ:

$$R_3 = \frac{125}{I_3} = \frac{125}{43} = 2,9 \text{ Ом.}$$

Требуемое сопротивление искусственного заземлителя:

$$R_{и} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3} = \frac{15 \cdot 2,9}{15 - 2,9} = 3,6 \text{ Ом.}$$

Тип заземлителя выбираем контурный, размещенный по периметру подстанции. Предварительную схему заземлителя наносим на план подстанции с ее основными размерами (рис. П8.1, а). При этом вертикальные электроды размещаем на расстоянии  $a = 5 \text{ м}$  друг от друга.

Уточняем параметры заземлителя путем поверочного расчета. Из предварительной схемы видно, что в принятом нами заземлителе суммарная длина горизонтального электрода  $L = 50 \text{ м}$ , а количество вертикальных электродов  $n = 10 \text{ шт.}$

Определяем расчетные сопротивления растеканию электродов – вертикального  $R_b$  и горизонтального  $R_r$ :

$$R_b = \frac{120}{2\pi \cdot 5} \left( \ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 27,1 \text{ Ом,}$$

$$R_r = \frac{176}{2\pi \cdot 50} \ln \frac{50^2}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 6,7 \text{ Ом.}$$

Далее, имея в виду, что принятый нами заземлитель контурный и что  $n = 10$  шт., а отношение  $\frac{a}{l_g} = \frac{5}{5} = 1$ , определяем по таблицам приложений 1 и 2 коэффициенты использования электродов заземлителя:

вертикальных –  $\eta_b = 0,56$ ;  
горизонтальных –  $\eta_r = 0,34$ .

Теперь находим сопротивление растеканию принятого нами группового заземлителя:

$$R = \frac{R_b \cdot R_r}{R_b \cdot \eta_r + R_r \cdot \eta_b \cdot n} = \frac{27,1 \cdot 6,7}{27,1 \cdot 0,34 + 6,7 \cdot 10 \cdot 0,56} = 4,1 \text{ Ом.}$$

Это сопротивление оказывается большим, чем требуемое  $R_n$  (3,6 Ом), поэтому принимаем решение увеличить в контуре заземлителя количество вертикальных электродов до 13 шт. Затем вновь находим коэффициенты использования, приняв отношения  $\frac{a}{l_b}$  равным единице, и вычисляем  $R$ .

В этом случае  $\eta_b = 0,53$  и  $\eta_r = 0,31$ , а сопротивление заземлителя растеканию тока

$$R = \frac{27,1 \cdot 6,7}{27,1 \cdot 0,31 + 6,7 \cdot 13 \cdot 0,53} = 3,33 \text{ Ом.}$$

Это сопротивление меньше требуемого, но так как разница между ними невелика (0,27 Ом) и она повышает условия безопасности, принимаем этот результат как окончательный.

Проектируемый заземлитель – контурный, состоит из 13 вертикальных стержневых электродов длиной 5 м и диаметром 12 мм и горизонтального электрода в виде стальной полосы длиной 70 м и сечением 4×40 мм, заглубленных в землю на 0,8 м. Окончательная схема заземлителя показана на рис. П8.1, б.

### Пример 3. Расчет заземляющих устройств в неоднородном грунте

#### Исходные данные

Подстанция понижающая, имеет два трансформатора 110/35/6 кВ с эффективно заземленной нейтралью со стороны 110 кВ; для питания собственных нужд имеется трансформатор 6/0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью со стороны низшего напряжения; распределительные устройства 110 и 35 кВ открытого типа, 6 кВ – закрытого (рис. П8.2, а).

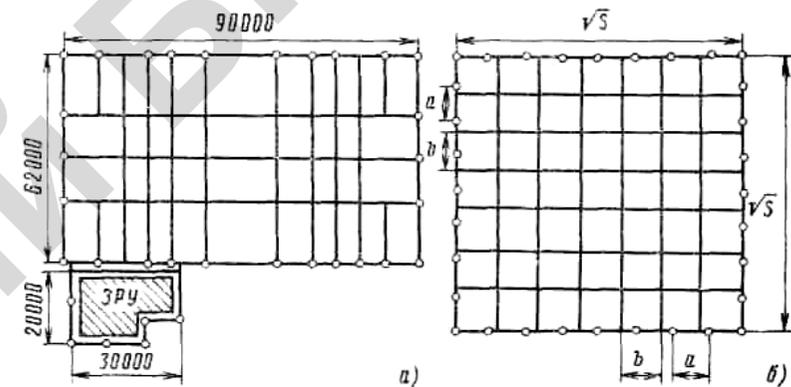


Рис. П8.2. Расчет сложного заземлителя в двухслойном грунте: а – предварительная схема заземлителя; б – расчетная модель

Территория подстанции занимает площадь  $S = 6300 \text{ м}^2$ .

Заземлитель предполагается выполнить из горизонтальных полосовых электродом сечением 4×40 мм и вертикальных стержневых электродов длиной  $l_b = 5$  м, диаметром  $d = 12$  мм, глубина заложения электродов в землю  $t = 0,8$  м.

Расчетные удельные сопротивления верхнего и нижнего слоев земли, полученные в результате измерений на участке, где предполагается сооружение заземлителя, равны:  $\rho_1 = 230 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;  $\rho_2 = 80 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ; мощность верхнего слоя земли  $h_1 = 2,8$  м.

В качестве естественного заземлителя предполагается использовать систему «трос – опоры» двух подходящих к подстанции воздушных линий электропередачи 110 кВ на металлических опорах с длиной пролета  $l = 250$  м, каждая линия имеет один стальной грозозащитный трос сечением  $s = 50 \text{ мм}^2$ , расчетное (с учетом сезонных

колебаний) сопротивление заземления одной опоры  $r_{\text{оп}} = 12 \text{ Ом}$ ; число опор с тросом на каждой линии больше 20; данные измерений сопротивления системы «трос – опоры» отсутствуют.

Расчетный ток замыкания на землю на стороне 110 кВ составляет 5 кА, на стороне 35 кВ – 40 А, на стороне 6 кВ – 30 А.

**Решение.** Сопротивление заземлителя растеканию тока  $R_3$  согласно требованиям ПУЭ должно быть не более 0,5 Ом.

Сопротивление естественного заземлителя для двух линий  $R_e$  определяем по (П8.11):

$$R_e = \frac{1}{2} \sqrt{r_{\text{оп}} \frac{0.15l}{sn_T}} = \frac{1}{2} \sqrt{12 \frac{0.15 \cdot 250}{50 \cdot 1}} = 1,5 \text{ Ом.} \quad (\text{П8.11})$$

Требуемое сопротивление искусственного заземлителя  $R_{\text{н}}$  получим из (П8.12) с учетом того, что  $R_3 = 0,5 \text{ Ом}$  и  $R_e = 1,5 \text{ Ом}$ :

$$R_{\text{н}} = \frac{1,50 \cdot 0,5}{1,50 - 0,5} = 0,75 \text{ Ом.} \quad (\text{П8.12})$$

Составляем предварительную схему заземлителя и наносим ее на план подстанции, приняв контурный (распределенный) тип заземлителя, т. е. в виде сетки из горизонтальных полосовых и вертикальных стержневых (длиной  $l_b = 5 \text{ м}$ ) электродов. Вертикальные электроды размещаем по периметру заземлителя (рис. П8.2, а).

По предварительной схеме определяем суммарную длину горизонтальных и количество вертикальных электродов:  $L_r = 1310 \text{ м}$ ;  $n = 32 \text{ шт.}$

Составляем расчетную модель заземлителя в виде квадратной сетки площадью  $S = 6300 \text{ м}^2$ . Длина одной стороны ее будет  $\sqrt{S} = 80 \text{ м}$  (рис. П8.2, б).

Количество ячеек по одной стороне модели согласно (П8.13):

$$m = \frac{L_r}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1 = \frac{1310}{2 \cdot 80} - 1 = 7,2 \text{ Ом.} \quad (\text{П8.13})$$

Принимаем  $m = 7$ .

Уточняем суммарную длину горизонтальных электродов по (П8.14):

$$L_r = 2(m+1) \cdot \sqrt{S} = 2(7+1) \cdot 80 = 1280 \text{ Ом.} \quad (\text{П8.14})$$

Длина стороны ячейки в модели (П8.15):

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m} = \frac{80}{7} = 11,4 \text{ м.} \quad (\text{П8.15})$$

Расстояние между вертикальными электродами согласно (П8.16)

$$a = 4 \cdot 80 / 32 = 10 \text{ м.} \quad (\text{П8.16})$$

Суммарная длина вертикальных электродов по (П8.17):

$$L_b = n \cdot l_b = 32 \cdot 5 = 160 \text{ м.} \quad (\text{П8.17})$$

Относительная глубина погружения в землю вертикальных электродов по (П8.18):

$$t_{\text{отн}} = \frac{(l_b + t_b)}{\sqrt{S}} = \frac{(5 + 0,8)}{80} = 0,0725 \text{ м.} \quad (\text{П8.18})$$

Относительная длина по (П8.19):

$$l_{\text{отн}} = \frac{(h_1 - t_b)}{l_b} = \frac{(2,8 - 0,8)}{5} = 0,4 \text{ м.} \quad (\text{П8.19})$$

Расчетное эквивалентное удельное сопротивление грунта  $\rho_3$  определяем по (П8.21).

Предварительно находим значения  $\rho_1/\rho_2$  – удельные сопротивления верхнего и нижнего слоев земли соответственно, Ом·м;

$k$  – показатель степени;

$$\rho_1 / \rho_2 = 230 / 80 = 2,87.$$

Поскольку  $1 < \rho_1 / \rho_2 < 10$ , значение  $k$  находим по (П8.20):

$$k = 0,43 \left( l_{\text{отн}} + 0,272 \cdot \ln \frac{a \cdot \sqrt{2}}{l_b} \right) = 0,43 \left( 0,4 + 0,272 \cdot \ln \frac{10 \cdot \sqrt{2}}{5} \right) = 0,294. \quad (\text{П8.20})$$

Теперь определяем  $\rho_3$  по (П8.21):

$$\rho_3 = \rho_2 \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^k = 80 \cdot \left( \frac{230}{80} \right)^{0,294} = 80 \cdot 2,87^{0,294} = 80 \text{ Р.} \quad (\text{П8.21})$$

Прологарифмируем данное выражение, подставив в него полученные значения:

$$\ln P = k \cdot \ln \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right) = 0,294 \cdot \ln 2,87 = 0,31; P = 1,36.$$

Следовательно,  $\rho_3 = 80 \cdot 1,36 = 108 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Вычисляем расчетное сопротивление  $R$  рассматриваемого искусственного заземлителя по (П8.23). Предварительно находим коэффициент  $A$  по (П8.22):

$$A = 0,444 - 0,84 \cdot t_{\text{отн}} = 0,444 - 0,84 \cdot 0,0725 = 0,4 \quad (\text{П8.22})$$

при  $0 < t_{\text{отн}} < 0,1$ .

Тогда

$$R = A \frac{\rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{L_T + L_B} = 0,4 \cdot \frac{108}{80} + \frac{108}{1280 + 160} = 0,62 \text{ Ом.} \quad (\text{П8.23})$$

Это значение  $R$  практически совпадает с требуемым сопротивлением искусственного заземлителя (0,75 Ом); некоторая разница допустима, тем более что в данном случае она повышает условия безопасности.

Общее сопротивление заземлителя подстанции (с учетом сопротивления естественного заземлителя):

$$R_3 = \frac{R \cdot R_e}{(R + R_e)} = \frac{0,62 \cdot 1,5}{(0,62 + 1,5)} = 0,44 \text{ Ом.} \quad (\text{П8.24})$$

Определяем потенциал заземляющего устройства в аварийный период

$$\varphi_{3,y} = I_3 \cdot R_3 = 5000 \cdot 0,44 = 2200 \text{ В.} \quad (\text{П8.25})$$

Этот потенциал допустим, так как он меньше 10 кВ.

Таким образом, искусственный заземлитель подстанции должен быть выполнен из горизонтальных пересекающихся полосовых электродов сечением 4 x 40 мм общей длиной не менее 1280 м и вертикальных стержневых в количестве не менее 32 шт. диаметром 12 мм, длиной по 5 м, размещенных по периметру заземлителя по возможности равномерно, т. е. на одинаковом расстоянии один

от другого; глубина погружения электродов в землю 0,8 м. При этих условиях сопротивление  $R_{\text{и}}$  искусственного заземлителя в самое неблагоприятное время года не будет превышать 0,62 Ом, а сопротивление заземлителя подстанции в целом  $R_3$ , т. е. общее сопротивление искусственного и естественного заземлителей будет не более 0,5 Ом.

## Приложение 9

### РАСЧЕТ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

Молния – высокоэнергетический разряд атмосферного электричества между облаками либо между облаками и землей.

Разряды первого типа создают электромагнитный импульс, приводящий к сбоям в работе электронных приборов и даже сетей. Разряды второго типа несут энергию порядка сотен мегаджоулей и помимо импульсных перенапряжений в сетях энергоснабжения и связи могут приводить к катастрофическим последствиям – гибели людей и животных, пожарам и разрушениям. В связи с этим возникает необходимость создания и совершенствования систем молниезащиты.

Молния, воздействующая на здание, может являться причиной повреждения самого здания, находящегося внутри него оборудования, включая повреждение внутренних систем и причинение вреда здоровью людей. Разрушения и повреждения могут распространяться на прилегающие к зданию объекты и даже окружающую местность. Величина этого распространения зависит как от характеристик здания, так и от характеристик ударов молнии.

Удар молнии в здание может привести к следующим последствиям:

- мгновенному механическому повреждению, пожару и/или взрыву вследствие воздействия горячей плазменной дуги самой молнии, вследствие воздействия тока, появляющегося в результате омического нагрева проводов или вследствие электрического заряда, возникающего в результате эрозии в основании дуги (расплавленный металл);

- пожару и/или взрыву, инициированных искрами, вызванными перенапряжениями в результате резистивной и индуктивной связи и протекания части токов молнии;

- причинению вреда здоровью из-за напряжения прикосновения и шагового напряжения;

- повреждению или выходу из строя внутренних систем в результате воздействия электромагнитных импульсов разрядов молнии.

Удар молнии вблизи здания может привести к повреждению или выходу из строя внутренних систем в результате воздействия электромагнитных импульсов разрядов молнии.

Удар молнии в систему энергоснабжения здания может привести к следующим последствиям:

- пожару и/или взрыву, вызванных искрами, вследствие перенапряжений и воздействия токов молнии, проходящих через системы энергоснабжения;

- причинению вреда здоровью из-за напряжения прикосновения и шагового напряжений внутри здания, вызванных токами молнии, передаваемых через подсоединенные системы энергоснабжения;

- повреждению или выходу из строя внутренних систем вследствие перенапряжений, возникающих на подсоединенных линиях электропередачи и передаваемых на здание.

Удар молнии вблизи систем энергоснабжения здания может привести к повреждению или выходу из строя внутренних систем вследствие перенапряжений, индуцированных на подсоединенных линиях и передаваемых на здание.

Для защиты с целью уменьшения физического разрушения и опасности для жизни защищаемое здание должно быть в пределах зон молниезащиты. Это достигается с помощью системы молниезащиты. Эта система состоит как из внутренних, так и из внешних систем.

Функциями внешней системы молниезащиты являются:

- улавливание разряда молнии в здание (с использованием системы молниезащиты);

- проведение тока молнии на землю (с использованием системы токоотвода);

- растекание его в земле (с использованием заземлителя).

Задачей внутренней системы молниезащиты является предотвращение опасного искрения внутри здания при использовании либо уравнивания потенциалов молнии, либо разделительного расстояния, между компонентами системы молниезащиты и другими электропроводными элементами внутри здания.

В комплексе строительных правил определены 4 класса системы молниезащиты (I, II, III, IV), основанные на соответствующем уровне молниезащиты (табл. П9.1)

Таблица П9.1

Рекомендованный уровень молниезащиты зданий и сооружений

Тип здания и/или сооружения	Уровень молниезащиты
Здания и сооружения, в которых выделяются горючие газы при нормальной работе	I
Здания и сооружения, в которых выделяются горючие газы в аварийном режиме	II
Высотные здания	II
Склады пожаро- и взрывоопасных веществ	II
Здания зрелищных учреждений	II
Жилые и общественные здания в городской застройке	III
Жилые дома в сельской местности	IV
Животноводческие фермы	III
Дымовые трубы высотой более 15 м	III
Здания промышленных предприятий, не имеющих взрыво- и пожароопасных факторов	III

**Пример 1. Расчет одиночного стержневого молниеотвода**  
**Исходные данные**

Требуется защитить от прямых ударов молнии сельскохозяйственный объект (например, склад запчастей) по следующим данным:

высота здания  $h_{x1} = 10$  м;

высота стены здания  $h_{x2} = 6$  м;

длина крыши здания  $L = 12$  м; ширина крыши здания  $S = 8$  м;

фундамент – бетонный; стены – кирпичные; кровля – рулонная;

крыша здания – двухскатная.

Склад расположен в местности с грозовой активностью 60 грозовых часов в год. Электрическая структура земли в летнее время в месте сооружения склада двухслойная; удельное сопротивление верхнего слоя  $\rho_1$  (супесь) толщиной  $h_1 = 2,6$  м составляет 450 Ом/м,  $\rho_2$  нижнего слоя (суглинок) – 150 Ом/м.

**Решение**

В соответствии с Правилами пожарной безопасности склад относится к взрывоопасным помещениям класса В-II а.

По устройству молниезащиты склад подлежит защите от прямых ударов молнии, заноса высоких потенциалов по наземным и подземным коммуникациям, а также от электростатической и электромагнитной индукции.

Так как здание имеет небольшие размеры, прямоугольного плана, то защиту от прямых ударов молнии целесообразно выполнить одиночным стержневым молниеотводом, зоны защиты которого показаны на рис. П9.1.

1. Определяем тип зоны защиты. Ожидаемое число поражений склада молнией в год:

$$N = [(S + 6h)(L + 6h) - 7,7h^2]n \cdot 10^{-6}, \quad (\text{П9.1})$$

где  $h$  – наибольшая высота здания или сооружения;

$n$  – удельная плотность ударов молнии в землю,  $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$ .

Согласно [45]  $n = 5,5$ .

$$N = [(8 + 6 \cdot 10)(12 + 6 \cdot 10) - 7,7 \cdot 10] \cdot 5,5 \cdot 10^{-6} = 0,2.$$

Так как  $N < I$ , то для склада должна быть обеспечена зона защиты типа 0<sub>в</sub>. Зонай защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h$  является круговой конус высотой  $h_0 < h$ . Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса  $h_0$  и радиусом конуса на уровне земли  $r_0$ .

2. Предварительно определяем высоту молниеотвода  $h$  при  $r_{x1} = L/2$  (молниеприемник устанавливаем в центре крыши из условия перекрытия конька здания).

$$h = \frac{r_{x1} + 1,3 h_{x1}}{1,1} = \frac{6 + 1,3 \cdot 10}{1,1} = 17,3 \approx 17 \text{ м.} \quad (\text{П9.2})$$

3. Определяем зону защиты принятого молниеотвода:

$$r_x = \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h}} \cdot (h - h_x) = \frac{1,6}{1 + \frac{10}{17}} \cdot (17 - 10) = 7,05 \text{ м.} \quad (\text{П9.3})$$

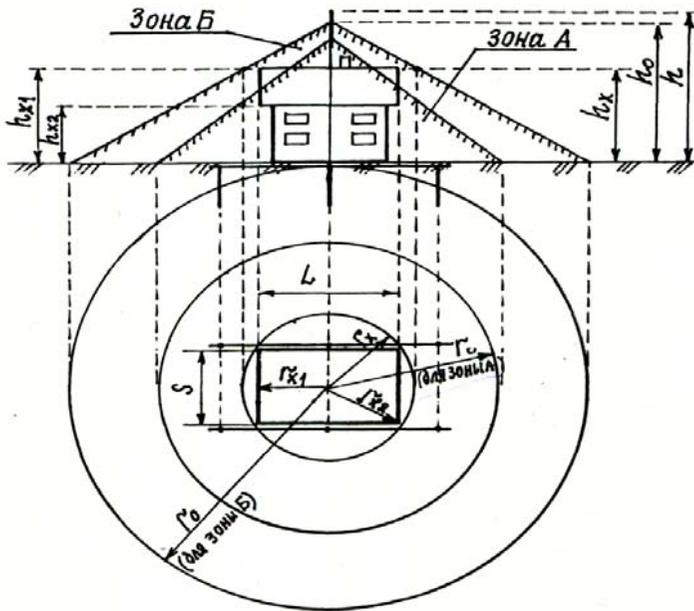


Рис. П9.1. Зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода на сельскохозяйственном объекте

4. Определяем высоту конуса  $h_0$  и радиус конуса на уровне земли  $r_0$ :

$$h_0 = 0,7 \cdot 17 = 12 \text{ м};$$

$$r_0 = 0,6 \cdot 17 = 10 \text{ м}.$$

5. Склад защищен от прямых ударов молнии, так как полностью находится внутри конусообразного пространства зоны защиты молниеотвода.

### Пример 2. Расчет многократного стержневого молниеотвода

#### Исходные данные

Требуется защитить от прямых ударов молнии коровник, длина которого (по крыше)  $L_k = 55$  м, ширина  $S = 11,2$  м; высота конька крыши  $h_{x1} = 5,1$  м; высота стены  $h_{x2} = 2,3$  м. Коровник рассчитан на 100 гол.

КРС и расположен в местности с уровнем 80 грозовых часов в год. Грунт двухслойный  $\rho_1 = 150 \text{ Ом/м}$ ;  $h_c = 2 \text{ м}$ ;  $\rho_2 = 450 \text{ Ом/м}$ .

#### Решение

1. Для коровника, рассчитанного на содержание не менее чем 100 голов всех возрастов и групп животных, требуется молниезащита III категории при 4 и более грозовых часов в год (при этом используется зона  $0_B$ ).

Следовательно, для рассматриваемого случая требуется молниезащита III категории с использованием зоны  $0_B$ .

2. Так как длина здания существенно превышает его ширину (примерно в 5 раз), целесообразно использовать 5 стержневых молниеотводов, расположенных друг от друга на расстоянии  $L = 13$  м.

3. Зададим  $h_c = h_{x1} = 5,1$  м, где  $h_c$  – высота зоны защиты на середине прямой, соединяющей 2 соседних молниеотвода, т. е. при  $\frac{L}{2}$ .

При заданных  $L$  и  $h_c$  находим наименьшую возможную высоту молниеотвода:

$$h_{\min} = 0,89 \cdot h_c + 0,124 \cdot L; \quad (\text{П9.4})$$

$$h_{\min} = 0,89 \cdot 5,1 + 0,124 \cdot 13 = 6,15 \text{ м}.$$

4. Находим половину ширины крыши:

$$\frac{S}{2} = \frac{11,2}{2} = 5,6 \text{ м}.$$

5. Проверяем, не выходит ли крыша за пределы зоны защиты на наиболее узком месте – середине расстояния между соседними молниеотводами при наименьшей высоте молниеотвода  $h_{\min} = 6,15$  м и расположении молниеотводов по середине крыши.

Высота стены  $h_{x2} = 2,3$  м.

Находим:

$R_0 = r_c = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 6,15 = 9,22$  м – это на уровне земли. На этом уровне ширина зоны защиты больше  $\frac{1}{2}$  ширины здания, т. е.  $9,22 > 5,6$ .

Находим ширину зоны защиты посередине между молниеотводами на высоте  $h_{x2}$ :

$$r_{cx} = r_0 \left(1 - \frac{h_x}{h_c}\right) = 9,22 \cdot \left(1 - \frac{2,3}{5,1}\right) = 5,06 \text{ м} < \frac{S}{2} = 5,6 \text{ м}. \quad (\text{П9.5})$$

Следовательно, часть крыши на этой высоте не попадает в зону защиты, поэтому необходимо увеличить высоту молниеотвода.

Увеличим высоту молниеотвода до  $h' = 7 \text{ м}$  и определим для этой высоты радиус зоны защиты на уровне земли  $r_0$  и ширину зоны посередине между молниеотводами на высоте  $h_{x2}$ :

$$r_0' = 1,5h' = 1,5 \cdot 7 = 10,5 > 5,6 \text{ м}.$$

При большей высоте молниеотводов уровень высоты зоны защиты Б посередине между соседними молниеотводами увеличивается до некоторого значения  $h'_c$ . Находим  $h'_c$ , а затем  $r'_{cx2}$  на том же уровне  $h_{x2}$ :

$$h'_c = 1,13h' - 0,14L = 1,13 \cdot 7 = 5,9 \text{ м}. \quad (\text{П9.6})$$

$$r'_{cx2} = r_0' \left(1 - \frac{h_{x2}}{h'_c}\right) = 10,5 \left(1 - \frac{2,3}{5,9}\right) = 6,4 \text{ м} > \frac{S}{2} = 5,6 \text{ м}.$$

Посередине между молниеотводами на высоте  $h_{x2}$  крыша находится в зоне защиты.

Крайние молниеотводы расположены от концов крыши на расстоянии

$$l_k = \frac{55 - 52}{2} = 1,5 \text{ м}.$$

Определим расстояние в плане от ближайшего к торцу здания молниеотвода до угла крыши:

$$l_y = \sqrt{\left(\frac{S}{2}\right)^2 + l_k^2} = \sqrt{5,6^2 + 1,5^2} = 5,8 \text{ м}. \quad (\text{П9.7})$$

Для торцевых областей радиус зоны защиты определяется для двойных и одиночных стержневых молниеотводов по одним и тем же формулам.

Коровник защищен от прямых ударов молнии, так как полностью находится внутри конусообразного пространства, зоны защиты молниеотвода.

### Пример 3. Расчет одиночного тросового молниеотвода

#### Исходные данные

Требуется защитить от прямых ударов молнии гараж, длина которого (по крыше)  $L_k = 25 \text{ м}$ , ширина  $S = 10 \text{ м}$ ; высота конька крыши  $h_{x1} = 8 \text{ м}$ .

На рис. П9.2 представлена зона защиты молниеотвода одиночного тросового, высота которого  $h = 150 \text{ м}$  ( $h$  – высота троса в середине пролета).

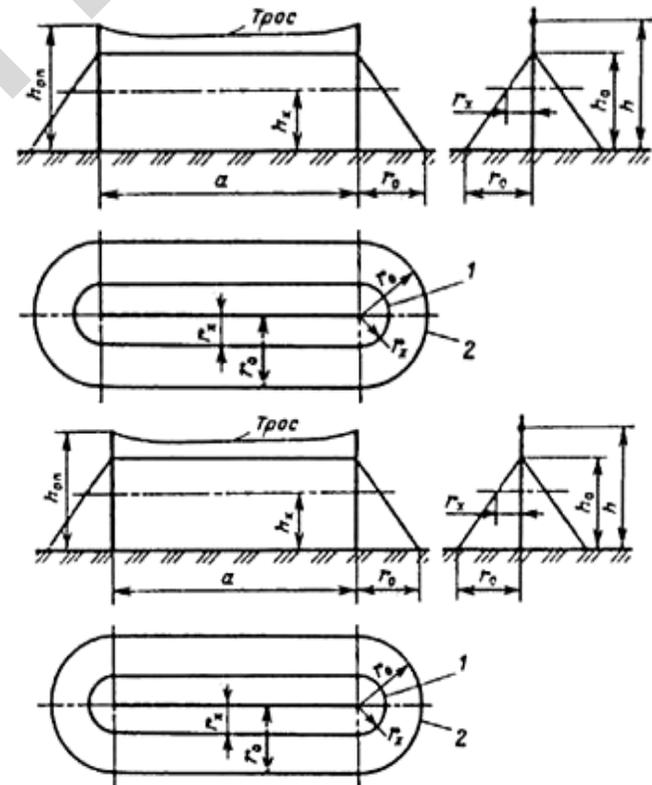


Рис. П9.2. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода  
зона 1 – граница зоны защиты на уровне  $h_x$ ;  
зона 2 – граница зоны защиты на уровне земли

### Решение

Тросовый молниеотвод имеет определенную стрелу провеса, т. е. высота молниеотвода  $h$  в точке максимального провеса троса всегда меньше высоты опоры  $h_{\text{оп}}$  тросового молниеотвода. С целью уменьшения нагрузки на опоры из-за тяжеления по тросу стрелу провеса стального троса площадью сечения 35–50 мм<sup>2</sup>, а также при известной высоте опор  $h_{\text{оп}}$  и длине пролета, мы можем найти высоту троса:  $h = h_{\text{оп}} - 2$  при  $a < 120$  м;  $h = h_{\text{оп}} - 3$  при  $120 < a < 150$  м.

Торцевые части зон защиты строят аналогично зоне защиты стержневых молниеотводов высотой, равной высоте тросового молниеотвода, однако они имеют другие габариты. Часть зоны под тросом ограничивается плоскостями, проведенными через торцевые зоны по касательным.

Габаритные значения зоны защиты одиночного тросового молниеотвода следующие:

зона  $0_A$ :

$$\begin{aligned}h_0 &= 0,85h; \\r_0 &= (1,35 - 0,0025h) \cdot h; \\r_x &= (1,35 - 0,0025 \cdot h) \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,85}\right);\end{aligned}$$

зона  $0_B$ :

$$\begin{aligned}h_0 &= 0,92 \cdot h; \\r_0 &= 1,7 \cdot h; \\r_x &= 1,7 \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,92}\right).\end{aligned}$$

Формула для расчета высоты одиночного тросового молниеотвода зоны типа  $0_B$ , если известны значения  $h_x$  и  $r_x$ :

$$h = \frac{(r_x + 1,85 \cdot h_x)}{1,7}. \quad (\text{П9.8})$$

1. Определяем тип зоны защиты. Ожидаемое число поражений гаража молнией в год:

$$N = [(S + 6 \cdot h)(L + 6 \cdot h) - 7,7 \cdot h^2] \cdot n \cdot 10^{-6},$$

где  $h$  – наибольшая высота здания или сооружения;  
 $n$  – удельная плотность ударов молнии в землю,  $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$ .  
Согласно [45]  $n = 5,5$ .

$$N = [(10 + 6 \cdot 8)(25 + 6 \cdot 8) - 7,7 \cdot 8^2] \cdot 5,5 \cdot 10^{-6} = 0,02.$$

Тип зоны  $0_B$ :

высота расположения стального троса при  $r_x = S/2$ :

$$h = \frac{(5 + 1,85 \cdot 8)}{1,7} = 17,74 \text{ м};$$

высота опор:

$$h_{\text{оп}} = h + 2 = 17,74 + 2 = 19,74 \text{ м};$$

высота вершины конуса зоны защиты:

$$h_0 = 0,92 \cdot h = 0,92 \cdot 17,74 = 16,3 \text{ м}; \quad (\text{П9.9})$$

радиус зоны защиты на уровне земли:

$$r_0 = 1,7 \cdot h = 1,7 \cdot 17,74 = 30,1 \text{ м};$$

радиус зоны защиты на уровне здания:

$$r_x = 1,7 \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,92}\right) = 1,7 \cdot \left(17,74 - \frac{8}{0,92}\right) = 15,4 \text{ м}.$$

Таким образом, границы зон защиты на высоте здания  $r_x = 15,4$  м и на уровне земли  $r_0 = 30,1$  м обеспечивают защиту гаража от поражения молнией.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

---

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

---

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

Учебное издание

**Андруш** Виталий Григорьевич, **Мисун** Леонид Владимирович,  
**Жаркова** Наталья Николаевна, **Корчик** Светлана Александровна

## ОХРАНА ТРУДА В КУРСОВОМ И ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

*Учебно-методическое пособие*

Ответственный за выпуск *В. Г. Андруш*  
Редактор *В. М. Воронович*  
Корректор *Н. А. Антипович*  
Компьютерная верстка *Е. Д. Богдан*

Подписано в печать 17.03.2015 г. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 5,81. Уч.-изд. л. 4,54. Тираж 140 экз. Заказ 50.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.