



**В.Ю. Сапа**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ  
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ**

**Костанай, 2020**

Министерство образования и науки Республики Казахстан  
Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова  
31.2я73  
С 19

Кафедра электроэнергетики

В.Ю. Сапа

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ**

Учебное пособие

Костанай, 2020

**УДК 621.31(075.8)**

**ББК 31.2я73**

**С 19**

**Автор:**

Сапа Владимир Юрьевич, кандидат технических наук, доцент

**Рецензенты:**

Баймухамедов Малик Файзулович – доктор технических наук, профессор, проректор по науке и международным связям КСТУ

Гайфуллин Гаяз Закирович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения КГУ имени А. Байтурсынова

Курманов Аяп Конлямжаевич – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения КГУ имени А. Байтурсынова

Сапа В.Ю.

С 19 Проектирование систем электрификации: Учебное пособие. – Костанай, КГУ им. А. Байтурсынова, 2020 – 87 с.

ISBN 978-601-7597-94-8

В учебном пособии изложены основные положения по проектированию систем электрификации сельскохозяйственного производства. Приведены методические указания к проектированию электрооборудования производственных агропромышленных объектов.

Предназначено для обучающихся по образовательной программе 6В07102 – Электроэнергетика.

УДК 621.31(075.8)

ББК 31.2я73

Утверждено и рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом Костанайского государственного университета имени А. Байтурсынова, протокол от 29.04.2020 г. №2.

ISBN 978-601-7597-94-8

©Сапа В.Ю., 2020

## Содержание

<b>Введение</b> .....	4
<b>1 Общие вопросы проектирования</b> .....	5
<b>2 Проектирование электроосвещения</b>	
2.1 Светотехнический расчет.....	8
2.2 Расчёт сети электрического освещения.....	19
<b>3 Проектирование электрификации производственных процессов</b>	
3.1 Электрификация водоснабжения.....	30
3.2 Электрификация вентиляции.....	33
3.3 Электрификация отопления помещений.....	35
3.4 Электрификация кормоприготовления.....	38
3.5 Электрификация транспортных процессов.....	39
<b>4 Проектирование внутрицехового и внешнего электроснабжения</b>	42
<b>5 Проектирование мероприятий по обеспечению электробезопасности</b>	49
<b>6 Контрольные задания</b> .....	56
<b>7 Рекомендуемые темы презентаций</b> .....	64
<b>Заключение</b> .....	69
<b>Список использованных источников</b> .....	70
<b>Приложения</b> .....	71

## Введение

Для успешного выполнения программы социально–экономических преобразований народного хозяйства Республики Казахстан необходимо дальнейшее развитие электрификации и повышение эффективности использования электроэнергии.

Замена неэлектрических видов энергии электроэнергией позволяет повысить эффективность производства, автоматизировать производственные процессы, улучшить условия труда [1].

В данном пособии рассмотрены наиболее важные вопросы проектирования систем электрификации производственных агропромышленных объектов.

Учебное пособие предназначено для проведения лекционных и практических занятий, а также курсового проектирования по дисциплине «Проектирование систем электрификации». Оно может быть использовано при дипломном проектировании студентами соответствующих специальностей, а также специалистами–электриками при проектировании систем электрификации реальных объектов.

Учебное пособие «Проектирование систем электрификации» включает в себя теоретические сведения и практические задания по проектированию систем электрификации и предназначено для обучающихся по образовательной программе 6В07102 – Электроэнергетика.

Данное пособие поможет будущим инженерам–электрикам получить навыки проектирования различных элементов систем электрификации агропромышленных объектов, освоить методики необходимых расчетов систематизировать, расширить и закрепить знания по решению конкретных задач по вопросам электрификации агропромышленного производства.

Список рекомендуемой литературы:

1 Ткаченко, В.В. Проектирование электрической части агропромышленных объектов. [Текст]: Учебно-методическое пособие. / В.В. Ткаченко – Костанай: КГУ им. А. Байтурсынова, 2006. – 116 с.

2 Антонов, С. Н. Проектирование систем электрификации [Текст]: Учебное пособие для выполнения курсового проекта по дисциплине «Проектирование систем электрификации» / С. Н. Антонов – Ставрополь: «АГРУС», 2015 – 92 с.

3 Антонов, С. Н. Проектирование электроэнергетических систем [Текст]: Учебное пособие / С. Н. Антонов, Е. В. Коноплев, П. В. Коноплев, А. В. Ивашина – Ставрополь: «АГРУС», 2014 – 104 с.

## 1 Общие вопросы проектирования

Инженерный проект – это модель будущего устройства или сооружения, представленная в разработанных чертежах, схемах, таблицах и описаниях, разработанная инженерами на основании анализа и логической переработки исходной информации, выполнения инженерных расчетов и технико-экономического сравнения нескольких альтернативных вариантов.

Реальный инженерный проект какого-либо объекта выполняет коллектив инженеров разных специальностей, из которых наиболее часто встречаются следующие: технолог, архитектор, строитель, сантехник, электрик, связист, автоматчик, сметчик. В некоторых случаях к разработке проекта могут привлекаться и инженеры других специальностей.

Работа над проектом инженеров разных специальностей должна согласоваться и координироваться, с целью достижения оптимального конечного результата, т.е. оптимального проекта. Под оптимальным проектом подразумевается проект имеющий наименьшие приведенные расчетные затраты при эксплуатации и строительстве объекта. Координацию работ инженеров разных специальностей, при проектировании конкретного объекта, выполняет главный инженер проекта (ГИП), назначаемый для каждого проекта и отвечающий за все принципиальные технические решения, обеспечивающие необходимые технико-экономические показатели, взрыво- пожаробезопасность, требования охраны труда и экологии при сооружении и эксплуатации объекта.

При разработке любого проекта должен решаться ряд задач, основными из которых являются следующие:

- применение наиболее прогрессивных технологий базирующихся на современной системе технологического и инженерного оборудования;
- рациональное использование сырья и материалов;
- рациональное использование существующих инженерных коммуникаций и привязка к ним проектируемого объекта;
- выполнение требований экологии и рационального использования земли;
- организация оптимальной системы организации и управления производством;
- оптимальность принимаемых технических решений;
- взрыво- пожаробезопасность и электробезопасность при сооружении и эксплуатации объекта;
- учет перспектив развития объекта (обычно на 7-10 лет) ;
- высокий уровень организации строительства объекта;
- использование типовых проектных решений.

Процесс проектирования является творческой инженерной работой, при выполнении которой могут быть предложены не известные ранее науке и практике инженерные решения. Вместе с тем при проектировании всегда

следует считаться с рядом ограничений, к основным из которых относятся следующие:

- ограничения вытекающие из требований обязательных нормативных, директивных и руководящих документов, к основными из которых относятся строительные нормы и правила (СНиП), инструкции по проектированию (СН), правила устройства электроустановок (ПУЭ), правила технической эксплуатации (ПТЭ), правила техники безопасности (ПТБ), государственные стандарты (ГОСТ), отраслевые стандарты (ОСТ), руководящие документы (РД), руководящие материалы по проектированию (РУМ);

- ограничения вызванные особенностями и свойствами оборудования (габаритами, рас-положением точек подключения энергоносителей, требованиями к режиму работы оборудования и др.);

- строительные ограничения, вызванные нормируемыми строительными габаритами (размерами пролетов, проходов, проемов), а также взаимной увязкой различных технологических и инженерных коммуникаций;

- привязочные ограничения, вызванные необходимостью увязки проектируемых инженерных сооружений с существующими на площадке, а также с необходимостью выполнения требований технических условий на подключение к существующим инженерным коммуникациям, выданных эксплуатирующими организациями;

- ограничения возникающие в процессе проектирования, обусловленные принятыми в начале проектирования решениями, на основании которых выдается задание смежным специальностям и заказывается оборудование.

При проектировании систем электрификации агропромышленных объектов необходимо учитывать специфические условия аграрного производства, оказывающие влияние на принимаемые инженерные решения. К основным из этих условий относятся следующие:

- аграрное производство связано с биологическими объектами (животные, растения), требования биологии аграрных объектов необходимо учитывать при проектировании;

- аграрное производство как правило протекает в условиях с тяжелыми условиями среды (резкие колебания температуры воздуха, повышенная влажность воздуха, присутствие в воздухе агрессивных примесей), выбираемое оборудование должно соответствовать условиям среды проектируемого объекта;

- рассредоточенность электрических нагрузок по территории объекта, низкая плотность электрических нагрузок;

- сезонность работы некоторых аграрных технологических процессов (уборка зерна, хранение продукции, выращивание овощей), что приводит к малому числу часов использования расчетной электрической нагрузки;

- питание электроприемников от маломощных трансформаторов или протяженных электрических сетей, что вызывает сложности при пуске мощных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором;

- низкая квалификация электротехнического персонала обслуживающего аграрные электроустановки [1].

Электротехническая часть сравнительно крупных объектов проектирования со-держит комплекты рабочих чертежей по следующим разделам:

- электроосвещение, обозначение комплекта чертежей – «ЭО»;
- силовое электрооборудование, обозначение комплекта чертежей – «ЭМ»;
- внешнее электроснабжение, обозначение комплекта чертежей – «ЭС»;
- автоматизация технологических процессов, обозначение комплекта чертежей – «АП»;
- связь и сигнализация, обозначение комплекта чертежей – «СС»;
- пожарная сигнализация, обозначение комплекта чертежей – «ПС».

Для сложных объектов, проектирование которых ведется крупными проектными институтами, обычно существует узкая специализация выполнения вышеуказанных разделов электротехнической части, т.е. каждый раздел выполняется специалистами, имеющими базовую подготовку и опыт проектирования данного раздела проекта. Таким образом для выполнения электротехнической части привлекаются инженеры специальностей: светотехника, электроснабжение, электрооборудование, автоматизация, электросвязь. Это способствует повышению качества выполнения проекта. Недостатком такого метода проектирования является увязка и согласование разных разделов электротехнической части и привлечение к проектированию большого числа специалистов. Для сравнительно небольших и несложных объектов проектирование электротехнической части выполняет обычно один специалист – инженер-электрик, для основной массы объектов агропромышленного комплекса это основная форма проектирования в настоящее время.

Проектирование электротехнической части какого-либо небольшого агропромышленного объекта является темой курсового проекта по дисциплине «Проектирование систем электрификации». В соответствии с вышесказанным, в курсовом проекте должны быть предусмотрены следующие разделы: проектирование электроосвещения; проектирование силового оборудования, причем в отличие от реального проектирования, где выбор электроприемников выполняют специалисты смежных разделов (технологи, сантехники и т.п.), в курсовом проекте выполняется выбор электроприемников для технологии, отопления, вентиляции, водоснабжения объекта, по упрощенным методикам, с целью создания системы электрификации данного объекта, т.е. комплексного использования электроэнергии на объекте; проектирование автоматизации какого-либо технологического процесса [1].

Кроме того в курсовом проекте должны быть выполнены разделы, которые при реальном проектировании инженеры-электрики не выполняют, но которые требуются для создания целостной картины объекта.



## 2 Проектирование электроосвещения

### 2.1 Светотехнический расчет

Задачей светотехнического расчета осветительных установок (ОУ) в зависимости от назначения и нормативных требований к ним является определение значения освещенности в характерных точках на горизонтально, вертикально или наклонно расположенных поверхностях ( $E_{г}$ ,  $E_{в}$ ,  $E_{нк}$ ), среднего значения освещенности  $E_{ср}$  или яркости  $L$ , а также контроль обеспечения качественных характеристик ОУ – цилиндрической освещенности  $E_{ц}$ , коэффициента пульсации  $K_{п}$ , показателя ослепленности  $P$  или показателя дискомфорта  $M$ . При необходимости указанные величины определяются с учетом многократных отражений света [2].

В соответствии со СНиП 23-05-95 искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное:

- *рабочее освещение* – обеспечивает необходимое условие во всех помещениях при нормальных режимах ОУ;

- *охранное освещение* – разновидность рабочего, устраивается по линии охраняемых границ территорий промышленных предприятий (0,5 лк на уровне земли);

- *аварийное освещение* – обеспечивает минимально необходимые осветительные условия для продолжения работы при временном погасании рабочего освещения в помещениях. Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное:

- *эвакуационное освещение* – служит для безопасной эвакуации людей из помещения при аварийном погасании рабочего освещения;

- *освещение безопасности* следует предусматривать в случаях, если отключение рабочего освещения и связанные с этим нарушения обслуживания оборудования и механизмов может вызвать взрыв, пожар, отравление людей, длительное нарушение технологического процесса, а также нарушение работы электрических станций, радиоузлов, телестудий, диспетчерских пунктов, насосных установок, вентиляционных камер помещений, в которых недопустимо прекращение работ и т.п. [2].

Искусственное освещение может быть двух систем – *общее освещение и комбинированное освещение*. При выполнении в помещениях зрительных работ I – III, IVа, IVб, IVв, Va разрядов следует применять систему комбинированного освещения. Предусматривать систему общего освещения допускается при технической невозможности или нецелесообразности устройства местного освещения. Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10 % нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк при разрядных лампах, не менее 75 лк при лампах накаливания. Отношение

максимальной освещенности к минимальной не должно превышать для зрительных работ I – III разрядов при люминесцентных лампах 1,3, при других источниках света – 1,5, для зрительных работ разрядов IV – VII – 1,5 и 2,0 соответственно [2].

При выборе источников света руководствуются следующими соображениями.

1. Применять по возможности лампы наибольшей единичной мощности, не нарушая при этом нормальных требований к качеству освещения и отдавая предпочтение при равной мощности источникам света с наибольшей световой отдачей и сроком службы.

2. Для общего внутреннего и наружного освещения использовать преимущественно газоразрядные лампы (ГЛ).

3. При технической необходимости допускается применять в одном помещении лампы накаливания и газоразрядные лампы.

4. Не допускается питание газоразрядных ламп постоянным и переменным током при его возможном снижении ниже уровня 90 % от номинального.

5. Для общего внутреннего и наружного освещения могут применяться лампы накаливания (ЛН) (в том числе галогенные ГЛН) и газоразрядные лампы: низкого давления – люминесцентные (ЛЛ), и высокого давления ГЛВД (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТ).

*Люминесцентные лампы (ЛЛ)* рекомендуется применять:

- в помещениях, где требуется правильная цветопередача;
- в административно-конторских и лабораторных помещениях. Для жарких помещений рекомендуются амальгамные ЛЛ.

*Газоразрядные лампы (ГЛ)* всех типов, за исключением ксеноновых, рекомендуются:

- для внутреннего освещения (как правило, обязательны для системы одного общего освещения в помещениях, где выполняются зрительные работы I – V и VII разрядов);
- для общего освещения в системе комбинированного;
- в помещениях без или с недостаточным естественным светом;
- предназначенных для постоянного пребывания людей.

Выбор типа ГЛ (ЛЛ, ДТЛ, ДРИ, ДНаТ) проводится в зависимости от назначения помещения, его высоты, характера выполняемых зрительных [2].

*Размещение светильников.* При размещении ОП в производственных помещениях и установках наружного освещения необходимо учитывать следующие основные условия:

- а) создание нормируемой освещенности наиболее экономичным путем;
- б) соблюдение требований к качеству освещения (равномерность, направление света, ограничение теней, пульсации освещенности, а также прямая и отраженная блескость);
- в) безопасный и удобный доступ для обслуживания;

г) наименьшую протяженность и удобство монтажа групповой сети;  
Рекомендации по выбору светильников даны в таблице 1.

Таблица 1 – Условия выбора светильников

№ п/п	Минимально допустимая степень защиты светильников	Тип источника света	Условия среды						
			Нормальные	Влажные	Сырые	Особо сырые	Химически активные	Пыльные	Жаркие
1	IP20	ЛЛ	+	*	--	--	--	*	+
2	IP20	ЛН, ГЛВД	+	*	*	-	-	*	+
3	IP23	ЛЛ, ЛН, ГЛВД	(--)	+	*	*	•	*	*
4	2'0	ЛЛ	+	*	(--)	-	-	-	*
5	2'0	ЛН, ГЛВД	+	*	(--)	--	--	--	*
6	5'0	ЛН, ГЛВД	(--)	(--)	*	--	•	+	+
7	5'3	ЛН, ГЛВД	(--)	(--)	*	*	•	+	*
8	IP51	ЛН	(--)	(--)	+	+	•	+	*
9	5*4	ЛЛ	(--)	(--)	+	+	+	+	+
10	IP53	ЛН, ГЛВД	(--)	(--)	+	+	+	+	*
11	IP54	ЛЛ	(--)	(--)	+	+	+	+	*
12	IP54	ЛН	(--)	(--)	+	+	+	+	*
13	IP54	ГЛВД	(--)	(--)	+	+	+	+	*

*Примечание.* В таблице 1 использованы следующие условные обозначения: «+» – светильники рекомендуются; «\*» – светильники допускаются; «--» – светильники запрещаются; «(--))» – применение светильников возможно, но нецелесообразно.

Расположение светильников может быть светотехнически наивыгоднейшим, энергетически наивыгоднейшим и экономически наивыгоднейшим. Решением задачи является обычно определение отношения расстояния между светильниками  $L$  к расчетной высоте  $h$ , обозначаемого  $\lambda$  с индексами «с», «э» и «о» соответственно. Уменьшение значения  $\lambda$  удорожает устройство и обслуживание освещения, а чрезмерное увеличение приводит к резкой неравномерности освещения и возрастанию расходов энергии. Рекомендации по выбору  $\lambda$  приведены в таблице 2. Расчетное значение  $\lambda$  принимается по таблице 2 в зависимости от источника света и вида КСС светильников определяется по формуле [2]:

$$L = h\lambda = (h_{п} - h_{р})\lambda = (H - h_{с} - h_{р})\lambda, \text{ м} \quad (1)$$

Светильники с люминесцентными лампами рекомендуется устанавливать рядами, преимущественно параллельно длинной стороне помещения или стене с окнами. Значение  $L$  в этом случае числится как расстояние между рядами.

Типичные случаи расположения светильников в разрезе и плане производственного помещения показанного на рисунке 1.

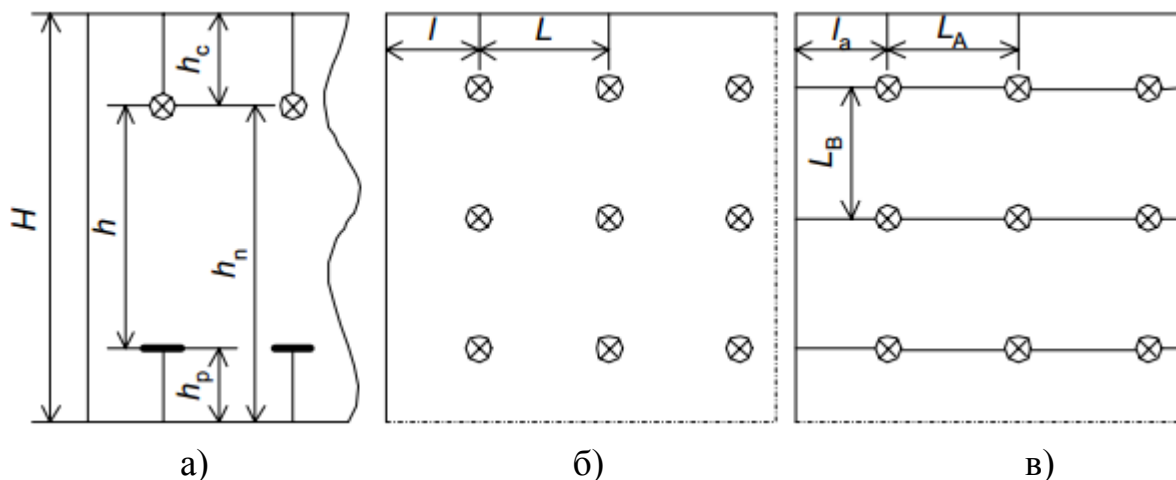


Рисунок 1 - Схемы расположения светильников: а – в разрезе; б, в – в плане

Расстояние крайних рядов светильников от стены принимается в пределах  $l = (0,3 \div 0,5)L$  в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест. Для помещения с геометрическими размерами  $L_A \times L_B \times H$ , м, где  $L_A$  и  $L_B$  – соответственно длина и ширина помещения. Число рядов светильников, расположенных параллельно длинной стороне помещения, вычисляется по формуле [2]:

$$n = (L_B - 2l_b) / L + 1 \quad (2)$$

где  $l_b$  – расстояние крайних рядов светильников до стены  $A$ . Затем полученное значение  $n$  округляется до ближайшего целого числа, уточняется при неизменном  $L$  значение  $l_a$  и проверяется выполнение условия:

$$l = (0,3 \div 0,5)L_A \quad (3)$$

Таблица 2 – Тип КСС светильников

Тип КСС	К	К
К - концевая	0,6	0,6
Г - глубокая	0,9	1,0
Д - косинусная	1,4	1,6
М - равномерная	2,0	2,6
Л - полуширокая	1,6	1,8

Светильники с «точечными» источниками света (лампы накаливания и газоразрядные лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и т.д.) располагаются по вершинам

квадратных, прямоугольных или треугольных световых полей, и в общем случае число светильников в ряду  $N$  определяется по формуле [2]:

$$N = (L_A - 2l_a) / L + 1 \quad (4)$$

где  $l_a$  – расстояние крайних светильников в ряду до стены  $B$ . В случае прямоугольных полей расстояние  $L_a$  между светильниками в ряду должно быть больше расстояния между рядами светильников  $L_B$ . Общепринято выдерживать соотношение  $L_a / L_B \leq 1,5$ . В пределе при  $L_a = L_b = L$  получим квадратное световое поле. Методика расчета схемы расположения светильников в цехе промышленного предприятия без учета расположения оборудования и затеняющих конструктивных элементов здания изложена в примерах 1 и 2 [2].

**Пример 1.** Освещение механического цеха выполнено люминесцентными лампами в светильниках ЛСП 02, расположенных в виде светящихся линий. Размеры цеха:  $A \times B \times H = 48 \times 24 \times 6$ , м. Высота рабочей поверхности  $h_p = 0,8$  м (по СНиП). Расстояние светильника от перекрытия (высота свеса)  $h_c = 0,5$  м. Определить число рядов светильников и изобразить схему их размещения.

*Решение.*

1. Расчетная высота светильника

$$h = H - h_c - h_p = 6 - 0,8 - 0,5 = 4,7 \text{ м.}$$

2. Расстояние между рядами светильников:  $L = h \lambda_c$ , где  $\lambda_c = 1,4$  для светильников с косинусным светораспределением в соответствии с таблицей 2 и таблицей 4.16 [3]. Согласно паспортным данным светильник ЛСП 02 имеет косинусную КСС. Тогда  $L = h \lambda_c = 4,7 \cdot 1,4 = 6,58$  м. Окончательно принимаем значение  $L = 6,5$  м.

3. Число рядов светильников при их расположении параллельно длинной стене цеха:

$$n = (L_B - 2l_b) / L + 1 = (L_B - 2(0,3 \div 0,5) \cdot L / L) + 1 = \\ = \frac{24 - 2 \cdot 6,5(0,3 \div 0,5)}{6,5} + 1 = 4,092 \div 3,692.$$

$$l_b = (L_B - L(n - 1)) / 2 = \frac{24 - 6,5(4 - 1)}{2} = 2,25$$

Принимаем  $n = 4$ , тогда м.

**Пример 2.** Инструментальный цех освещается лампами ДРЛ в светильниках РСР 05 с КСС типа Г. Размеры цеха  $A \times B \times H = 60 \times 30 \times 10$  м. На метить размещение светильников в цехе при значениях высоты рабочей поверхности  $h_p = 0,8$  м и высоты свеса  $h_c = 1,2$  м.

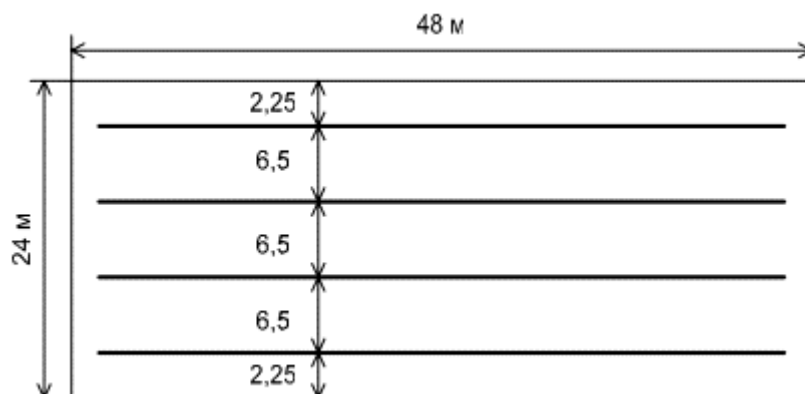


Рисунок 2 - Схема расположения светильников примера 1

*Решение.*

1. Расчетная высота светильника, м:

$$h = H - h_c - h_p = 10 - 0,8 - 1,2 = 8$$

2. Выбирая по таблице 2 значение  $\lambda = 1$  для светильника с глубокой КСС, определим расстояние между светильниками в ряду, расположенном параллельно длинной стороне цеха:

$$L_a = h\lambda = 8 \cdot 1 = 8, \text{ м.}$$

3. Число светильников в ряду

$$\begin{aligned} N' &= ((L_A - 2l_a) / L_a) + 1 = (L_A - 2(0,3 \div 0,5)L_a) / L_a + 1 = \\ &= \frac{60 - (0,6 \div 1,0)8}{8} + 1 = 7,9 \div 7,5. \end{aligned}$$

Выбираем  $N' = 8$ . Расстояние до длинной стены  $l_a$  можно определить по формуле, м:

$$l_a = (L_A - L_a(N' - 1)) / 2 = \frac{60 - 8(8 - 1)}{2} = 2$$

Отношение  $l_a / L_a = 2 / 8 = 0,25$  что несколько меньше 0,3, но может быть принято к реализации (с учетом рекомендаций СНиП 23-05-95 по уровням горизонтальной освещенности общего освещения в системе комбинированного в проходах цеха без рабочего оборудования).

4. Число рядов светильников:

1) При расположении светильников по вершинам квадратных световых полей выполняется равенство  $L_a = L_b = 8$  м. Тогда число рядов светильников:

$$n = ((L_B - 2l_b) / L_b) + 1 = (L_B - 2(0,3 \div 0,5)L_b) / L_b + 1 = \\ = (L_B - (0,6 \div 1,0)L_b) / L_b + 1 = \frac{30 - (0,6 \div 1,0)8}{8} + 1 = 4,15 \div 3,75$$

Выбираем  $n = 4$  и определяем число светильников в цехе:

$$N = nN' = 4 \cdot 8 = 32$$

Уточним значение  $l_b$  для выбранного числа рядов светильников, м:

$$l_b = (L_B - L_b(n-1)) / 2 = \frac{30 - 8(4-1)}{2} = 3$$

Отношение  $l_b / L_b \approx 3/8 \approx 0,375$ , что удовлетворяет условию  $l_b \approx 0,3 \dots 0,5 L_b$

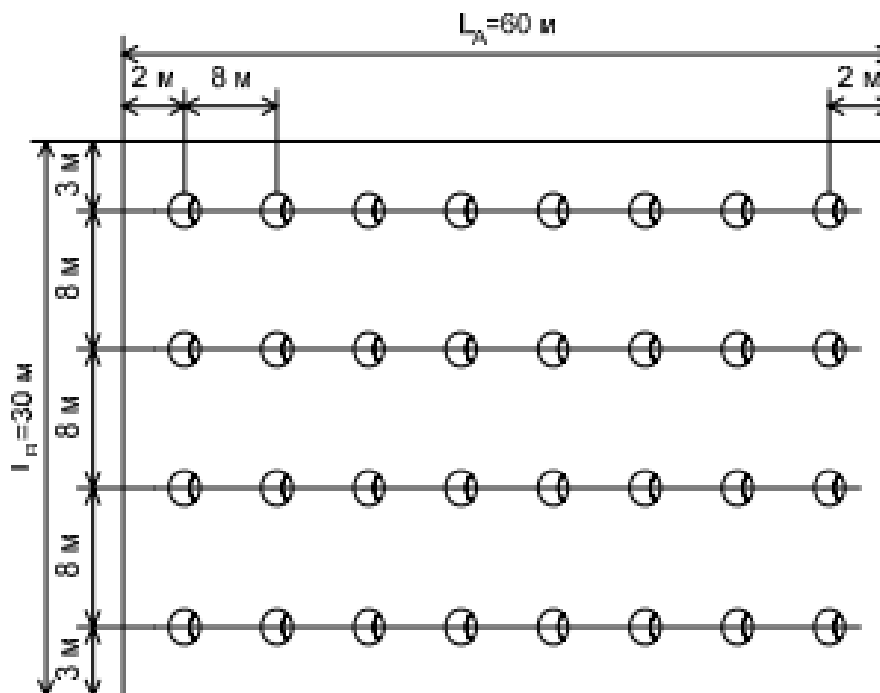
2) При расположении светильников по вершинам прямоугольных полей значение  $L_b$  выбираем из условия  $L_a / L_b \leq 1,5$ , или  $L_a / 1,5 \leq L_b \leq L_a$ . Тогда  $8/1,5 < L_b < 8$  или  $5,33 \leq L_b < 8$ . Выбираем значение  $L_b = 6$  м и рассчитываем число рядов светильников:

$$n = (L_B - (0,6 \div 1,0)L_b) / L_b + 1 = \frac{30 - (0,6 \div 1,0)6}{6} + 1 = 5,4 \div 5$$

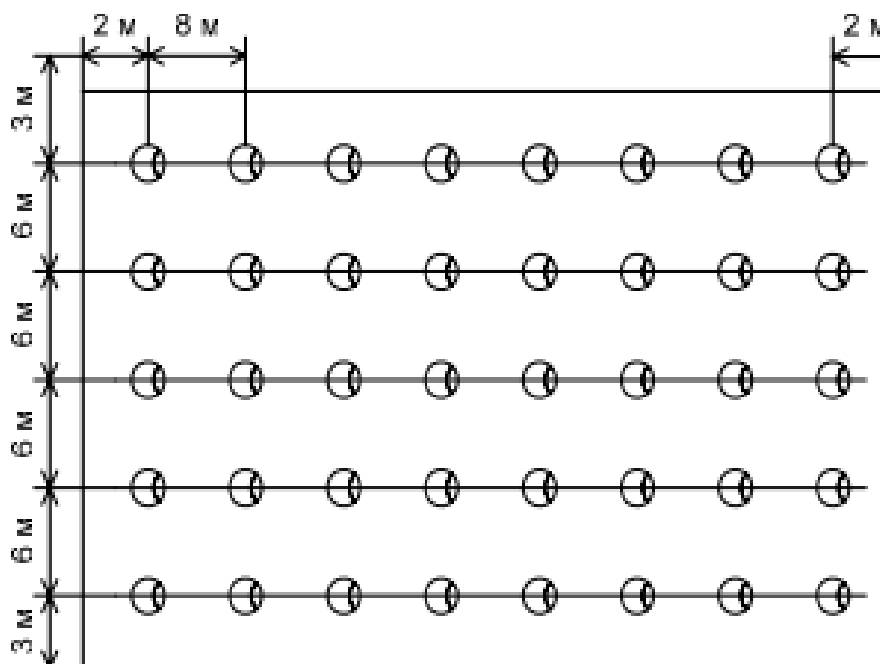
Принимая значение  $n = 5$ , определяем число светильников в цехе:  $N = nN' = 5 \cdot 8 = 40$ . При этом,

$$l_a = (L_B - L_b(n-1)) / 2 = \frac{30 - 6(5-1)}{2} = 3 \text{ м.}$$

Схема расположения светильников примера 2 для рассмотренных случаев расположения светильников по вершинам квадратных и прямоугольных световых полей показана на рисунке 3. Окончательный выбор схемы расположения светильников производится после расчета наименьшей освещенности в контрольных точках цеха и определения значения коэффициента неравномерности (под наименьшей понимается величина нормируемой освещенности для конкретного типа производства в соответствии со СНиП 23-05-95).



а)



б)

Рисунок 3 - Схема расположения светильников примера 2: а) – для квадратных световых полей; б) – для прямоугольных световых полей

При расчете освещенности от точечного источника методом коэффициента использования берется рабочая формула:



$$E_n = \frac{N\Phi\eta}{SzK_3}$$

, лк, из которой в зависимости от поставленной задачи можно получить:

- суммарный световой поток ламп светильника

$$\Phi = \frac{E_n Sz K_3}{N\eta} \quad (5)$$

- число светильников

$$N = \frac{E_n Sz K_3}{\Phi\eta} \quad (6)$$

Значение коэффициента минимальной освещенности  $z$  на практике принимают равным 1,15 при расположении светильников по вершинам квадратных световых полей и  $z = 1,1$  при освещении линиями люминесцентных светильников. В установках отраженного света или хорошо отражающих стенах  $z = 1$ . При известном числе светильников рассчитывается поток  $\Phi$  и выбирается по каталогу стандартная лампа так, чтобы ее поток отличался от расчетного значения потока  $\Phi$  не более чем на  $-10 \div +20$  %. В противном случае корректируется значение  $N$ .

При расчете освещенности от светящихся линий люминесцентных светильников в выражение для  $E_n$  подставляется число рядов  $n$  вместо числа светильников  $N$ , т.е.:

$$E_n = \frac{n\Phi\eta}{SzK_3} \quad (7)$$

При выбранном типе светильника с люминесцентными лампами и суммарным световым потоком  $\sum\Phi_n$  число светильников в ряду  $N_{с.л}$  (светящей линии) равно:

$$N_{с.л} = \frac{\Phi}{\sum\Phi_n} \quad (8)$$

Суммарная длина  $N_{с.л}$  светильников должна быть сопоставимой с длиной помещения, и в случае отличия возможна реализация одного из трех случаев.

1. При превышении длины светящей линии над длиной помещения возможны следующие решения:

- а) увеличение числа рядов светящих линий;
- б) компоновка рядов на сдвоенных (строенных и т.д.) светильниках;
- в) применение люминесцентных ламп с большим значением  $\Phi_n$ .

2. Устройство непрерывного ряда светильников при равенстве длин светящей линии и помещения.

3. Устройство разрывного ряда светильников светящей линии с равномерными расстояниями между светильниками в ряду, удовлетворяющем условию, что расстояние между светильниками  $\lambda$  не превысит половин расчетной высоты  $h$ . Коэффициент использования  $\eta$ , определяющий экономичность светильника, зависит от его КПД (пропорционально), КСС – от коэффициентов отражения потолков  $\rho_n$ , стен  $\rho_c$ , расчетной плоскости  $\rho_p$  и от значения индекса помещения  $i$ , который определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h(A+B)}, \quad (9)$$

где  $A$  и  $B$  – стороны помещения;  $S$  – его площадь;  $h$  – расчетная высота. Зависимость  $\eta$  от перечисленных факторов учитывается тем, что для каждого светильника или группы светильников с близкими характеристиками составляется отдельная таблица коэффициентов использования, в которой также учитывается характерное значение  $\lambda_c$  светильника и коэффициенты отражения. Отметим, что коэффициенты отражения оцениваются субъективно или предположительно, и так как их точные значения неизвестны, то из усредненных значений  $\rho_n = \rho_c = 70; 50; 30; 10 \%$  и  $\rho_p = 30; 10; 0 \%$  выбираются их наиболее вероятные сочетания [2].

Значения индекса помещения  $i$  и коэффициента использования  $\eta$  в функции модуля помещения и коэффициентов отражения приведены в приложении 1.

**Пример 3.** Выполнить светотехнический расчет осветительной установки механического цеха по данным примера 1 методом коэффициента использования.

*Решение.*

1. По таблицам приложения 2 для общего освещения в системе комбинированного принимаем  $E_n = 300$  лк и  $K_z = 1.5$ . В качестве источника света выбираем лампу ЛБ-80 с номинальным световым потоком  $\Phi_n = 5200$  лк (см. таблицу П1.1), в светильнике ЛСП 02 (группа 2 согласно табл. 3.2 [3]).

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{48 \cdot 24}{4,7 \cdot (48 + 24)} = 3,4$$

3. По значению  $i$  и принятым значениям коэффициентов отражения  $\rho_n = 0,7$ ;  $\rho_c = 0,3$ ;  $\rho_p = 0,1$  (см. таблицу ПЗ.1) находим по данным таблицы ПЗ.2 коэффициент использования светового потока  $\eta = 0,69$ .

4. Определяем световой поток одного ряда ламп (по расчетным данным примера 1 значение  $n = 4$ ):

$$\Phi = \frac{E_n S_z K_z}{N \eta} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 48 \cdot 24 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,69} = 2006608,7 \text{ лм.}$$

5. Число светильников в ряду (каждый светильник с двумя лампами)

$$N_{\text{с.л}} = \frac{\Phi}{2\Phi_n} = \frac{2006608,7}{2 \cdot 5200} = 19,86$$

Принимаем  $N_{\text{с.л}} = 20$ , тогда при длине светильника ЛСП 02 (по [3], табл. 3.9)  $l_{\text{св}} = 1,534$  м, суммарная длина светильников в ряду составит:

$$L_{\text{св}} = l_{\text{св}} T_{\text{с.л}} = 1,534 \cdot 20 = 30,68 \text{ м} < 48 \text{ м.}$$

При расположении светильников в ряд суммарный разрыв между светильниками составит:

$$\sum \lambda = L_A - L_{\text{св}} = 48 - 30,68 = 17,32 \text{ м}$$

Тогда расстояние между соседними светильниками в ряду

$$\lambda = \sum \lambda / (N_{\text{с.л}} + 1) = 17,32 / (20 + 1) = 0,82 \text{ м} \leq 0,5 \cdot h = 4,7 / 2 = 2,35 \text{ м.}$$

При полученном соотношении между  $\lambda$  и  $h/2$  ряд светильников можно считать сплошным (сплошная светящая линия).

**Пример 4.** Выполнить светотехнический расчет осветительной установки инструментального цеха по данным примера 2 методом коэффициента использования при заданных значениях коэффициентов отражения  $\rho_n = 0,7$ ;  $\rho_c = 0,5$ ;  $\rho_p = 0,1$ .

*Решение.*

1. Определяем индекс помещения:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{60 \cdot 30}{8(60+30)} = 2,5.$$

2. По данным таблице 5.9 [3] или П4.4 для найденного значения  $i$  и за данных коэффициентов  $\rho_n$ ,  $\rho_c$ ,  $\rho_p$  определяем значение  $\eta = 0,76$  (для светильника

РСП 05 с КСС типа Г). 3. При  $E_n = 300$  лк и  $K_z = 1,5$  получим расчетное значение светового потока одной лампы (светильники расположены по вершинам прямоугольных полей):

$$\Phi = \frac{E_n K_z S_z}{N \eta} = \frac{30 \cdot 1,5 \cdot 60 \cdot 30 \cdot 1,15}{40 \cdot 0,76} = 30641,45 \text{ лм.}$$

По результатам расчета по данным таблицы П1.1 выбираем лампу типа *SPX EKO ARC 295 W* с номинальным световым потоком  $\Phi_n = 32000$  лм фирмы *Sylvania* или лампу типа *NAV E 400 DE LUXE* фирмы *Osram*.

## 2.2 Расчёт сети электрического освещения

При проектировании электрической части осветительных установок (ОУ) рассматриваются и решаются следующие основные вопросы:

- выявление электрических нагрузок ОУ;
- уровни и постоянство напряжения в осветительных сетях;
- источники и схемы питания;
- надежность и бесперебойность электроснабжения;
- способы управления освещением;
- расчет, защита и выполнение осветительных систем;
- электробезопасность при эксплуатации осветительных установок;
- электрооборудование, используемое в ОУ.

Для выявления мощности трансформаторов, питающих электрическое освещение промышленных предприятий, а также для расчета отдельных звеньев осветительных сетей и выбора параметров электрооборудования требуется определять расчетные осветительные нагрузки. Они, как правило, подсчитываются, исходя из суммарной установленной мощности, полученной в результате светотехнического расчета или фактически имеющейся в данной ОУ [2].

Установленная мощность определяется суммированием мощности источников света стационарных ОП напряжением 42 В и выше, а также номинальной мощности стационарных понижающих трансформаторов с вторичным напряжением 12÷42 В. В ОУ с газоразрядными лампами в установленную мощность включают потери мощности в ПРА. В случае необходимости установленную мощность можно определить без светотехнического расчета по средним значениям удельной мощности освещения ( $\text{Вт/м}^2$ ), выявленным ранее для аналогичных объектов, и размерам освещаемой площади.

Расчетная нагрузка определяется умножением установленной мощности на коэффициент спроса  $K_c$ , равный отношению расчетной длительной нагрузки (30-минутный максимум) к установленной мощности. Значение  $K$  для групповой сети рабочего освещения производственных и общественных зданий, а также наружного освещения (НО) промышленных предприятий

принимают равным единице ( $K_c = 1,0$ ). Для производственных зданий значения  $K_c$  [2]:

1,0 – для мелких производственных зданий и линий, питающих от дельные групповые щитки;

0,95 – для зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;

0,85 – для зданий, состоящих из многих отдельных помещений;

0,8 – для административно-бытовых и лабораторных зданий промышленных предприятий;

0,6 – для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений, электрических подстанций.

Отметим, что на большинстве промышленных предприятий осветительная нагрузка колеблется в пределах  $8 \div 20$  % общей по предприятию. В общественных зданиях в зависимости от их назначения и степени оснащения инженерными системами осветительная нагрузка составляет  $40 \div 60$  % общей, а в отдельных случаях доходит до 80 %. С учетом изложенного выше можно записать выражение для определения расчетной нагрузки:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{уст}} K_c K_{\text{ПРА}} \quad (10)$$

где  $K_{\text{ПРА}}$  – коэффициент, учитывающий потери мощности в ПРА, значения которого выбирают из условий: 1,1 – для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ; 1,2 – для ЛЛ в стартерных схемах включения;  $1,3 \div 1,35$  – для ЛЛ в бесстартерных схемах включения.

Для питания осветительных приборов общего освещения должно применяться напряжение не выше 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали и не выше 220 В переменного тока при изолированной нейтрали, и при постоянном токе. Для питания отдельных ламп следует применять, как правило, напряжение не выше 220 В. Указанные выше напряжения допускаются для всех стационарных ОП в помещениях без повышенной опасности независимо от высоты их установки. Разрешается использовать напряжение 380 В, в том числе фазное напряжение системы 660/380 В, для питания ламп, рассчитанных на это напряжение (металлогалогенных, натриевых высокого давления, типа ДКсТ и др.) при соблюдении следующих условий [2].

1. При вводе в ОП и ПРА медным проводом или кабелем на напряжение  $\geq 660$  В.

2. При одновременном отключении всех фазных проводов.

3. При нанесении на ОП для помещений с повышенной опасностью и особо опасных хорошо различимых отличительных знаков с указанием применяемого напряжения («380 В»).

4. Ввод в ОП двух или трех проводов разных фаз системы 660/380В запрещается.

5. Для питания ламп накаливания ОП местного освещения должны применяться напряжения:

а) 220 В и меньше в помещениях без повышенной опасности;

б) не выше 42 В в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных;

в) 127 – 220 В допускается применять для питания ОП с люминесцентными лампами местного стационарного освещения.

Напряжение в ОУ всех назначений с любыми видами ламп должны быть не ниже 95 % и не выше 105 % их номинального значения. Для обеспечения надежной работы газоразрядных ламп напряжение на них даже в аварийном режиме не должно быть ниже 90 % номинального [2].

Выбор сечений проводников по нагреву. Нагрев проводников вызывается прохождением по ним тока  $I$ , величина которого определяется по формулам:

- для трехфазной сети с нулем и без нуля при равномерной нагрузке фаз

$$I = \frac{P_3}{\sqrt{3}U_{л} \cdot \cos\varphi}, \text{ A} \quad (11)$$

- для двухфазной сети с нулем при равномерной нагрузке фаз

$$I = \frac{P_2}{2U_{\phi} \cdot \cos\varphi}, \text{ A} \quad (12)$$

- для двухпроводной сети

$$I = \frac{P_1}{U_{н} \cdot \cos\varphi}, \text{ A} \quad (13)$$

- для каждой из фаз двух- или трехпроводной сети с нулем при любой, в том числе и неравномерной нагрузке:

$$I = \frac{P_1}{U_{\phi} \cdot \cos\varphi} \quad (14)$$

где  $P_i$  – активная расчетная мощность одной, двух или трех фаз;  $\cos\varphi$  – коэффициент мощности нагрузки;  $U_{л}$ ,  $U_{\phi}$ ,  $U_{н}$  – соответственно линейное, фазное и номинальные напряжения сети.

При равномерной нагрузке фаз ток в нулевом проводе трехфазных сетей, питающих лампы накаливания, равен нулю, ток же сетей, питающих газоразрядные лампы, может достигать величины фазного тока [2].

Нелинейность ПРА и вольтамперных характеристик газоразрядных ламп ведет к искажению синусоидальной формулы тока и появлению высших гармоник, причем последние, в основном третья, приводят к наличию тока в нулевых рабочих проводах трехфазных линий. Стандарты ограничивают величину тока в нулевом проводе трехфазных линий на уровне фазного при компенсированных ПРА и половины фазного тока – при индуктивных ПРА [2].

В двухфазных трехпроводных сетях при равномерной нагрузке фаз ток в нулевом проводе равен фазному току при питании ламп накаливания, однако, может быть несколько больше фазного тока при питании газоразрядных ламп.

При неравномерной нагрузке фаз линейные токи будут неодинаковы, и при небольшой неравномерности выбор сечения проводов следует вести как для линии с равномерной нагрузкой фаз, приняв в качестве расчетной утроенную нагрузку наиболее загруженной фазы. При существенной неравномерности нагрузки (например при мощных ксеноновых светильниках) необходимо определить токи и сечения проводников отдельно для каждой фазы. Для трехфазных линий с включением нагрузок на линейное напряжение линейные токи  $I_a, I_b, I_c$  зависят от порядка следования фаз ( $A - B - C$  или  $C - B - A$ ) [2].

При прямом порядке следования фаз:

$$\begin{aligned} I_A &= \sqrt{I_{ab}^2 + I_{ca}^2 + 2I_{ab}I_{ca} \cdot \sin(\varphi_{ab} - \varphi_{ca} + 30^\circ)}; \\ I_B &= \sqrt{I_{bc}^2 + I_{ab}^2 + 2I_{bc}I_{ab} \cdot \sin(\varphi_{bc} - \varphi_{ab} + 30^\circ)}; \\ I_C &= \sqrt{I_{ca}^2 + I_{bc}^2 + 2I_{ca}I_{bc} \cdot \sin(\varphi_{ca} - \varphi_{bc} + 30^\circ)}. \end{aligned} \quad (15)$$

При обратном порядке следования фаз в каждой из формул необходимо поменять местами индексы углов ( $ab$  и  $ca$ ,  $bc$  и  $cb$ ,  $bc$  и  $ca$ ). Так как порядок следования фаз при проектировании неизвестен и может меняться в процессе эксплуатации, необходимо определять линейные токи для обоих вариантов следования фаз [2].

Ток нагрузки, протекая по проводнику, нагревает его. Нормами установлены наибольшие допустимые температуры нагрева жил проводов, и исходя из этого, определены длительно допустимые токовые нагрузки для проводов и кабелей в зависимости от материала их изоляции и оболочки, и условий прокладки [4]. Значения токов приняты для температуры окружающего воздуха  $+25^\circ\text{C}$  и земли  $+15^\circ\text{C}$ . В случае, если предусматривается длительная эксплуатация провода в среде с температурой, отличной нормативной, допустимая токовая нагрузка (в амперах) определяется по формуле [2]:



$$I = I_n \sqrt{\tau_\phi / \tau_n} \quad (16)$$

где  $I_n$  – нормативная токовая нагрузка, А, [4];  $\tau_\phi$  и  $\tau_n$  – допустимое превышение температуры провода соответственно над фактической и нормативной температурой среды, °С. Расчет значения тока в линиях проводится по формуле:  $I \approx \sqrt{P_c K_T}$ , где  $P_c$  – расчетная нагрузка, кВт;  $K_T = f(U, \cos\phi)$ .

Расчет осветительной сети по потере напряжения. Величина располагаемых потерь напряжения в сети [5] определяется по формуле:

$$\Delta U_d = U_{xx} - U_{\min} - \Delta U_T, \% \quad (17)$$

где  $\Delta U_d$  – располагаемая потеря напряжения в сети;

$U_{xx}$  – номинальное напряжение при холостом ходе трансформатора (105 %);

$U_{\min}$  – допускаемое напряжение у наиболее удаленных ламп (см. [3], § 10.1);

$\Delta U_T$  – потеря напряжения в трансформаторе, приведенная ко вторичному напряжению. Отметим, что значение напряжений  $U_{xx}$ ,  $U_{\min}$ ,  $\Delta U_T$  указываются в процентах. Допустимые потери напряжения в осветительной сети  $\Delta U$ , % в зависимости от мощности трансформатора  $S_n$ , коэффициента его загрузки  $\beta$  и  $\cos\phi$  нагрузки см. в [3], таблица 12.6. Эти потери рассчитаны для  $U_{\min}$  равного 97,5 %, и при иных значениях должны быть соответственно изменены. Потеря напряжения  $\Delta U_T$  зависит от мощности трансформатора, его нагрузки, коэффициента мощности питаемых электроприемников и определяется с достаточным приближением по формуле:

$$\Delta U_T = \beta (U_{a.T} \cdot \cos\phi + U_{p.T} \cdot \sin\phi) \quad (18)$$

где  $U_{a.T}$  и  $U_{p.T}$  – активная и реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора, определяемого по формулам

$$U_{a.T} = \frac{P_k}{P_n} 100 \% \text{ и } U_{p.T} = \sqrt{U_k^2 \% - U_{a.T}^2 \%} \quad (19)$$

где  $P_k$  – потери короткого замыкания, кВт;  $P_n$  – номинальная мощность трансформатора, кВт·А;  $U_k$  – напряжение короткого замыкания, %.

В общем случае потеря напряжения в сети определяется по формулам:

- в сетях без индуктивности  $\Delta U \approx IR$  %;

- в сетях с индуктивностью  $\Delta U \approx I \sqrt{R^2 \cos^2\phi + C \sin^2\phi}$  %,



где  $I$  – расчетный ток линии, А;  $R$  и  $X$  – активное и реактивное сопротивления линии, Ом;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки;  $\varphi$  – угол сдвига между векторами тока и напряжения.

Если выразить  $\Delta U$  в процентах от номинального напряжения  $U_n$ , а ток нагрузки через мощность (кВт), то получим расчетные формулы потери напряжения в осветительной сети через момент нагрузки:

- для двухпроводной сети (однофазной, двухфазной без нуля или постоянного тока)

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 10^{11}}{\gamma S U_n^2} M \quad (20)$$

- для четырехпроводной трехфазной с нулем и трехфазной трехпроводной без нуля в сети

$$\Delta U = \frac{10^{11}}{\gamma S U_n^2} M \quad (21)$$

- для трехпроводной двухфазной с нулем в сети

$$\Delta U = \frac{2,25 \cdot 10^{11}}{\gamma S U_n^2} M \quad (22)$$

где  $\gamma$  – удельная проводимость проводника, См/м;  $S$  – сечение проводника, мм<sup>2</sup>;  $U_n$  – номинальное напряжение сети (для трех- и двухфазных сетей – линейное напряжение), В;  $M$  – момент нагрузки, равный произведению мощности нагрузки, кВт, на длину линии,  $l$ , м, и определяемый по схемам рисунка 4.

При заданных номинальном напряжении сети и материале проводника

$$\Delta U = \frac{M}{CS} \text{ и } S = \frac{M}{C\lambda U} \quad (23)$$

где  $C$  – коэффициент, зависящий от напряжения и материала проводника

Потери напряжения на всех участках сети (от шин низшего напряжения трансформатора до самого удаленного светильника) суммируются и сравниваются с величиной допустимой потери напряжения  $\Delta U_{\text{доп}}$ . В таблице 3

приведены значения  $\Delta U_T$  для коэффициента загрузки  $\beta = 1$ . Для определения истинной величины  $\Delta U_T$  его значение, найденное по таблице 3, следует умножить на фактическое значение коэффициента загрузки  $\beta$ .

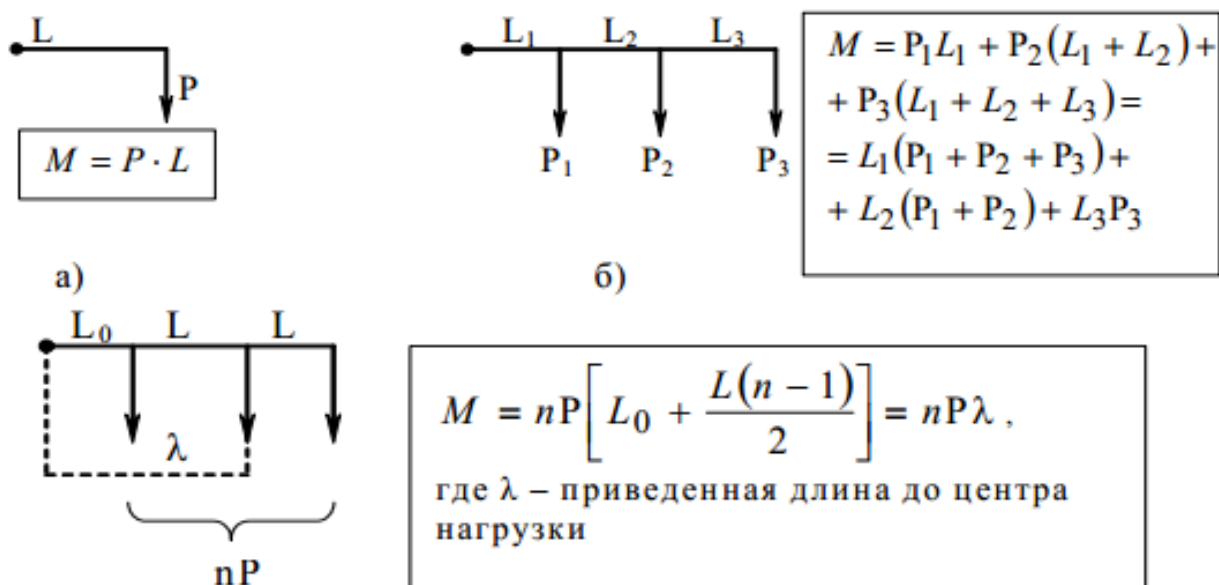


Рисунок 4 - Иллюстрации к определению моментов нагрузки

Таблица 3 - Потери напряжения в трансформаторах

Мощность трансформатора, кВ·А	Потеря напряжения $\Delta U_T$ , %, при коэффициенте мощности нагрузки, равном					
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
160	1,7	3,3	3,8	4,1	4,3	4,4
250	1,5	3,2	3,7	4,1	4,3	4,4
400	1,4	3,1	3,7	4,0	4,2	4,4
630	1,2	3,4	4,1	4,6	4,9	5,2
1000	1,1	3,3	4,1	4,6	5,0	5,2
1600 – 2500	1,0	3,3	4,1	4,5	4,9	5,2

**Пример 5.** Определить допустимую потерю напряжения в групповой линии, если осветительная установка питается от подстанции, на которой установлен трансформатор мощностью  $S_T = 1000$  кВ·А, коэффициент загрузки  $\beta = 0,7$ ; питающая 3-фазная 4-проводная линия имеет длину 30 м; активная мощность нагрузки  $P = 80$  кВт;  $\cos \varphi_{нагр} = 0,95$ ; напряжение питающей сети  $U = 380/220$  В.

*Решение.*

Расчетное значение тока в питающей линии:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U_{\text{Л}} \cdot \cos\varphi} = \frac{80}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,05} = 128,09 \text{ А}$$

Исходя из условия, что длительно допустимый ток через проводник  $I_{\text{дл}}$  должен превышать расчетное значение тока, т.е.  $I_{\text{дл}} \geq I$ , принимаем по таблице 12.2 [3] или таблицам [4] ближайшее значение тока  $I = 140 \text{ А}$  к расчетному  $I = 128,09 \text{ А}$  для четырехжильного кабеля АПВ-4 (1×70) с прокладкой в стальных трубах.

Таблица 4- Значения коэффициентов  $K_T$  и  $C$

Напряжение питающей сети	Система сети, род тока	Коэффициенты $K_T$				Коэффициент $C$ проводов	
		для ЛН	для ГЛ при $\cos\varphi$ комплекта Лампа – ПРА			медных	алюминиевых
			0,9	0,5	0,35		
660/380	Трехфазная с нулем	0,875	0,972	1,75	2,5	218,0	133,0
380/220		1,52	1,69	3,04	4,34	72,2	44,0
220/127		2,63	2,92	5,26	7,52	24,2	14,8
320	Трехфазная без нуля	1,52	1,69	3,04	4,34	72,2	44,0
220		2,63	2,52	5,26	7,52	24,2	14,8
40		14,4	16,0	28,9	41,2	0,8	0,488
36		16,0	17,8	32,1	45,8	0,648	0,395
12		48,1	53,5	96,1	137,0	0,072	0,044
660/380	Двухфазная с нулем	1,32	1,46	2,63	3,76	96,8	59,0
380/220		2,27	2,52	4,54	6,49	32,1	19,6
220/127		3,94	4,37	7,87	11,2	10,7	6,56
660/380	Однофазная с нулем	2,63	2,92	5,26	7,52	36,1	22,0
220		4,54	5,05	9,09	13,0	12,1	7,38
127	Двухпроводная переменного и постоянного тока	7,87	8,75	15,7	22,5	4,03	2,46
40		25,0	27,8	50,0	71,4	0,4	0,244
36		27,8	30,9	55,5	79,4	0,324	0,198
12		83,3	92,6	167,0	238,0	0,036	0,022

1. Определяем момент нагрузки в питающей линии

$$M = Pl = 80 \cdot 30 = 2400 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

2. По известному сечению питающей линии и моменту нагрузки по таблицу 12.11 [3] определим допустимую потерю напряжения в питающей линии:  $\Delta U_{\text{пит}} = 0,8 \%$ .

3. По заданным значениям  $S_T = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ ,  $\cos \varphi_{\text{нагр}} = 0,95$  и  $\beta = 0,7$ , по таблице 12.6 [3] определяем полную допустимую потерю напряжения от шин подстанции до самого удаленного светильника:  $\Delta U_{\text{доп}} = 5,5 \%$ .

4. Определяем допустимую потерю напряжения в групповой линии:  
 $\Delta U_{гр} = \Delta U_{доп} - \Delta U_{пит} = 5,5 - 0,8 = 4,7 \%$ , что согласуется с результатами пунктов 2 и 3.

Компенсация реактивной мощности в осветительных сетях. Осветительные сети с газоразрядными лампами и электромагнитными ПРА характеризуются низким значением  $\cos\varphi = 0,35 \div 0,6$ . Для повышения  $\cos\varphi$  до значения  $0,9 \div 0,95$  используются, как правило, статические конденсаторы. Компенсация реактивной мощности ( $\cos\varphi$ ) может быть индивидуальной (конденсаторы устанавливаются у каждого светильника) и групповой (конденсаторы присоединяются к началу каждой групповой линии или к питающим линиям, или к шинам подстанции) (таблица 5).

Реактивная мощность конденсаторов  $Q_k$  (в кВАр), необходимая для повышения  $\cos\varphi_1$  до значения  $\cos\varphi_2$ , определяется по формуле:

$$Q_k = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \text{ кВ}\cdot\text{Ар}, \quad (24)$$

где  $P$  – активная мощность ламп с учетом потерь в ПРА, кВт.

Промышленностью выпускаются комплектные конденсаторные установки, регулируемые, низкого напряжения на мощности  $50 \div 550$  кВАр типа УКМ 70; низкого напряжения с фильтрацией высших гармоник типа УКМФ-71 на мощности от 25 до 300 кВАр. Эти установки снабжены электронными (микропроцессорными) регуляторами мощности, что позволяет поддерживать требуемое значение  $\cos\varphi$  в широком диапазоне компенсируемых мощностей. Технические характеристики комплектных конденсаторных установок приведены в таблице 5. Номинальное напряжение установок 400 В, частота 50 Гц, коэффициент несинусоидальности 3,6, температура окружающего воздуха от  $-10$  до  $+45$  °С; степень защиты IP 21, IP 54; конденсаторы типа КПС.

Емкость конденсатора при индивидуальной компенсации определяется по формуле:

$$C = \frac{Q_k}{2\pi f U^2 \cdot 10^{-3}}, \text{ мкФ} \quad (25)$$

где  $U$  – напряжение на зажимах конденсатора, кВ;  $f$  – частота питающей сети, Гц;  $Q_k$  – реактивная мощность конденсатора, кВАр.

**Пример 6.** Определить реактивную мощность компенсирующего конденсатора  $Q_k$ , ток автоматического выключателя  $I_a$  на осветительном щитке, сечения (по току) фазовых  $S_\phi$  и нулевого  $S_0$  проводов групповой сети, ток линии  $I_{л}$  осветительной сети общей мощностью  $P = 18$  кВт, в том числе лампы накаливания  $P_n = 3$  кВт,  $\cos\varphi = 1$  и лампы ДРЛ мощностью  $P_d = 15$  кВт (с

учетом потерь в ПРА),  $\cos\varphi = 0,5$ ;  $\operatorname{tg}\varphi = 1,73$ . Питание освещения осуществляется трехфазной четырехпроводной линией, выполненной кабелем АНРГ. Загрузка фаз равномерная. Фазное напряжение  $U_{\phi} = 0,22$  кВ.

*Решение.*

Реактивная  $Q_1$ , полная  $S_1$  мощности и ток групповой линии  $I_{\text{л}}$  некомпенсированной осветительной сети;

$$Q_1 = P_{\text{д}} \operatorname{tg}\varphi_1 = 15 \cdot 1,73 = 26 \text{ кВ}\cdot\text{Ар};$$

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q_1^2} = \sqrt{18^2 + 26^2} = 31,6 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$I_{\text{л}} = \frac{S_1}{\sqrt{3}U_{\text{л}}} = \frac{31,6}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,22} = 47,878 \text{ А}.$$

Таблица 5 – Характеристики конденсаторных установок

Тип	Мощность, кВ·Ар	Количество ступеней	Мощность ступеней	Ток, А	Сечение медного кабеля для ввода, мм <sup>2</sup>	Масса, кг
УКМ 70-0,4-50-10-У3						
-75-15-У3	50	5	1×10+2×20	72	3×50	170
-100-20-У3	75	5	1×15+2×30	108	3×100	175
-112,5-12,5-У3	100	5	1×20+2×40	144	3×100	210
-150-25-У3	112,5	9	1×12,5+4×25	161	3×100	215
-200-25-У3	150	6	2×25+2×50	216	3×150	235
-225-25-У3	200	8	2×35+3×50	289	2×(3×185)	280
-250-25-У3	225	9	1×25+4×50	325	2×(3×185)	300
-275-25-У3	250	10	2×25+4×50	361	2×(3×240)	330
-300-25-У3	275	11	2×25+6×50	398	2×(3×240)	340
-350-25-У3	300	12	2×25+5×50	433	2×(3×240)	350
-400-50-У3	350	14	2×25+6×50	498	2×(3×150)	370
-500-50-У3	400	8	2×25+7×50	579	2×(3×185)	430
-550-50-У3	500	10	2×25+9×50	755	2×(3×240)	550
	550	11	2×25+10×50	810	2×(3×240)	580
УКМФ-04-25-25-У3	25	1	1×25	36	3×16	160
-50-25-У3	50	2	2×25	72	3×50	200
-75-25-У3	75	3	1×25+1×50	108	3×70	250
-100-25-У3	100	4	2×25+1×50	144	3×120	280
-125-25-У3	125	5	1×25+2×50	180	3×185	315
-150-25-У3	150	6	2×25+2×50	217	3×240	340
-175-25-У3	175	7	1×25+3×50	253	2×(3×95)	380
-200-25-У3	200	8	2×25+3×50	289	2×(3×120)	400
-250-25-У3	250	5	2×25+4×50	361	2×(3×185)	460
-300-25-У3	300	6	2×25+5×50	433	2×(3×240)	520

Коэффициент мощности некомпенсированной установки

$$\cos\varphi_1 = P/S_1 = 18/31,6 = 0,57$$

Необходимая реактивная мощность конденсатора, установленного в начале групповой линии для повышения коэффициента мощности от исходного  $\cos\varphi_1 = 0,57$  ( $\text{tg}\varphi_1 = 1,43$ ) до значения  $\cos\varphi_2 = 0,95$  ( $\text{tg}\varphi_2 = 0,33$ )

$$Q_k = P(\text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi_2) = 18 \cdot (1,43 - 0,33) = 19,8 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

По таблице 5 выбираем комплексную конденсаторную установку типа УКМФ-04-25-25-У3 мощностью 25 кВАр. Тогда при исправленном коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2$  реактивная мощность:

$$Q_2 = Q_1 - Q_k' = 26 - 25 = 1 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Полная мощность:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q_1^2} = \sqrt{18^2 + 12^2} = 18,0277 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Коэффициент мощности:

$$\cos\varphi_2 = P/S_2 = 18/18,0277 = 0,99846.$$

По таблице 12.2 [3] или с учетом рекомендаций [4] для  $I_n = 48 \text{ А}$  определяем  $S_\phi = 16 \text{ мм}^2$ . Ввиду отсутствия компенсации реактивной мощности на участке «автоматический выключатель – лампы» увеличения  $S_0$  до  $S_\phi$  не требуется – в этом случае принимаем  $S_0 = 10 \text{ мм}^2$ , тогда ток автомата:

$$I_a = \frac{S_2 K_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{19,6 \cdot 1,4}{1,73 \cdot 0,38} \approx 40 \text{ А,}$$

где  $K_n = 1,4$  – коэффициент на пусковые токи [3, таблица 10.2].

### 3 Проектирование электрификации производственных процессов

Электрическая энергия используется практически во всех производственных процессах современных аграрных предприятий, причем доля электрической энергии в общем энергобалансе предприятий постоянно увеличивается.

Основные направления применения электрической энергии в аграрном производстве следующие:

- электромеханизация производственных процессов (электропривод рабочих машин);
- электронагрев (использование различного рода электронагревателей);
- электрические источники оптического излучения;
- электротехнология (непосредственное использование электроэнергии в технологических процессах);

Ниже рассматривается электрификация некоторых, наиболее распространенных, производственных процессов [1].

#### 3.1 Электрификация водоснабжения

Электрификация процессов водоснабжения уменьшает затраты труда на обслуживание установок водоснабжения, улучшает условия труда, позволяет автоматизировать данный процесс.

Для приводов насосов водоснабжения применяют электродвигатели, выбор которых зависит от параметров и условий работы насоса.

Выбор параметров насоса и электродвигателя для его привода выполняется в следующем порядке:

1. суточный расход воды ( $\text{м}^3/\text{сут.}$ ):

$$Q_{\text{сут}} = k_{\text{сут}} \sum g_i \cdot N_i \quad (26)$$

где  $g_i$  - среднесуточная норма потребления на единицу измерения данного потребителя, л/сут;  $N$  - число единиц измерения данного потребителя;

$k_{\text{сут}}$  - коэффициент суточной неравномерности,  $k_{\text{сут}} = 1,1 \div 1,3$ .

2. Максимальный часовой расход воды ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ):

$$Q_{\text{max}^* \text{ч}} = \frac{k_{\text{ч}} \cdot Q_{\text{сут}}}{24} \quad (27)$$

где  $k_{\text{ч}}$  - коэффициент часовой неравномерности (принимается по нормативным документам).



3. Секундный расход воды ( $\text{м}^3/\text{с}$ ):

$$Q_c = \frac{Q_{\text{max.ч}}}{3600} + Q_n \quad (28)$$

где  $Q_n$  - дополнительный противопожарный расход, принимаемый по нормативным документам.

4. Полное расчетное давление насоса (кПа). В предварительных расчетах полное расчетное давление насоса допускается определить по выражению:

$$H = 1,1 H_z + H_{ce} \quad (29)$$

где  $H_z$  - геометрический напор, т.е. расстояние по вертикали от наинизшего уровня воды в водоисточнике до наивысшей точки подъема воды, м (коэффициент 1,1 учитывает потери напора в трубопроводах и местных сопротивлениях);  $H_{ce}$  - свободный напор в системе водоснабжения,  $H_{ce} = 2 \div 6$  м; метры водяного столба переводят в кПа (1 метр водяного столба равен 9,81 кПа)

5. По секунднему расходу воды и полному расчетному давлению насоса подбирают по каталогам насос с соблюдением условий:

$$Q_{\text{нас}} \geq Q_c ; H_{\text{нас}} \geq H \quad (30)$$

6. Расчетная мощность электродвигателя для привода насоса (кВт):

$$P_{\text{дв}} = \frac{k_3 \cdot \gamma \cdot Q_c \cdot H}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_{\text{п}}} \quad (31)$$

где  $k_3$  - коэффициент запаса, принимаемый равным 2,0 при мощности электродвигателя до 0,75 кВт; 1,5 при мощности от 0,75 до 1,5 кВт; 1,2 при мощности от 1,5 до 3,5 кВт; 1,15 при мощности от 3,5 до 35 кВт; 1,1 при мощности свыше 35 кВт;  $\gamma$  - плотность перекачиваемой жидкости,  $\text{н}/\text{м}^3$ ;  $\eta_n$  - коэффициент полезного действия насоса (для центробежных насосов 0,5-0,8; для вихревых 0,25-0,5; для поршневых 0,5-0,6);  $\eta_{\text{п}}$  - К.П.Д. передачи (для ременных передач 0,96; для зубчатых 0,98; при непосредственном присоединении валов насоса и электродвигателя 1,0).  $Q_c$  - секундная подача насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  - напор насоса, кПа.

7. По каталогу, с учетом условий работы насоса, подбирают электродвигатель с соблюдением условия:



$$P_H \geq P_{ДВ} \quad ; \quad n_{ДВ} \approx n_{нас} \quad (32)$$

где  $P_H$  - номинальная мощность электродвигателя, кВт;  $n_{ДВ}$ ;  $n_{нас}$  - номинальная скорость вращения двигателя и насоса соответственно, об/мин.

**Пример 7.** Выбрать насос и электродвигатель к нему для водоснабжения коровника на 100 дойных коров с автопоилками. Забор воды осуществляется из скважины, погружным центробежным насосом, геометрический напор составляет 30 м.

*Решение*

1. Суточный расход воды:  $Q_{сут} = g \cdot N \cdot k_{сут}$ ;  $g = 100$  л/сут;  $k_{сут} = 1,2$ ;  
 $Q_{сут} = 100 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 1,2 = 12$  м<sup>3</sup>/сут.

2. Максимальный часовой расход воды:  $Q_{max.ч.} = \frac{k_ч \cdot Q_{сут}}{24}$   
 $k_ч = 2,5$  - для ферм с автопоением;  $Q_{max.ч.} = \frac{2,5 \cdot 12}{24} = 1,25$  м<sup>3</sup>/ч

2. Секундный расход воды

Противопожарный расход воды ( $Q_{П}$ ) для здания коровника второй степени огнестойкости составляет 5 л/с.

$$Q_c = \frac{Q_{max.ч.}}{3600} + Q_{П}; \quad Q_c = \frac{1,25}{3600} + 5 \cdot 10^{-3} = 5,35 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

3. Полное расчетное давление насоса:

$$H = 1,1H_z + H_{CB} = 1,1 \cdot 30 + 5 = 38 \text{ м} = 372,7 \text{ кПа}$$

4. По каталогу выбираем для водоснабжения объекта погружной центробежный насос типа ЭЦВ-8-16-85.

$$Q_{нас} = 13 - 21 \text{ м}^3 / \text{ч} = (3,61 - 5,83) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

$$H_{нас} = 100 - 78 \text{ м} = (981 - 765,2) \text{ кПа}$$

5. мощность электродвигателя для привода насоса:

$$P_{ДВ} = \frac{k_3 \cdot \gamma \cdot Q \cdot H}{\eta_n \cdot \eta_{П}} = \frac{1,15 \cdot 1000 \cdot 5,85 \cdot 10^{-3} \cdot 765,2}{1000 \cdot 0,6 \cdot 1,0} = 7,85 \text{ кВт}$$

По каталогу принимаем для привода насоса электродвигатель ПЭДВ12 мощностью 12 кВт, поставляемый в комплекте с насосом.

### 3.2 Электрификация вентиляции

Вентиляция производственных помещений выполняется для поддержания в допустимых пределах влажности, температуры и вредных газов. Для вентиляции используют центробежные и осевые вентиляторы, которые непосредственно соединяются с электродвигателями. Вентиляторы выбирают по подаче и полному давлению. Расчетная подача вентилятора  $Q_B$  определяется исходя из воздухообмена необходимого для обеспечения требуемых параметров воздуха в помещении, расчетное давление вентилятора определяется по величине потерь давления воздуха в воздуховодах. В общем случае необходимый воздухообмен воздуха в помещениях определяется как наибольшее значение из трех параметров:

- а) допустимого содержания вредных газов;
- б) допустимого влагосодержания;
- в) обеспечение удаления избыточного тепла.

Для животноводческих и птицеводческих помещений допускается необходимый воздухообмен определять по выражению:

$$L_B = G \cdot L_{y\partial}, \quad (33)$$

где  $G$ - суммарная масса всех животных в помещении, кг;

$L_{y\partial}$  - воздухообмен на 1 кг живой массы, м<sup>3</sup>/кг ч.

Значение  $L_{y\partial}$  принимают по нормативным документам [6]. После определения  $L_B$  определяют его кратность  $K$ , которая для животноводческих помещений должна быть в пределах  $3 \div 5$ .

$$K = \frac{L_B}{V}, \quad (34)$$

где  $V$ -объем помещения, м<sup>3</sup>/ч

При необходимости значение  $L_B$  корректируют для обеспечения необходимой кратности воздухообмена.

Необходимое расчетное давление вентилятора определяют по выражению:

$$H = \frac{\gamma W^2}{2} \left( \frac{\lambda l}{d} + \sum \beta \right), \quad (35)$$

где  $\gamma$  - плотность воздуха (в среднем  $1,2 \text{ кг/м}^3$ );

$v$  - скорость движения воздуха в воздухопроводе (обычно  $12-15 \text{ м/с}$ );

$\lambda$  - коэффициент трения (для круглых стальных воздухопроводов  $\lambda=0,02$ );

$l$  - длина воздуховода, м;

$d$  - внутренний диаметр воздуховода, м;

$\sum \beta$  - сумма коэффициентов местных сопротивлений. (обычно составляет  $1-1,5$ )

По расчетным значениям  $L_B$  и  $H$  выбирают в каталоге вентилятор с соблюдением условий:  $Q_B \geq L_B$ ;  $H_B \geq H$ .

Расчетная мощность электродвигателя для привода вентилятора определяется по выражению:

$$P_{расч.} = \frac{k \cdot Q_B \cdot H_B \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot \eta_B \cdot \eta_{II}}, \quad (36)$$

где  $k$  - коэффициент запаса (принимается  $1,5$  при  $P_d$  до  $0,5 \text{ кВт}$ ;  $1,3$ -до  $1 \text{ кВт}$ ;  $1,2$  – до  $2 \text{ кВт}$ ;  $1,15$ - до  $5 \text{ кВт}$ ;  $1,1$  свыше  $5 \text{ кВт}$ );

$\eta_B$  - к.п.д. вентилятора ( для ц/б  $\eta_B=0,4-0,6$ );

$\eta_{II}$  - к.п.д. передачи

По полученному значению  $P_{расч.}$  выбирают по каталогу электродвигатель с соблюдением условий:

$$P_n \geq P_{расч.}; n_n \geq n_{вент.} \quad (37)$$

**Пример 8.** Выбрать вентилятор и электродвигатель к нему для обеспечения притока свежего воздуха в помещение коровника на  $100$  голов размером  $12 \times 40 \times 3$  (h) м. Венткамера расположена в торце здания, воздухопровод выполнен из оцинкованной стали, диаметр воздуховода  $400 \text{ мм}$ , длина  $45 \text{ м}$ . Масса одного животного составляет  $400 \text{ кг}$ .

*Решение*

1. Определяем необходимый воздухообмен в помещении по  $L_B = G * L_{y\delta}$ :

$$L_{y\delta} = 0,17 \text{ м}^3/\text{кг ч} \quad [6]$$

$$L_B = 100 \cdot 400 \cdot 0.17 = 6800 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2. Определяем кратность воздухообмена. Объем помещения

$$V = 12 \cdot 40 \cdot 3 = 1440 \text{ м}^3 \quad K = \frac{L_B}{V} :$$

$$K = \frac{6800}{1440} = 4,72$$

Кратность воздухообмена находится в пределах рекомендуемого значения (3÷5).

3. Необходимое расчетное давление вентилятора  $H = \frac{\gamma \cdot v^2}{2} \left( \frac{\lambda \cdot \ell}{d} + \sum \beta \right) :$

$$H = \frac{1,2 \cdot 14^2}{2} \left( \frac{0,02 \cdot 45}{0,4} + 1,5 \right) = 441 \text{ Па}$$

4. По рассчитанным значениям  $L_B$  и  $H$  выбираем по каталогу центробежный вентилятор ВЦ 4–70 №5 с параметрами: производительность  $Q_B = 8300 \text{ м}^3/\text{ч}$ , полное давление:  $H_B = 813 \text{ Па}$ , при частоте вращения 1440 об/мин.

5. Расчетная мощность электродвигателя для привода вентилятора

$$P_{\text{расч}} = \frac{k_3 \cdot Q_B \cdot H_B \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot \eta_B \cdot \eta_L} :$$

$$P_{\text{расч}} = \frac{1,2 \cdot 8300 \cdot 813 \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot 0,5 \cdot 1,0} = 4,5 \text{ кВт}$$

По каталогу принимаем электродвигатель типа 4А112М4УЗ  $P_H = 5,5 \text{ кВт}$ ;  $n_0 = 1500 \text{ об/мин}$ .

### 3.3 Электрификация отопления помещений

Для получения тепла на агропромышленных предприятиях в настоящее время преимущественно применяется твердое, жидкое или газообразное топливо сжигаемое в тепловых установках. Применение электроэнергии для целей отопления позволяет обеспечить лучшие санитарно–бытовые условия, уменьшить капитальные вложения на систему отопления, полностью автоматизировать работу отопительных устройств.

Теплоотдачу электронагревательного устройства находят из уравнения теплового баланса помещения:

$$P_T = P_O + P_B - P_{II} \quad (38)$$

где  $P_O$  – теплопотери через ограждения, кВт;

$P_B$  – тепло уносимое с вентилируемым воздухом, кВт;

$P_{II}$  – тепловыделения в помещении, кВт.

Теплопотери через ограждения (кВт):

$$P_O = \sum k \cdot F(t_{II} - t_H) \cdot 10^{-3} \quad (39)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$F$  – площадь ограждения, м<sup>2</sup>;

$t_{II}$  – температура воздуха внутри помещения, °С;

$t_H$  – расчетная температура наружного воздуха, °С.

Значения коэффициентов теплопередачи  $k$  для различных типов ограждений и значений температур воздуха в помещениях приводятся в справочной и нормативной литературе [5].

Тепло, уносимое с вентилируемым воздухом (кВт):

$$P_B = c \cdot \gamma \cdot V \cdot (t_{II} - t_H) \cdot K \cdot 10^{-3} \quad (40)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость воздуха, равная 0,28 Вт·ч/кг·°С;

$\gamma$  – плотность наружного воздуха ( $\approx 1,2$  кг/м<sup>3</sup>);

$V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>;

$K$  – часовая кратность воздухообмена.

Тепловыделения в помещение (кВт):

$$P_{II} = p \cdot N \cdot 10^{-3} \quad (41)$$

где  $p$  – тепло выделяемое одним животным данного вида, Вт (принимается по нормативным данным);

$N$  – количество животных.

Мощность электронагревательного устройства:

$$P_{ЭН} = \frac{P_T}{\eta_{ЭН}} \quad (42)$$

где  $\eta_n$  – к.п.д. электронагревателя (для электронагревателей устанавливаемых непосредственно в обслуживаемых помещениях  $\eta_{эH} = 1$ ; при установке в других помещениях  $\eta_{эH} = 0,9$ ).

По рассчитанной мощности электронагревателя подбирается по каталогам стандартное оборудование с соблюдением условия:

$$P_n \geq P_{эH} \quad (43)$$

где  $P_n$  – номинальная мощность электронагревателя.

**Пример 9.** Рассчитать мощность электрокалорифера для воздушного отопления коровника на 100 голов с данными из примера 8 стены кирпичные толщиной 525 мм ( $k_1 = 1,24$ ), двойные ворота ( $k_2 = 2,33$ ), покрытие с термоизоляционной засыпкой ( $k_3 = 1,17$ ). Нормируется температура воздуха в помещении  $t_n = 10$  °С, расчетная температура наружного воздуха  $t_H = -35$  °С.

1. Тепло потери через ограждения  $P_0 = \sum k \cdot F(t_n - t_H) \cdot 10^{-3}$ :

$$P_0 = [1,24(2 \cdot 3 \cdot 40 + 2 \cdot 3 \cdot 12) + 2,33 \cdot 2 \cdot 6 + 1,17 \cdot 12 \cdot 40](10 + 35) \cdot 10^{-3} = 43,94 \text{ кВт}$$

2. Тепло уносимое с вентилируемым воздухом  $P_B = c \cdot \gamma \cdot V(t_n - t_H) \cdot K \cdot 10^{-3}$ :

$$P_B = 0,28 \cdot 1,2 \cdot 1440(10 + 35) \cdot 4,72 \cdot 10^{-3} = 102,77 \text{ кВт}$$

3. Тепловыделения в помещении  $P_{II} = p \cdot N \cdot 10^{-3}$ . Масса одного животного составляет 300 кг, тепловыделение на 1 животное 747 Вт

$$P_{II} = 747 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 74,70 \text{ кВт}$$

4. Необходимая мощность теплоотдачи нагревательного прибора  $P_T = P_0 + P_B - P_{II}$ :

$$P_T = 43,94 + 102,77 - 74,70 = 72,01 \text{ кВт}$$

5. Необходимая мощность электронагревательного устройства  $P_{эH} = \frac{P_T}{\eta}$ :

$$P_{эH} = \frac{72,01}{1,0} = 72,01 \text{ кВт}$$

6. По рассчитанной мощности электронагревателя подбираем для воздушного отопления коровника два электрокалорифера мощностью по 40 кВт – СФО–40 – 2 шт.

$$P_{ЭН} = 2 \cdot 40 = 80 > 72,01 \text{ кВт}$$

### 3.4 Электрификация кормоприготовления

Для правильного выбора кормоприготовительных машин необходимо иметь данные о количестве и технологии содержания животных.

Кормоприготовительные машины и электропривод к ним выбирают в следующем порядке:

1. Определяют суточное потребление данного вида корма всеми животными

$$Q_{сут} = g \cdot N \quad (44)$$

где  $g$  – суточная норма данного вида корма на одно животное, кг;

$N$  – число животных данного вида.

2. Определяется время работы кормоприготовительных машин в течении суток ( $t$ ). Для нескоропортящихся кормов, время работы кормоприготовительной машины можно принимать равным продолжительности одной рабочей смены (8 часов).

3. Исходя из величины суточного потребления кормов ( $Q_{сут}$ ) и времени работы кормоприготовительной машины в течении суток ( $t$ ), определяют необходимую часовую производительность кормоприготовительной машины.

$$Q_{час} = \frac{Q_{сут}}{t} \quad (45)$$

5. По каталогу подбирают машину для приготовления данного вида корма, обеспечивающую необходимую производительность. Электродвигатели, как правило, поставляются комплектно с рабочей машиной.

Приблизенно мощность кормоприготовительной машины можно определить по удельному расходу электроэнергии для производства одной тонны корма –  $A_{уд.}$  (эти данные приводятся в справочной литературе[5]).

$$P_{раб.маш.} = \frac{A_{уд.} \cdot Q_{час}}{\eta_n} \quad (46)$$

где  $\eta_n$  – к.п.д. передачи.

По полученному значению расчетной мощности рабочей машины по каталогам подбирается стандартный электродвигатель.

Более точные методы определения мощности рабочей машины приводятся в специальной литературе.

**Пример 10.** Выбрать электродвигатель для привода дробилки кормов, обеспечивающей сухим кормом 300 телят. Суточное потребление корма составляет 4 кг.

1. Суточное потребление корма всеми животными  $Q_{сут} = g \cdot N$ .

$$Q_{сут} = 4 \cdot 300 = 1200 \text{ кг/сут.}$$

2. Время работы дробилки принимаем равным 2 часа в сутки.

3. Часовая производительность дробилки  $Q_{час} = \frac{Q_{сут}}{t}$ :

$$Q_{час} = \frac{1200}{2} = 600 \text{ кг/час.}$$

4. По каталогу подбираем дробилку кормов типа ДКУ–1,0 имеющую производительность 0,75–0,85 т/ч при дроблении зерна. Удельный расход электроэнергии для приготовления 1 т сухого корма составляет 13–15 кВт·ч/т, частота вращения 1460 об/мин.

Определим необходимую мощность электродвигателя для привода

дробилки  $P_{раб.маш.} = \frac{A_{уд.} \cdot Q_{час}}{\eta_n}$ .

$$P_{раб.маш.} = \frac{14 \cdot 0,8}{0,95} = 11,78 \text{ кВт}$$

По рассчитанной мощности рабочей машины по каталогу выбираем стандартный двигатель типа 4А160S4У2 мощностью 15,0 кВт,  $n_0 = 1500$  об/мин. со степенью защиты оболочки IP44.

### 3.5 Электрификация транспортных процессов

Наиболее распространенными транспортными процессами в животноводстве на сегодняшний день являются уборка навоза и раздача кормов, обычно выполняемые скребковыми транспортерами. Электродвигатели для привода транспортеров кормораздачи и уборки навоза, как правило поставляются в комплекте с рабочими машинами. Выбор электродвигателя для



привода скребкового транспортера, при необходимости, ведут в следующем порядке.

1. Определяют массу груза перемещаемого транспортером –  $G$ , кг.
2. Находят массу груза перемещаемого одним скребком –  $g$ , кг.

$$g = \frac{G}{n} \quad (47)$$

где  $n$  – количество скребков транспортера

3. Производительность скребкового транспортера, кг/с

$$Q_{с.т.} = \frac{g}{a} V \quad (48)$$

где  $V$  – скорость движения цепи со скребками, м/с (0,3 ÷ 1,0 м/с в зависимости от вида перемещаемого груза).

4. Расчетная мощность электродвигателя для привода скребкового транспортера, кВт.

$$P_{дв} = \frac{9,81k_3 \cdot Q_{с.т.} (k_c \cdot L + H)}{\eta_{п}} 10^{-3} \quad (49)$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса по условиям пуска (для скребковых транспортеров 1,8);

$k_c$  – коэффициент сопротивления перемещения груза (для скребковых транспортеров ориентировочно 2,0);

$L$  – длина транспортера, м;

$H$  – высота подъема груза, м;

$\eta_{п}$  – к.п.д. передачи.

5. По рассчитанному значению  $P_{дв}$  по каталогам подбирается стандартный электродвигатель.

**Пример 11.** Определить мощность электродвигателя для привода кормораздаточного транспортера. Транспортер движется внутри кормушек, длина транспортера составляет – 70 м, число скребков – 140 шт, масса перемещаемого корма – 1,0 тонна, скорость движения – 0,4 м/с.

1. Масса груза перемещаемого одним скребком  $g = \frac{G}{n}$ :

$$g = \frac{1000}{140} = 7,14 \text{ кг}$$

2. Производительность транспортера,  $Q_T = \frac{g}{a} V$ , кг/с

$$Q_T = \frac{7,14}{0,5} 0,4 = 5,71 \text{ кг/с}$$

3. Мощность электродвигателя для привода транспортера

$$P_{дв} = \frac{9,81k_3 \cdot Q_T \cdot (k_c \cdot L + H)}{\eta_{п}} 10^{-3}$$

$$P_{дв} = \frac{9,81 \cdot 1,8 \cdot 5,81(2,0 \cdot 70 + 0)}{0,95} 10^{-3} = 1,49 \text{ кВт}$$

4. Принимаем стандартный электродвигатель типа 4А80А4У2 мощностью 1,5 кВт,  $n_0 = 1500$  об/мин.

#### 4 Проектирование внутрицехового и внешнего электроснабжения

При определении расчетных нагрузок обычно пользуются методом коэффициента одновременности, методом построения графика электрических нагрузок или методом упорядоченных диаграмм (эффективного числа электроприемников) и другими.

Расчетные нагрузки на вводах в сельские жилые дома и удельное перспективное потребление электроэнергии на внутриквартирные нужды определяют по номограмме, исходя из существующего внутриквартирного электропотребления с учетом динамики его роста до конца расчетного периода. Рекомендуется принимать расчетные нагрузки по так называемой кривой «семи лет». Если к концу расчетного периода населенный пункт будет газифицирован, то расчетную нагрузку и электропотребление снижают на 20 % [5].

Сечение проводов ввода от опоры до счетчика одно- или двухквартирного дома выбирают исходя из расчетной мощности 2 кВА для домов без электроплит и 5 кВА для домов с электроплитами. Коэффициент участия нагрузки жилых домов без электроплит в дневном максимуме составляет 0,2-0,3, домов с электроплитами – 0,5, а для вечернего максимума этот коэффициент принимают равным единице. Нагрузку уличного освещения в сельских населенных пунктах определяют по следующим нормам: для центральных улиц с многоэтажной застройкой и шириной свыше 20 м – 5 В·А на 1 м длины улицы или 200 В·А на 1 дом; для центральных улиц шириной 20 м с одноэтажной застройкой и шириной проезжей части около 10 м соответственно 3,5 и 140 В·А; для прочих улиц в сельских населенных пунктах соответственно 2 и 80 В·А. При этом нормой на 1 м длины улицы пользуются при выполнении проектов электрификации сельскохозяйственных предприятий, а нормой на 1 дом – проектов распределительных электрических сетей 6 – 35 кВ. Нагрузки наружного освещения территории хозяйств в проектах электрификации сельскохозяйственных предприятий и сетей 6 – 35 кВ принимают из расчета 150 В·А на одно помещение. Различают дневной  $S_d$  и вечерний  $S_v$  расчетные максимумы нагрузки потребителя или группы потребителей.

Расчетные нагрузки на вводах к потребителям, имеющим до 3 силовых электроприемников и освещение, принимают равными алгебраической сумме мощностей силовых электроприемников и освещения [5].

Если нагрузку ТП рассчитывают только по одному максимуму, то коэффициенты дневного и вечернего максимума принимают для

подстанций с производственной нагрузкой  $k_d = 1,0$  и  $k_b = 0,6$ , с коммунально-бытовой нагрузкой без электроплит  $k_d = 0,3$  и  $k_b = 1,0$  и с электроплитами  $k_d = 0,5$ ,  $k_b = 1,0$  [8].

Расчетные нагрузки механических мастерских и других производственных сооружений с электрооборудованием, аналогичным по составу и режиму работы, промышленным установкам, можно определять по принятой в промышленности методике.

Под установленной мощностью понимается:

- для осветительных приборов – мощность, указанная на цоколе или колбе лампы;
- для электронагревательных установок – паспортная активная мощность;
- для электродвигателей с длительным режимом работы – мощность, развиваемая электродвигателем на валу (номинальная паспортная мощность);
- для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы – номинальная мощность, приведенная к относительной продолжительности включения, равной единице [5].

На основании данных сменного технологического графика работы предприятия строят график электрических нагрузок. По оси ординат откладывают значения потребляемых мощностей, а по оси абсцисс – длительность работы электропотребителей. Полукасовой максимум определяют по участку, где в течение получаса потребляемая мощность наибольшая. Если максимум нагрузки на этом участке менее получаса, то находят эквивалентную мощность [5].

Определение расчетных токов на различных участках электрической сети. Под расчетным током (нагрузкой) участка электрической сети понимается величина условного тока вызывающего такой же нагрев проводников, что и действительный ток протекающий по этому участку за одинаковый интервал времени. Для основной массы электрооборудования и проводников расчетный интервал времени в настоящее время составляет 30 минут.

Для одиночных электроприемников подключенных к электрической сети расчетный ток принимают равным его номинальному значению.

Для трехфазных электроприемников с симметричной нагрузкой расчетный ток определяют по выражению:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} \quad (50)$$

где  $P_H$ ,  $U_H$ ,  $\cos \varphi_H$ ,  $\eta_H$  – номинальные значения активной мощности (кВт), напряжения (кВ), коэффициента мощности и к.п.д. соответственно.

Для однофазных электроприемников или электроприемников включенных на междуфазное напряжение, расчетный ток:

$$I_p = \frac{P_H}{U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} \quad (51)$$

Для трансформаторов расчетный ток определяется, исходя из значений полной номинальной мощности (в кВА).

для трехфазных трансформаторов:

$$I_p = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (52)$$

для однофазных трансформаторов:

$$I_p = \frac{S_H}{U_H} \quad (53)$$

Для электронагревательных приборов значения коэффициента мощности и к.п.д. равны единице, расчетный ток электронагревательных приборов определяют по выражению:

- для трехфазных электроприемников:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (54)$$

- для однофазных электроприемников:

$$I_p = \frac{P_H}{U_H} \quad (55)$$

Расчетная нагрузка (мощность) линии питающей узел электрической сети (распределительный щит) может быть определена одним из следующих методов:

а) метод коэффициента спроса

$$P_p = K_C \cdot \sum_{i=1}^n P_{Hi} \quad (56)$$

где  $P_{Hi}$  – номинальная мощность электроприемника подключенного к узлу, кВт;

$K_C$  – коэффициент спроса, определяемый по справочным данным в зависимости от количества электроприемников и графика их работы. (см. таблицу 6, 7).

б) метод коэффициента максимума

$$P_p = K_M \cdot K_u \cdot \sum_{i=1}^n P_{Hi} \quad (57)$$

где  $k_i$  – коэффициент использования для данной группы электроприемников (см. таблицу 8);

$K_M$  – коэффициент максимума.

Коэффициент максимума определяется по таблицам (см. таблицу 9) или диаграммам [4] в зависимости от  $K_M$  и эффективного числа электроприемников данной группы  $n_{\text{э}}$ ;

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum P_{Hi})^2}{\sum P_{Hi}^2} \quad (58)$$

в) метод коэффициента загрузки:

$$P_p = \sum \frac{P_{Hi} \cdot K_{3i}}{\eta_i} + \sum \frac{P_{KH_i} \cdot K_{3Ki} \cdot t}{0,5 \cdot \eta_{Ki}} \quad (59)$$

где  $P_{Hi}$ ,  $P_{KH_i}$  – номинальные мощности электроприемников работающих более 0,5 часа и менее 0,5 часа соответственно, кВт;

$K_{3i}$ ,  $K_{3Ki}$  – коэффициенты загрузки электроприемников (см. таблицу 10);

$\eta_i$ ,  $\eta_{Ki}$  – к.п.д. электроприемников;

$t$  – время работы электроприемников, работающих менее 0,5 часа, час;

Определение пиковых нагрузок. Для выбора аппаратов защиты сетей кроме расчетных токов необходимо знать и пиковые токи, создаваемые отдельными электроприемниками (пусковые токи электродвигателей) за некоторый малый интервал времени (1–2 сек.).

Для одиночных электроприемников пиковый ток равен пусковому току.

$$I_{\text{пик}} = K_i \cdot I_H \quad (60)$$

где  $K_i$  – кратность пускового тока, определяется по паспортным данным электроприемника.

Для группы электроприемников пиковый ток складывается из пускового тока электроприемника имеющего наибольший пусковой ток ( $I_{пуск.м}$ ) и расчетного тока группы электроприемников ( $I_{P\Sigma}$ ) за вычетом расчетного тока электроприемника имеющего наибольший пусковой ток ( $I_{Pi}$ ).

$$I_{тик} = I_{пуск.м} + (I_{P\Sigma} - I_{pi}) \quad (61)$$

Таблица 6 - Коэффициенты спроса для силового оборудования производственного назначения.

K <sub>C</sub> , при числе электроприемников									
1–2	3	5	8	10	15	20	30	50	100
1,0	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,65	0,6	0,55	0,50

Таблица 7 - Коэффициенты спроса для питающих сетей электроосвещения.

№ п/п	Наименование зданий	K <sub>C</sub>
1	Небольшие производственные здания	1,0
2	Производственные здания состоящие из крупных пролетов	0,95
3	То же состоящие из многих мелких помещений	0,85
4	Административно–бытовые и лабораторные корпуса	0,8
5	Складские здания состоящие из многих отдельных помещений	0,6
6	Линии питающие щитки аварийного освещения	1,0

Таблица 8 - Зависимость коэффициента спроса (K<sub>C</sub>) от коэффициента использования (K<sub>и</sub>).

K <sub>и</sub>	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
K <sub>C</sub>	0,5	0,6	0,65÷0,7	0,75÷0,8	0,85÷0,9	0,92÷0,95	1,0

Таблица 9 - Коэффициент максимума K<sub>M</sub> для различных коэффициентов K<sub>и</sub> в зависимости от n<sub>э</sub>

n <sub>э</sub>	K <sub>и</sub>									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,94
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1	1,04
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08	1,04
9	2,56	2,2	1,9	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03

10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
14	2,1	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,2	1,13	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
18	1,91	1,7	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,03
20	1,84	1,65	1,5	1,34	1,24	1,2	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,4	1,28	1,21	1,17	1,14	1,1	1,05	1,03
30	1,62	1,45	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,1	1,05	1,03
35	1,56	1,41	1,3	1,21	1,17	1,15	1,12	1,09	1,05	1,02
40	1,5	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,02
45	1,45	1,33	1,25	1,17	1,14	1,12	1,11	1,08	1,04	1,02
50	1,4	1,3	1,23	1,16	1,14	1,11	1,1	1,08	1,04	1,02
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03	1,02
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,1	1,1	1,09	1,06	1,03	1,02
80	1,25	1,2	1,15	1,11	1,1	1,1	1,08	1,06	1,03	1,02
90	1,23	1,18	1,13	1,1	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,1	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,02	1,02

Таблица 10 - Средние величины коэффициентов загрузки по активной мощности некоторых видов электроприемников.

Наименование электроприемников	К <sub>з</sub>
<b>Кормоприготовительные машины</b>	
Измельчение зерновых	0,8
Измельчение сочных и грубых кормов	0,5-0,6
Транспортеры скребковые	0,7
Транспортеры шнековые	0,4
Смесители кормов	0,6
Кормораздатчики	0,5
Доильные установки	0,8
Вентиляторы	0,6–0,8
Навозоуборочные транспортеры	0,5
Насосы, компрессоры	0,7
Нагревательные и осветительные установки	1,0

### Пример 12.

Определить значения расчетных токов для группы силового щита ШР питающей электроприемники №2 и 3. (см. рисунок 5).

1. Электроприемники №2 и №3 являются электродвигателями мощностью 4,0 кВт. Для электродвигателей серии 4А с синхронной частотой вращения 1500 об/мин., значения  $\cos\varphi=0,84$ ,  $\eta=0,86$ ,  $K_i=6$ .

2. Номинальный ток электроприемников.

$$I_H = \frac{4,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,84 \cdot 0,86} = 8,44 \text{ А}$$



3. Расчетные токи на участках сети (маркировка в соответствии с рисунком 5)

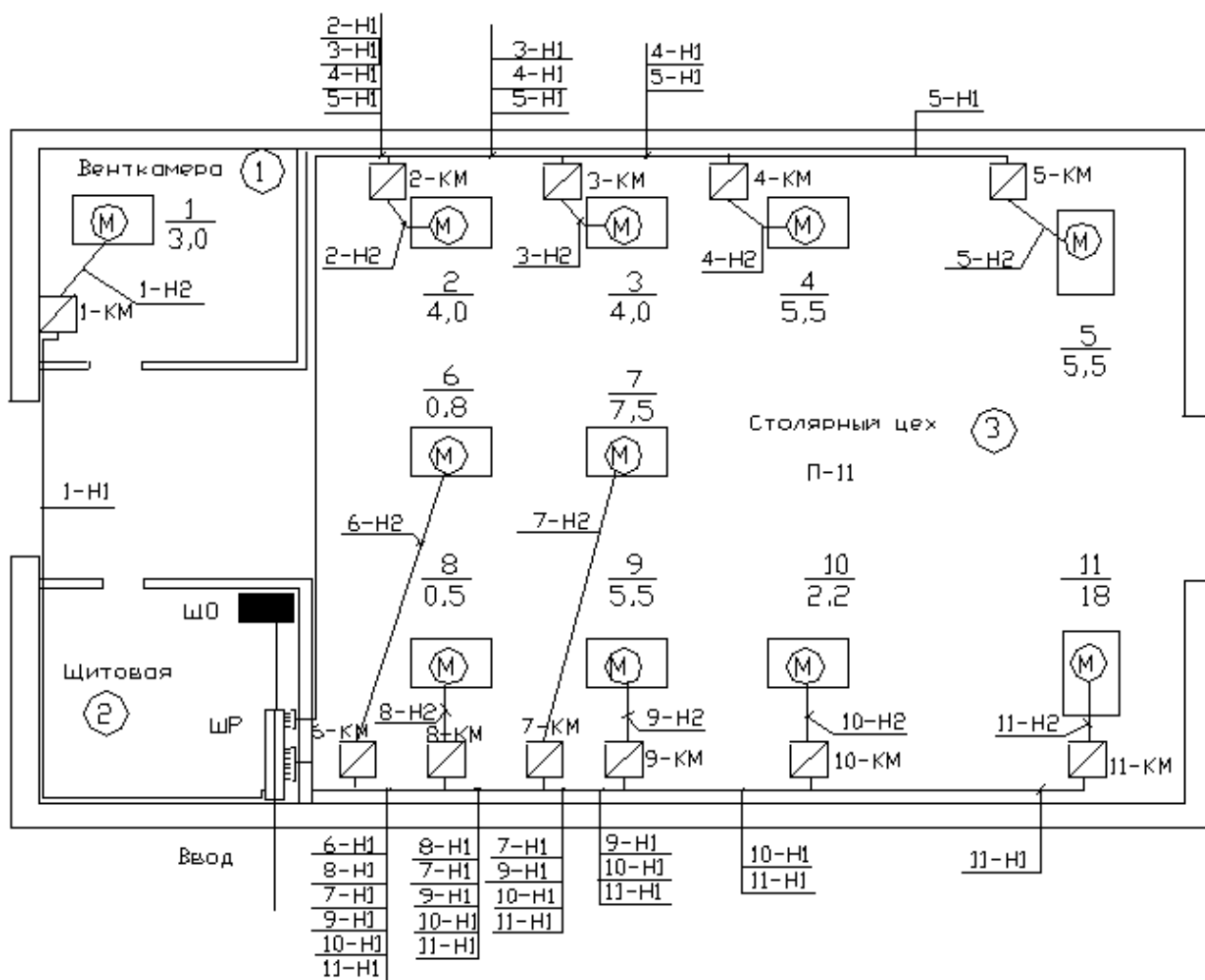


Рисунок 5 - Пример плана расположения силового электрооборудования.

- 2-Н2----- 8,44 А
- 3-Н2----- 8,44 А
- 3-Н1----- 8,44 А
- 2-Н1-----  $2 \cdot 8,44 = 16,88$  А

4. Пиковый ток групповой линии

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пук.л}} + (I_{P\Sigma} - I_{Pi})$$

$$I_{\text{пик}} = 6 \cdot 8,44 + 8,44 = 59,08 \text{ А}$$

**Пример 13**

Определить расчетную нагрузку щита ШР (см. рисунок 6) по методу коэффициента спроса.

Установленная мощность электроприемников щита.

$$P_y = 54,3 \text{ кВт}$$

количество электроприемников подключенных к щиту – 11 шт.

принимая значение  $K_c=0,7$

$$P_p = 0,7 \cdot 54,3 = 38,01 \text{ кВт}$$

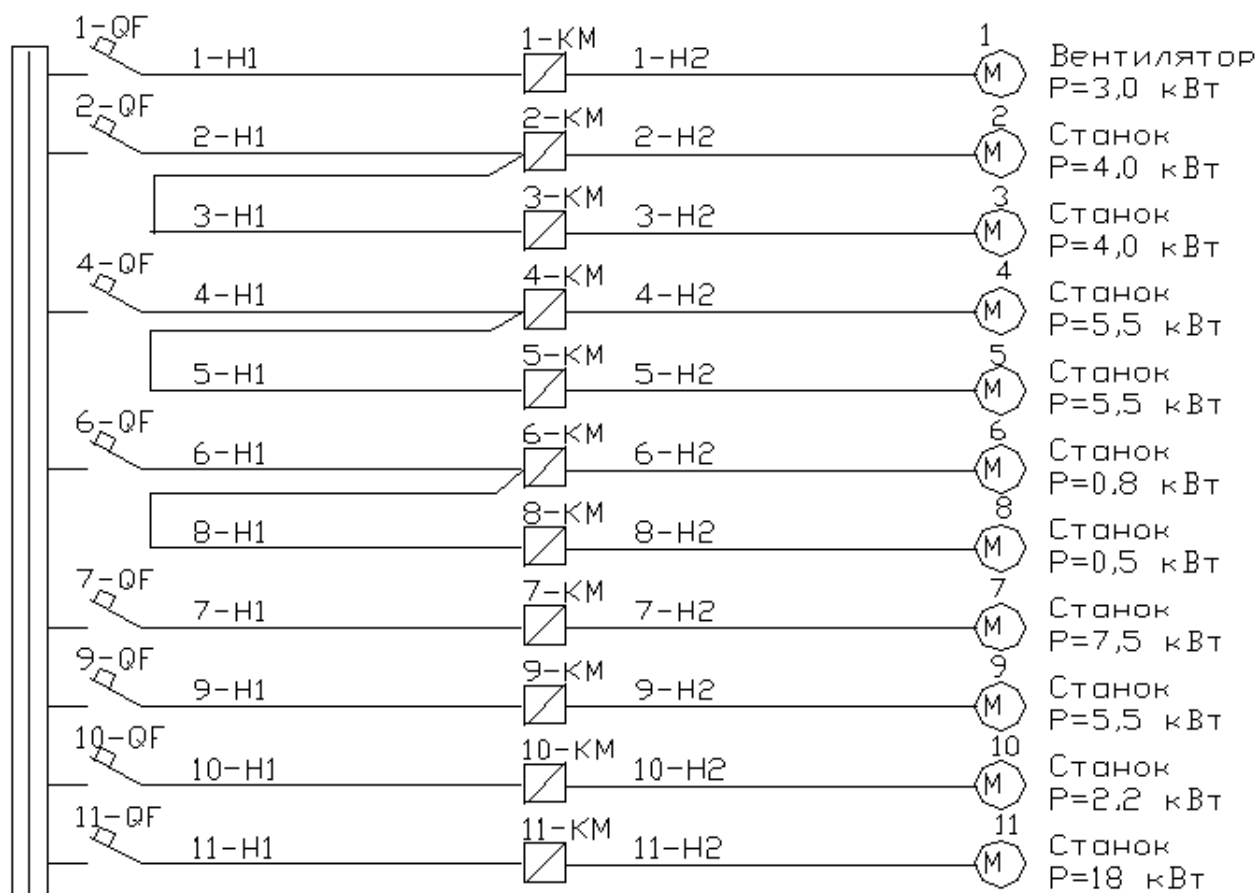


Рисунок 6 – принципиальная схема распределительной сети

## 5 Проектирование мероприятий по обеспечению электробезопасности

Решение вопроса применения молниеотводов на объектах сельскохозяйственного производства определяется наличием в нем взрыво- и пожароопасных зон. ПУЭ дает следующую классификацию и определения этих зон.

Зоны класса В-I – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранении или переливании ЛВЖ, находящихся в открытых ёмкостях, и т.п. [7].

Зоны класса В-Iа – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей и которые отличаются одной из следующих особенностей:

1. Горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15% и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях по ГОСТ 12.1.005-88 (например, машинные залы аммиачных компрессорных).

2. Помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, кроме электромашинных помещений с генераторами, имеющими водородное охлаждение.

Зоны класса В-Iг – пространства у наружных установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ, примыкающие к проемам в помещения со взрывоопасными зонами В-I, В-Iа и В-II.

Зоны класса В-II – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна, способные образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы [7].

Зоны класса В-IIа - зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния с волокнами и пылью возможны только в результате аварий или неисправностей. Классификация пожароопасных зон (в ПУЭ и в Техническом регламенте они совпадают).

Пожароопасной зоной называется пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие (сгораемые) вещества и в которых они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях.

Зоны класса П-I – зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С.

Зоны класса П-II – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыли или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м<sup>3</sup> к объёму воздуха.

Зоны класса П-Па – зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества.

Зоны класса П-Ш – зоны, расположенные вне помещения зоны, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества.

Наличие на проектируемом объекте взрыво- и пожароопасных зон устанавливается по типовым проектам или на основании анализа веществ, находящихся в обращении [7].

Таблица 11 - Примерный перечень взрыво- и пожароопасных зон сельскохозяйственных объектов (для учебного проектирования)

И Именованiе объекта	Основные опасные вещества, находящиеся в обращении	Категория опасных зон объекта
Газораспределительные станции, склады хранения баллонного газа	Природный газ	В-И
Покрасочные участки, АЗС	Распыленные краски и лаки, пары бензина	В-Иа
Крупные мельницы и комбикормовые производства	Мучная или травяная пыль в больших количествах	В-ИИ
Авторемонтные предприятия, гаражи, мехмастерские, склады горючих материалов	Дизельное топливо, бензин, машинное и моторное масло	П-И
Мельницы, дробилки, табакохранилища, цеха обработки древесины	Мучная, травяная пыль в малых количествах, древесная пыль, дерево, сухая трава, сухой табак	П -И
Коровники, телятники, свинарники с подстилкой из соломы	Сено, солома, сухие корма	П-Па
Склады минеральных масел, дерева, соломы, сена, комбикормов	Перечисленные складированные материалы	П-Ш

Среднегодовая продолжительность гроз в произвольном пункте на территории РК определяется по приведенной в ПУЭ карте, или по средним многолетним (порядка 10 лет) данным метеостанции, ближайшей от места нахождения проектируемого здания или сооружения [7].

Подсчет ожидаемого количества  $N$  поражений объекта молнией в год производится по формулам: для сосредоточенных зданий и сооружений (дымовые трубы, вышки, силосные башни):

$$N = 9\pi h^2 n \cdot 10^{-6} \quad (62)$$

для зданий и сооружений прямоугольной формы

$$N = [(S + 6h)(L + 6h) - 7,7h^2] n \cdot 10^{-6} \quad (63)$$

где  $h$  - наибольшая высота здания или сооружения, м;  $S$ ,  $L$  - соответственно ширина и длина здания или сооружения, м;  $n$  - среднегодовое число ударов молнии в 1 км<sup>2</sup> земной поверхности (удельная плотность, ударов молнии в землю) в месте нахождения здания или сооружения. Для зданий и сооружений сложной конфигурации в качестве  $S$  и  $L$  рассматриваются ширина и длина наименьшего прямоугольника, в который может быть вписано здание или сооружение в плане [7].

Расчет зоны защиты молниеотводов.

Одиночный стержневой молниеотвод. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h$  представляет собой круговой конус (см. рисунок 7), вершина которого находится на высоте  $h_0 < h$ . На уровне земли зона защиты образует круг радиусом  $r_0$ . Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защищаемого сооружения  $h_x$  представляет собой круг радиусом  $r_x$ .

Зоны защиты одиночных стержневых молниеотводов высотой  $h \leq 150$  м имеют следующие габаритные размеры:

$$\begin{aligned} \text{Зона А: } h_0 &= 0,85h; \\ r_0 &= (1,1 - 0,002h)h; \\ r_x &= (1,1 - 0,002h)(h - h_x/0,85). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Зона Б: } h_0 &= 0,92h; \\ r_0 &= 1,5/h; \\ r_x &= 1,5(h - h_x/0,92). \end{aligned}$$

Для зоны Б высота  $h$  одиночного стержневого молниеотвода при известных значениях  $h_x$  и  $r_x$

$$h = (r_x + 1,63h_x)/1,5. \quad (64)$$

Зоны защиты одиночных стержневых молниеотводов высотой  $150 < h < 600$  м имеют следующие габаритные размеры.

Зона А:

$$\begin{aligned} h_0 &= [0,85 - 1,7 \cdot 10^{-3}(h - 150)]h; \\ r_0 &= [0,8 - 1,8 \cdot 10^{-3}(h - 150)]h; \\ r_x &= [0,85 - 1,8 \cdot 10^{-3}(h - 150)]h \times 1 - \frac{h_x}{[0,85 - 1,7 \cdot 10^{-3}(h - 150)]h} \end{aligned} \quad (65)$$

Зона Б:

$$h_0 = [0,92 - 0,8 \cdot 10^{-3}(h - 150)]h$$

$$r_0 = 225 \text{ м}$$

$$r_x = 225 - \frac{225h_x}{[0,92 - 0,8 \cdot 10^{-3}(h - 150)]h} \quad (66)$$

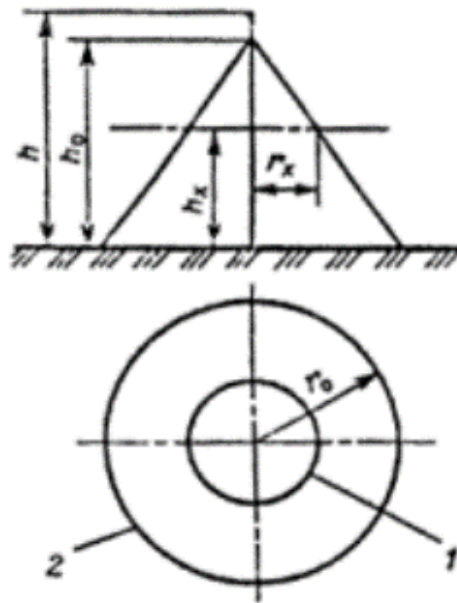


Рисунок 7 - Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода: 1 - граница зоны защиты на уровне  $h_x$ , 2 - то же, на уровне земли.

Двойной стержневой молниеотвод. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода высотой  $h \leq 150$  м представлена на рисунке 8.

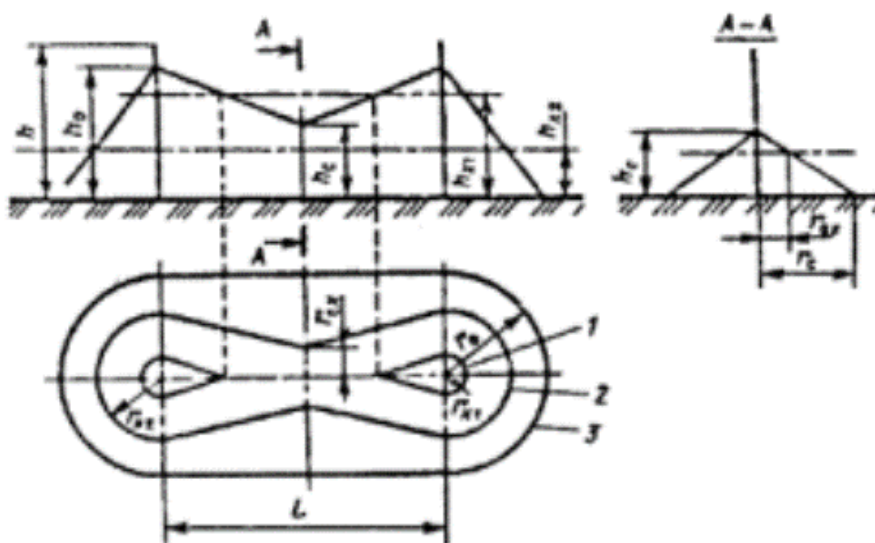


Рисунок 8 - Зона защиты двойного стержневого молниеотвода: 1 - граница зоны защиты на уровне  $h_{x1}$ ; 2 - то же на уровне  $h_{x2}$ , 3 - то же на уровне земли.

Торцевые области зоны защиты определяются как зоны одиночных стержневых молниеотводов, габаритные размеры которых  $h_0, r_0, r_{x1}, r_{x2}$ .

Внутренние области зон защиты двойного стержневого молниеотвода имеют следующие габаритные размеры. Зона А: при  $L \leq h$

$$h_c = h_0, r_{cx} = r_x, r_c = r_0 \quad (67)$$

При  $h < L \leq 2h$

$$\begin{aligned} h_c &= h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} h)(L - h) \\ r_c &= r_0; r_{cx} = r_0(h_c - h_x) / h_c \end{aligned} \quad (68)$$

при  $2h < L \leq 4h$

$$\begin{aligned} h_c &= h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} h)(L - h); \\ r_c &= r_0 \left[ 1 - \frac{0,2(L - 2h)}{h} \right]; \\ r_{cx} &= r_c(h_c - h_x) / h_c; \end{aligned} \quad (69)$$

При расстоянии между стержневыми молниеотводами  $L > 4h$  для построения зоны А молниеотводы следует рассматривать как одиночные.

Зона Б:

при  $L \leq h$

$$h_c = h_0; r_{cx} = r_x; r_c = r_0 \quad (70)$$

при  $h < L \leq 6h$

$$h_c = h_0 - 0,14(L - h); r_c = r_0; r_{cx} = r_0(h_c - h_x) / h_c; \quad (71)$$

При расстоянии между стержневыми молниеотводами  $L > 6h$  для построения зоны Б молниеотводы следует рассматривать как одиночные. При известных значениях  $h_c$  и  $L$  (при  $r_{cx} = 0$ ) высота молниеотвода для зоны Б определяется по формуле:

$$h = (h_c + 0,14L) / 1,06 \quad (72)$$

### Пример 14

Выполнить молниезащиту здания коровника на 100 голов имеющего III – степень огнестойкости строительных конструкций и размеры в плане 12×40м. Наибольшая высота здания составляет 3м. (см. рисунок 9) [1].

В соответствии с действующими нормативными документами здание коровника должно иметь молниезащиту по III категории. Предусматриваем выполнение молниезащиты с помощью двух стержневых молниеотводов установленных на кровле здания. Принимаем расстояние между молниеотводами  $L = 30$ м. При установке молниеотводов на кровле, за „уровень земли” принимаем уровень кровли здания, т. е. высоту защищаемого объекта. Наименьшую высоту совместной зоны защиты ( $h_c$ ) принимаем равной 0,5м. Наименьшая ширина совместной зоны защиты  $r_c = r_0$  [1].

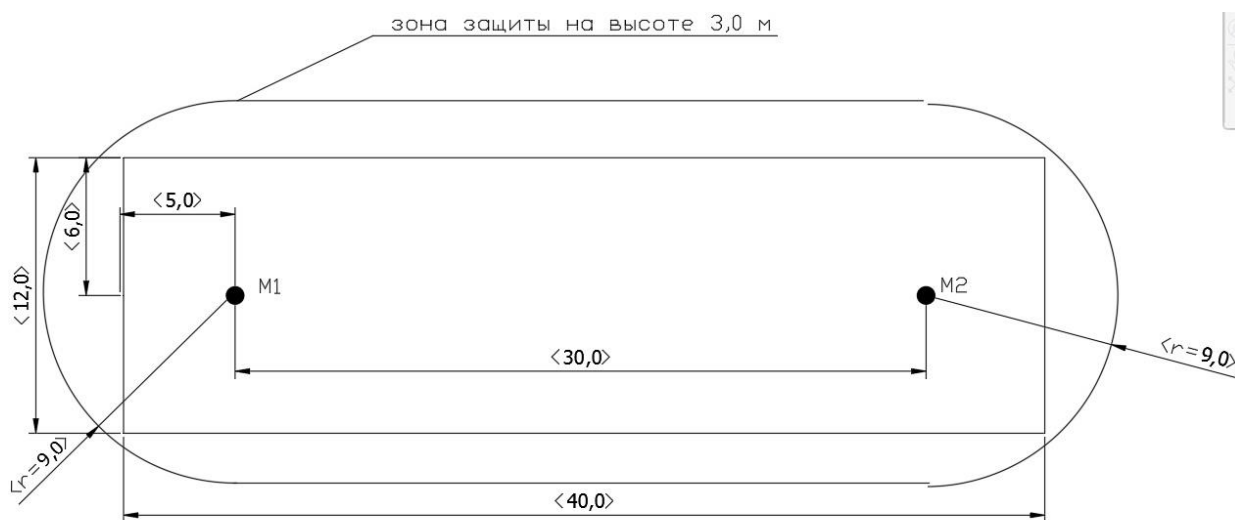


Рисунок 9 - план молниезащиты

Тогда из выражения (13.5) можно определить наименьшую высоту молниеотвода обеспечивающего необходимые габариты зоны защиты.

$$h = \frac{h_c + 0,14L}{1,06} = \frac{0,5 + 0,14 \cdot 30}{1,06} = 4,43 \text{ м}$$

Для обеспечения совместной зоны защиты молниеотводы должны иметь высоту не менее чем  $L / 6 = 30 / 6 = 5$  м.

Минимальный радиус зоны защиты на высоте установки молниеотвода должен быть не менее, (см. рисунок 9).

$$r_0 = \sqrt{5^2 + 6^2} + 0,5 = 8,31 \text{ м}$$

отсюда необходимая высота молниеотвода



$$h = r_0 / 1.5 = 8,31 / 1,5 = 5,54 \text{ м.}$$

Таким образом, минимальная высота молниеотвода должна быть не менее 5,54м. Принимаем для защиты здания два молниеотвода высотой 6м. Габариты зоны защиты составят

$$r_0 = c \cdot r_c \cdot r_x = 1.5 \cdot h = 6 \cdot 1.5 = 9,0 \text{ м.}$$

$$h = 0.92 \cdot 6 - 0,14 (30 - 6) = 2,16 \text{ м.}$$

Каждый молниеотвод должен быть присоединен к двум заземлителям, каждый из которых состоит из двух электродов (сталь  $\varnothing$  12мм длиной 5м ) соединенных стальной полосой сечением  $40 \times 4$  мм.

Верх электродов заглубляется на 0,7 м от поверхности земли.

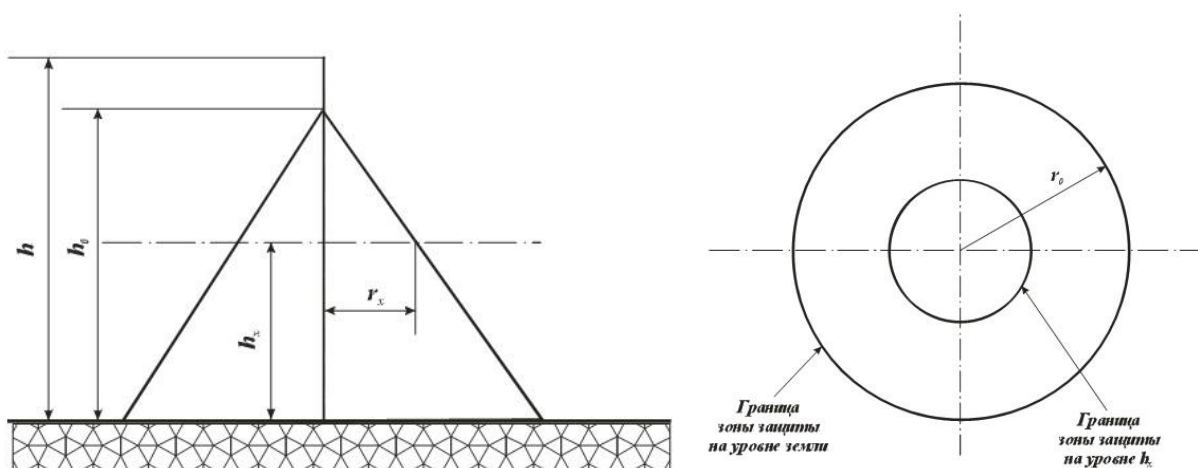


Рисунок 10 – зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

## 6 Контрольные задания

### Задание 1

#### Тема: «Расчет электроосвещения»

Прежде чем начать выполнение индивидуального домашнего задания (ИДЗ), необходимо изучить материал лекций и практических занятий, а также учебных пособий из предложенного в силлабусе списка рекомендуемой литературы.

ИДЗ выполняется компьютерным способом с полным приведением расчетов. Полученный файл необходимо сохранить в текстовом редакторе MS Word: поля – 2 см со всех сторон, шрифт Times New Roman, кегль 14, абзацный отступ – 1,25 см, интервал одинарный, выравнивание текста по ширине.

**Задача 1.** Освещение механического цеха выполнено люминесцентными лампами в светильниках ЛСП 02, расположенных в виде светящих линий. Размеры цеха:  $A \times B \times H$ , м. Высота рабочей поверхности  $h_p = 0,8$  м (по СНиП). Расстояние светильника от перекрытия (высота свеса)  $h_c$ , м. Определить число рядов светильников и изобразить схему их размещения.

№ вар-та	$A \times B \times H$	$h_c$
1	58×34×8	0,7
2	68×24×3,5	0,6
3	38×20×4	0,5
4	55×30×7	0,8
5	78×36×8	0,75
6	55×25×5	0,55
7	26×20×5,5	0,6
8	50×22×4	0,9
9	52×30×4,5	1,0
10	40×23×7,2	0,95

**Задача 2.** Выполнить светотехнический расчет осветительной установки механического цеха по данным задачи 1 методом коэффициента использования светового потока.

**Задача 3.** Выполнить светотехнический расчет осветительной установки инструментального цеха по данным задачи 1 методом коэффициента использования светового потока при заданных значениях коэффициентов отражения.

№ вар-та	$\rho_p$	$\rho_c$	$\rho_p$
1	0,3	0,7	0,1
2	0,4	0,6	0,2

3	0,33	0,5	0,3
4	0,5	0,8	0,1
5	0,52	0,75	0,2
6	0,6	0,55	0,3
7	0,2	0,6	0,1
8	0,1	0,9	0,2
9	0,45	0,3	0,3
10	0,3	0,5	0,1

**Задача 4.** Выполнить проверку светотехнического расчета задачи 3 точечным методом.

## Задание 2

### Тема: «Расчет электроосвещения»

Прежде чем начать выполнение индивидуального домашнего задания (ИДЗ), необходимо изучить материал лекций и практических занятий, а также учебных пособиях из предложенного в силлабусе списка рекомендуемой литературы.

ИДЗ выполняется компьютерным способом с полным приведением расчетов. Полученный файл необходимо сохранить в текстовом редакторе MS Word: поля – 2 см со всех сторон, шрифт Times New Roman, кегль 14, абзацный отступ – 1,25 см, интервал одинарный, выравнивание текста по ширине.

**Задача 1.** Определить допустимую потерю напряжения в групповой линии, если осветительная установка питается от подстанции, на которой установлен трансформатор мощностью  $S_T$ , кВ·А, коэффициент загрузки  $\beta$ ; питающая 3-фазная 4-проводная линия имеет длину  $L$ , м; активная мощность нагрузки  $P$ , кВт;  $\cos \phi_{нагр} = 0,95$ ; напряжение питающей сети  $U = 380/220$  В.

№ вар-та	$S_T$	$\beta$	$L$	$P$
1	1500	0,4	120	100
2	1100	0,6	100	120
3	1000	0,5	80	80
4	1200	0,7	60	90
5	1400	0,8	30	110
6	1600	0,4	50	70
7	1500	0,6	120	75
8	1100	0,5	100	65
9	1000	0,7	80	85
10	1200	0,8	60	95

**Задача 2.** Определить реактивную мощность компенсирующего конденсатора  $Q_k$ , ток автоматического выключателя  $I_a$  на осветительном щитке,

сечения (по току) фазовых  $S_{\phi}$  и нулевого  $S_0$  проводов групповой сети, ток линии  $I_{л}$  осветительной сети общей мощностью  $P$ , кВт, в том числе лампы накаливания  $P_{н}$ , кВт,  $\cos\varphi = 1$  и лампы ДРЛ мощностью  $P_{д}$ , кВт (с учетом потерь в ПРА),  $\cos\varphi = 0,5$ ;  $\operatorname{tg}\varphi = 1,73$ . Питание освещения осуществляется трехфазной четырехпроводной линией, выполненной кабелем АНРГ. Загрузка фаз равномерная. Фазное напряжение  $U_{\phi} = 0,22$  кВ.

№ вар-та	$P$	$P_{н}$	$P_{д}$
1	22	2,8	10,0
2	20	3,5	15,0
3	18	3,0	7,5
4	23	2,8	6,0
5	25	3,5	3,0
6	18	3,0	10,0
7	17	2,8	15,0
8	16	3,5	7,5
9	15	3,0	6,0
10	14	2,8	3,0

**Задача 3.** Рассчитать прямую составляющую горизонтальной освещенности дорожного покрытия консольными светильниками, установленными под углом  $\theta$  к горизонту на высоте  $H$ , м над уровнем покрытия. Ширина проезжей части  $b$ , м; расстояние между светильниками  $L$ , м. Светильник типа ЖКУ-001-250 с лампой SON-E-250 (номинальный поток  $\Phi_{л} = 28000$  лм); коэффициент запаса  $K_z = 1,5$ . Кривая силы света (КСС) светильника аппроксимируется выражением:

$$I_{\alpha} = \frac{260 \cdot \cos \alpha}{\cos[75^{\circ} \cdot \sin^{1,5}(1,2\alpha)]}, \quad \text{где } \alpha_i = \operatorname{arctg} \frac{d_i}{H}.$$

№ вар-та	$\theta$	$H$	$b$	$L$
1	14	8,5	15	25
2	16	9,5	17	23
3	15	10,5	19	30
4	13	10,2	12	31
5	12	8,5	10	32
6	14	9,5	13	33
7	16	10,5	14	35
8	15	10,2	15	36
9	13	8,5	16	38
10	12	9,5	20	35

### Задание 3

#### Тема: «Проектирование электрификации производственных процессов»

Прежде чем начать выполнение индивидуального домашнего задания (ИДЗ), необходимо изучить материал лекций и практических занятий, а также учебных пособиях из предложенного в силлабусе списка рекомендуемой литературы.

ИДЗ выполняется компьютерным способом с полным приведением расчетов. Полученный файл необходимо сохранить в текстовом редакторе MS Word: поля – 2 см со всех сторон, шрифт Times New Roman, кегль 14, абзацный отступ – 1,25 см, интервал одинарный, выравнивание текста по ширине.

**Задача 1.** Выбрать насос и электродвигатель к нему для водоснабжения коровника на 100 дойных коров с автопоилками. Забор воды осуществляется из скважины, погружным центробежным насосом, геометрический напор составляет  $H$ , м.

№ вар-та	$S_T$
1	50
2	60
3	70
4	65
5	50
6	45
7	40
8	35
9	55
10	60

**Задача 2.** Выбрать вентилятор и электродвигатель к нему для обеспечения притока свежего воздуха в помещение коровника на 100 голов размером  $A \times V \times h$ , м. Венткамера расположена в торце здания, воздуховод выполнен из оцинкованной стали, диаметр воздуховода 400 мм, длина  $L$ , м. Масса одного животного составляет 400 кг.

№ вар-та	Размеры $A \times V \times h$	$L$
1	12x40x3,0	50
2	10x35x2,5	60
3	22x70x2,8	70
4	25x65x3,2	80
5	30x60x3,5	50
6	25x85x4,0	60

7	34x68x3,5	70
8	45x75x3,0	80
9	12x36x3,2	50
10	15x55x3,2	60

**Задача 3.** Рассчитать мощность электрокалорифера для воздушного отопления коровника на 100 голов с данными из задачи 2. Стены кирпичные толщиной 525 мм ( $k_1 = 1,24$ ), двойные ворота ( $k_2 = 2,33$ ), покрытие с термоизоляционной засыпкой ( $k_3 = 1,17$ ). Нормируется температура воздуха в помещении  $t_{п} = 10$  °С, расчетная температура наружного воздуха  $t_{н} = -35$  °С.

№ вар-та	Размеры АxВxh
1	12x40x3,0
2	10x35x2,5
3	22x70x2,8
4	25x65x3,2
5	30x60x3,5
6	25x85x4,0
7	34x68x3,5
8	45x75x3,0
9	12x36x3,2
10	15x55x3,2

**Задача 4.** Выбрать электродвигатель для привода дробилки кормов, обеспечивающей сухим кормом  $n$  телят. Суточное потребление корма составляет  $m$ , кг.

№ вар-та	$n$ телят	$m$
1	200	3,2
2	250	3,5
3	300	3,3
4	350	3,4
5	200	3,5
6	250	3,6
7	300	3,7
8	350	3,8
9	200	3,9
10	250	4,0

**Задача 5.** Определить мощность электродвигателя для привода кормораздаточного транспортера. Транспортер движется внутри кормушек, длина транспортера составляет –  $l$  м, число скребков –  $n$  шт, масса перемещаемого корма –  $m$ , тонн, скорость движения –  $v$ , м/с.

№ вар-та	$l$	$m$	$n$	$v$
1	80	1,5	150	0,42
2	90	1,8	160	0,45
3	100	1,9	170	0,46
4	120	2,0	180	0,47
5	130	1,3	190	0,51
6	140	1,4	200	0,62
7	70	1,5	210	0,45
8	60	1,6	220	0,48
9	50	1,7	230	0,53
10	80	1,8	240	0,55

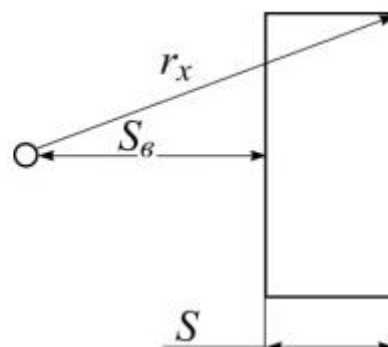
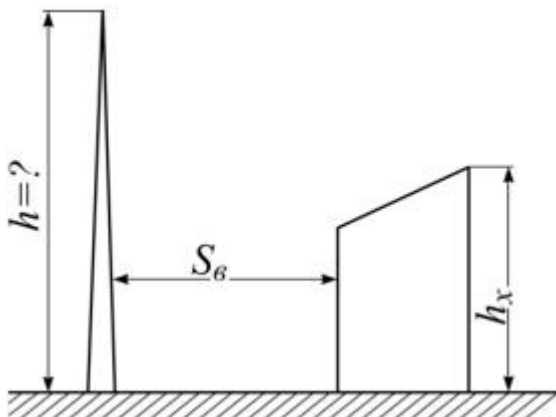
#### Задание 4

##### Тема: «Проектирование молниезащиты»

Прежде чем начать выполнение индивидуального домашнего задания (ИДЗ), необходимо изучить материал лекций и практических занятий, а также учебных пособий из предложенного в силлабусе списка рекомендуемой литературы.

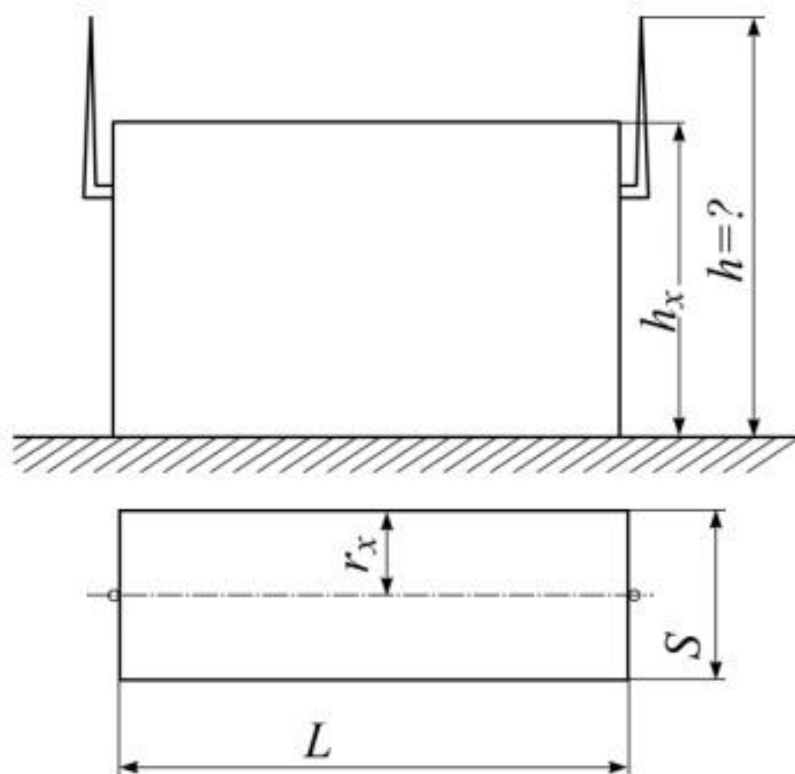
ИДЗ выполняется компьютерным способом с полным приведением расчетов. Полученный файл необходимо сохранить в текстовом редакторе MS Word: поля – 2 см со всех сторон, шрифт Times New Roman, кегль 14, абзацный отступ – 1,25 см, интервал одинарный, выравнивание текста по ширине.

**Задача 1.** Дать рекомендации по необходимой высоте отдельно стоящего стержневого молниеотвода для защиты здания газораспределительного пункта природного газа. Место расположение молниеотвода и размер здания даны на рисунке. Здание находится в местности с продолжительностью гроз 60-80 ч/год.



№ вар-та	$S_b$	$h_x$	$S$
1	5	8	5
2	10	5	7
3	15	12	3
4	8	10	7
5	11	15	9
6	8	5	3
7	10	4	6
8	15	3	7
9	8	11	5
10	11	10	6

**Задача 2.** Определить необходимую высоту двойного стержневого молниеотвода для защиты здания мельницы. Продолжительность гроз – 80-100 ч/год. Размеры здания приведены на рисунке.

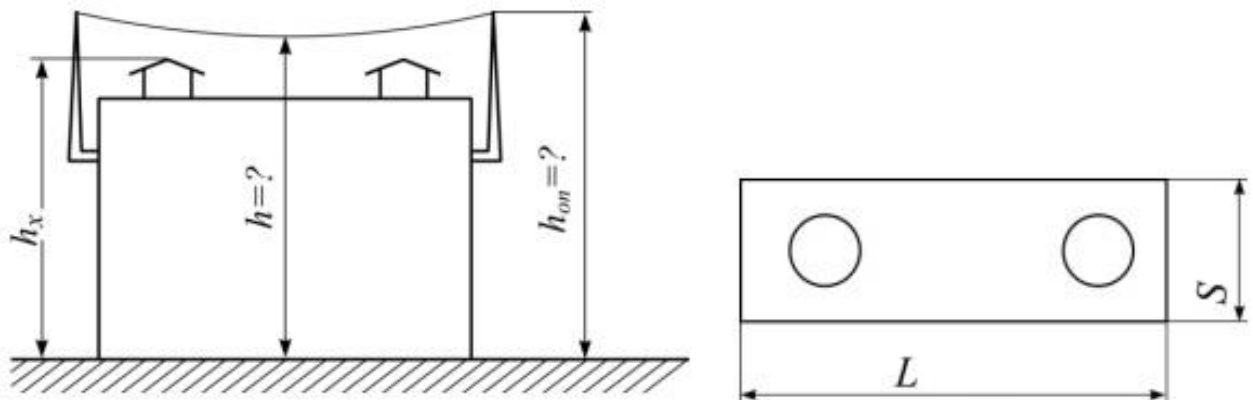


№ вар-та	$L$	$h_x$	$S$
1	25	8	5
2	10	5	7
3	15	12	3
4	28	10	7



5	11	15	9
6	28	5	3
7	10	4	6
8	15	3	7
9	28	11	5
10	11	10	6

**Задача 3.** Для защиты здания газокompрессорной станции водорода запроектировать тросовый молниеотвод, опоры которого расположены в торцах здания по оси симметрии. Грозовая активность 80-100 ч/год. Учесть наличие на крыше здания газотводных труб.



№ вар-та	$L$	$h_x$	$S$
1	25	8	5
2	10	5	7
3	15	12	3
4	28	10	7
5	11	15	9
6	28	5	3
7	10	4	6
8	15	3	7
9	28	11	5
10	11	10	6

## 7 Рекомендуемые темы презентаций

1. Проектирование шинопроводов в зданиях.
2. Проектирование тросовых электропроводок.
3. Проектирование трубных электропроводок
4. Проектирование электрики
5. Проектирование ВЛ напряжением до 1000 В
6. Проектирование ВЛИ
7. Проектирование КЛ с кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена
8. Проектирование систем активной молниезащиты.
9. Развитие источников света за последние 120 лет (исторический обзор)
10. Развитие электропроводок за последние 120 лет (исторический обзор)
11. Развитие пусковой аппаратуры за последние 120 лет (исторический обзор)
12. Развитие защитной аппаратуры за последние 120 лет (исторический обзор)
13. Перспективы развития систем электрификации в XXI веке
14. Состояние и перспективы электрификации агропромышленных предприятий.
15. Характеристика объектов проектирования.
16. Применение типовых проектов при проектировании.
17. Проектирование распределительных устройств внутри зданий
18. Проектирование щитов станций управления (ЩСУ)
19. Проектирование устройств защитного заземления.
20. Типовые схемы управления электроприводами.
21. Типовые схемы управления электронагревательными установками.
22. Типовые схемы управления осветительными установками.
23. Схемы включения ламп: накаливания, люминесцентных, дуговых ртутных.
24. Виды и системы освещения
25. Управление освещением
26. Шинопроводы, кабели, провода и шнуры
27. Провода и кабели для силовых и осветительных сетей
28. Выбор источника питания
29. Проектирование молниезащиты зданий и сооружений
30. Проектирование мер электробезопасности
31. Зрение и освещение
32. Приемы нормирования освещения
33. Цвет в технике освещения
34. Качество освещения
35. Выбор освещенности
36. Системы освещения
37. Виды освещения

38. Выбор источников света
39. Характеристики и классификация светильников
40. Выбор светильников по светотехническим характеристикам
41. Экономическая обоснованность выбора типа светильника
42. Выбор конструктивного исполнения светильников
43. Общая характеристика сортамента светильников
44. Щелевые светильники-световоды
45. Оздоровительное облучение в системе общего освещения
46. Основные принципы расчета
47. Прожекторное освещение
48. Цилиндрическая освещенность. Коэффициент пульсации. Средняя яркость дорожных покрытий
49. Напряжение осветительных сетей
50. Источники питания и питающие сети
51. Групповые сети
52. Схемы управления освещением
53. Выполнение осветительных сетей
54. Выбор сечения проводников по току нагрузки и защита осветительных сетей
55. Расчет сетей по потере напряжения
56. Заземление, зануление и нулевые провода
57. Пожаро- и взрывоопасные зоны
58. Помещения общественных зданий
59. Архитектурно-художественное освещение
60. Освещение открытых пространств
61. Стадия рабочего проектирования
62. Эксплуатация осветительных установок
63. Экономическая обоснованность выбора осветительных установок
64. Определение токов и мощности трехфазного к. з. по расчетным кривым затухания
65. Электродинамическое действие токов к. з.
66. Выбор и проверка выключателей и разъединителей, реакторов, трансформаторов тока и напряжения
67. Выбор сечения проводов и жил кабелей по таблицам допустимых нагрузок в условиях, отличающихся от стандартных
68. Выбор реактора для пуска электродвигателей напряжением более 1000 В
69. Выбор длины пролета ЛЭП и марки провода в зависимости от района по гололеду
70. Потери в воздушных и кабельных линиях электропередачи
71. Определение потерь мощности в трехобмоточных трансформаторах.
72. Потери мощности и электроэнергии в реакторах
73. Определение стоимости дополнительных потерь активной мощности при передаче реактивной мощности

74. Определение стоимости потерь при генерации реактивной мощности синхронными двигателями
75. Определение стоимости потерь при генерации реактивной мощности конденсаторами поперечного включения
76. Определение затрат на передачу реактивной мощности по сети
77. Выбор наиболее выгодного коэффициента трансформации.
78. Использование синхронных двигателей и конденсаторов в качестве регуляторов напряжения.
79. Продольная компенсация.
80. Вольтодобавочные устройства
81. Компенсация реактивной мощности
82. Удельный расход электроэнергии.
83. Расчет освещения точечным методом.
84. Расчет освещения прожекторами.
85. Расчет освещения ксеноновыми лампами.
86. Определения мощности трансформаторов для осветительных нагрузок.
87. Расчет рабочего освещения
88. Определение расчетной нагрузки и расхода электроэнергии осветительными установками
89. Экономия электроэнергии и безопасность обслуживания осветительных установок
90. Стоимость передачи электроэнергии и экономическая плотность тока
91. Энергетические показатели работы электроэкскаваторов
92. Электрооборудование скреперных установок
93. Электрооборудование экскаваторов на переменном и постоянном токе
94. Классификация и назначение аппаратуры защиты и управления
95. Аппаратура ручного управления
96. Аппаратура дистанционного и автоматического управления.
97. Электропривод и электрооборудование щековых дробилок
98. Электропривод и электрооборудование конусных дробилок крупного дробления
99. Электропривод и электрооборудование валковых дробилок
100. Электропривод и электрооборудование молотковых и роторных дробилок
101. Электропривод и электрооборудование конвейерных установок
102. Электрооборудование воздушных канатных дорог
103. Электропривод и электрооборудование кранов
104. Электропривод и электрооборудование грузовых и пассажирских подъемников
105. Особенности расчета мощности двигателя шаровых и стержневых мельниц
106. Аппаратура управления электроприводом и энергетические показатели работы мельниц

107. Электрооборудование обезвоживающих установок
108. Электрооборудование флотационных машин
109. Электрооборудование фильтрующих установок
110. Электрооборудование вентиляторных установок
111. Электрооборудование компрессорных установок и вакуумных насосов
112. Электрооборудование алгомерационных машин
113. Электрооборудование эксгаустеров и дымососов
114. Электрооборудование смесителей и окомкователей
115. Электрооборудование барабанных сушилок
116. Электрооборудование механизмов бункерной и безбункерной погрузки полезных ископаемых
117. Основные принципы выбора и компоновки оборудования цеховых подстанций
118. Автоматизация внутреннего электроснабжения фабрик
119. Управление системой электроснабжения фабрик
120. Электрооборудование обжиговых машин
121. Электрооборудование электромагнитных сепараторов, размагничивающих аппаратов, металлоискателей и железоотделителей
122. Электрооборудование отсадочных машин
123. Особенности расчета освещения помещений пожаро- и взрывоопасных зон
124. Основные светотехнические единицы и соотношения
125. Основные функции автоматических устройств
126. Виды электрических станций
127. Сельские трансформаторные подстанции
128. Электричество в жизни биологических объектов
129. Передаточные устройства от двигателя к рабочей машине
130. Электрокалориферные установки
131. Электрообогреваемые полы, коврики и панели
132. Электрический обогрев теплиц и парников
133. Электрические приборы для отопления
134. Использование искровых разрядов в обработке материалов
135. Электронно-ионная технология
136. Аэроионизация воздуха
137. Озонирование воздуха
138. Коэффициенты мощности электроустановок и способы его повышения
139. Экономия электрической энергии и энергосбережение
140. Рациональное обслуживание электроустановок
141. Мероприятия по обеспечению безопасной эксплуатации электроустановок
142. Методика выбора и состава агрегатов объекта электрификации

143. Выбор и расчет реклоузеров
144. Перспективы развития систем электрификации в XXI веке
145. Перспективы электрификации агропромышленных предприятий в XXI веке
146. Расчет сетей дистанционного управления
147. Выбор компоновки осветительной сети
148. Расчет токов короткого замыкания в электроустановках до 1000 В.
149. Обеспечение селективности защитных аппаратов
150. Характеристики пусковых устройств. Магнитные пускатели. Контактоторы.
151. Выбор и расчет компенсирующих устройств. Примеры компенсирующих устройств.
152. Проектирование молниезащиты зданий и сооружений. Категории молниезащиты. Виды молниеотводов.
153. Меры защиты от прямых и косвенных прикосновений в электроустановках с глухозаземленной нейтралью.

## Заключение

Сельскохозяйственное производство является одной из наиболее развивающихся отраслей народного хозяйства. Изменения в сельском хозяйстве способствуют увеличению потребления различных видов энергии. Основную долю при этом, составляет электрическая энергия. Переоснащение существующих и внедрение новых технологий, позволяет увеличить темпы роста сельского производства и тем самым увеличивается потребление электроэнергии. Для выполнения задач переоснащения, необходимо профессионально подойти к вопросу реконструкции существующих систем электрификации. Большая номенклатура существующего электрооборудования, способна решить практически все задачи технологического процесса.

В учебном пособии рассмотрены: общие вопросы проектирования систем электрификации; проектирование электроосвещения, основные светотехнические и электрические расчеты осветительных установок; вопросы проектирования электрификации основных производственных процессов таких как: водоснабжение, вентиляция, отопление, кормоприготовление, электрификация транспортных процессов; общие вопросы внутрицехового и внешнего электроснабжения объектов электрификации, вопросы по обеспечению электробезопасности.

Для наилучшего усвоения материала в учебном пособии приведены примеры решения задач, контрольные задания по вариантам и рекомендуемые темы презентаций.

## Список использованных источников

- 1 Ткаченко, В.В. Проектирование электрической части агропромышленных объектов. [Текст]: Учебно-методическое пособие. / В.В. Ткаченко – Костанай: КГУ им. А. Байтурсынова, 2006. – 116 с.
- 2 Колесник, Г. П. Электрическое освещение: основы проектирования [Текст]: учеб. пособие / Г. П. Колесник; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 127 с.
- 3 Справочная книга для проектирования электрического освещения [Текст] / под ред. Г. М. Кнорринга. – М. : Энергия, 1976. – 384 с.
- 4 Правила устройства электроустановок [Текст]. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : Энергосервис, Госэнергонадзор, 2000. – 608 с. – ISBN 5-900835-32-4.
- 5 Антонов, С. Н. Проектирование систем электрификации [Текст]: Учебное пособие для выполнения курсового проекта по дисциплине «Проектирование систем электрификации» / С. Н. Антонов – Ставрополь: «АГРУС», 2015 – 92 с.
- 6 Применение электрической энергии в сельскохозяйственном производстве [Текст]. Справочник. Под ред. П. Н. Листова. М.: Колос, 1974. – 623с.
- 7 Стрижков, И.Г. Проектирование устройств молниезащиты зданий и сооружений электрифицированных сельскохозяйственных предприятий [Текст]: Методические рекомендации к дипломному и курсовому проектированию / И.Г. Стрижков, В.Ф. Кремянский - Краснодар, 2012 г.
- 8 Антонов С. Н. Проектирование электроэнергетических систем [Текст]: Учебное пособие / С. Н. Антонов, Е. В. Коноплев, П. В. Коноплев, А. В. Ивашина – Ставрополь: «АГРУС», 2014 – 104 с.



## **Приложения**

## Приложение 1

Таблица П1.1 – Номенклатура источников света

Тип	Цоколь	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	$T_{ц}$ , К	$R_a$	Средний срок службы, ч	Фирма изготовитель, страна
Лампы накаливания общего назначения (220 В)								
Б 230-240-25	Е 27	25	210	8,4	4500	80	1000	ЛИСМА (Саранск) Россия
Б 230-240-40	Е 27	40	430	10,1				
Б 230-240-60	Е 27	60	710	12				
Б 230-240-100	Е 27	100	1370	13,7				
Б 230-240-150	Е 27	150	2150	14,3				
Б 230-240-200	Е 27	200	3000	15				
Б 230-240-300	Е 27, Е 40	300	4800	16				
Б 230-240-500	Е 40	500	8400	16,8				
Б 230-240-750	Е 40	750	13000	17,3				
ЛОН 25	Е 27	25	200	8				
ЛОН 40	Е 27	40	490	10,2				
ЛОН 60	Е27	60	810	13				
ЛОН 100	Е27	100	1540	15,4				

Продолжение таблицы П1.1

CLASSIK- OSRAM LAS A FR 25 LAS A FR 40 LAS A FR 60 LAS A FR 75 LAS A FR 100 LAS A FR 150 LAS A FR 200	E27	25 40 60 75 100 150 200	220 420 720 940 1360 2200 3100	8,8 10,5 12,0 12,5 13,6 14,7 15,5			1000	OSRAM (Германия)
Галогенные лампы сетевого напряжения OSRAM HALOLUX*BT 64470 BT 64472 BT 64476 BT 64478 BT	E27	40 60 100 150	490 840 1600 2550	12,2 14,0 16,0 17,0	2900	60	2000	OSRAM (Германия)
Низковольтные ЛН для светильников местного освещения (12, 24, 36 В)								
MO 12-40 MO 24-40 MO 36-40 MO 36-60 MO 36-100	E 27 E 27 E 27 E 27 E 27	40 40 40 60 100	620 600 580 950 1550	15,5 15 14,5 15,8 15,5			1000	Россия

Продолжение таблицы П1.1

Тип	Цоколь	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	$T_{ц}$ , К	$R_a$	Средний срок службы, ч	Фирма изготовитель, страна
Компактные люминесцентные лампы								
OSRAM DULUX*LONGLIFE E27 DULUX EL 5W/41-827 E27 DULUX EL 7W/41-827 E27 DULUX EL 11W/41-827 E27 DULUX EL 15W/41-827 E27 DULUX EL 20W/41-827 E27 DULUX EL 23W/41-827 E27	E27	5 7 11 15 20 23	240 400 600 900 1200 1500	48 57,14 54,5 60 60 65,2	2700	80 – 89	18000	OSRAM (Германия)
Компактные спиральные с электронным ПРА СКЛЭН-7 «АЛАДИН» СКЛЭН-11 «АЛАДИН» СКЛЭН-12 «АЛАДИН» СКЛЭН-15 «АЛАДИН» СКЛЭН-20 «АЛАДИН»	E27	7 11 12 15 20	400 600 800 900 1200	57,1 54,5 66,6 60,0 60,0	2700	80 – 89	8000	Россия
Компактные прямые с электронным ПРА PL E 15 Вт; 230 – 240 В PL E 20 Вт; 230 – 240 В PL E 23 Вт; 230 – 240 В	E27	15 20 23	900 1200 1500	60	3000	80 – 89	8000	Philips (Голландия)

Продолжение таблицы П1.1

Компактные люминесцентные лампы интегрированные Ambiance PRO 6 Вт/827 Ambiance PRO 9 Вт/827 Ambiance PRO 16 Вт/827 Ambiance PRO 20 Вт/827 Ambiance PRO 23 Вт/827	E27	6 9 16 20 23	250 425 900 1200 1350	41,6 47,2 56,25 60,0 58,7	3000	82	12000	Philips (Голландия)
Линейные люминесцентные лампы								
ЛБ-18 ЛБ-20 ЛБ-20-2 ЛБ-30 ЛБ-40 ЛБ-40-2 ЛБ-65 ЛБ-80 ЛД-20-2 ЛД-40-2 ЛД-65-2 ЛД-80-2	G 13	18 20 20 30 40 40 65 80 20 40 65 80	1060 1060 1060 2020 2800 2800 4600 5200 880 2300 3750 4250	58,8 58,8 58,8 67 70 70 70,8 65 44 57,5 57,5 53	3450 3450 3450 3450 3450 3450 3450 6400 6400 6400 6400 6400	65/70	10000 10000 10000 10000 10000 10000 12000 12000 12000 12000 12000 12000	Россия

Продолжение таблицы П1.1

Тип	Цоколь	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Тц, К	Ra	Средний срок службы, ч	Фирма изготовитель, страна	
Диаметр трубки 16 мм –									
MASTER TL5 HO 24 Вт/827	G 5	24	1750	83	2700	85	24000	Philips (Голландия)	
MASTER TL5 HO 39 Вт/830	G 5	39	3100	90	3000	85	24000		
MASTER TL5 HO 54 Вт/830	G 5	54	4450	93	3000	85	24000		
MASTER TL5 HO 80 Вт/830	G 5	80	6150	88	3000	85	24000		
MASTER TL5 HE 14 Вт/840	G 5	14	1200	96	4000	85	24000		
MASTER TL5 HE 21 Вт/840	G 5	21	1900	100	4000	85	24000		
MASTER TL5 HE 28 Вт/830	G 5	28	2600	104	3000	85	24000		
MASTER TL5 HE 35 Вт/830	G 5	35	3300	104	3000	85	24000		
Диаметр трубки 26 мм –									
TL-D 14 Вт/33	G13	14	750	53,5	2400	63	18000		
TL-D 15 Вт/33	G13	15	960	64,0	2400	63	18000		
TL-D 18 Вт/33	G13	18	1200	66,6	2400	63	18000		
TL-D 23 Вт/54	G13	23	1550	67,4	2800	72	18000		
TL-D 30 Вт/54	G13	30	1825	60,8	2800	72	18000		
TL-D 36 Вт/54	G13	36	2500	69,4	2800	72	18000		
TL-D 54 Вт/54	G13	54	4000	74,0	2800	72	18000		

Продолжение таблицы П1.1

L 10W/41-827 Plus Eco	G 13	10	650	65,0	3000	80 – 89	›20000	OSRAM (Германия)
L 15W/11-840 Plus Eco	G 13	15	950	63,3	3000	80 – 89	›20000	
L 16W/11-840 Plus Eco	G 13	16	1250	78,0	3000	80 – 89	›20000	
L 30W/11-840 Plus Eco	G 13	30	2350	78,3	3000	80 – 89	›20000	
FQ 39 W/840	G 13	39	3500	89,7	3000	80 – 89	›20000	
FQ 54 W/840	G 13	54	5000	92,6	3000	80 – 89	›20000	
FQ 80 W/840	G 13	80	8000	100,0	3000	80 – 89	›20000	
Дуговые ртутные лампы высокого давления с люминофором (ДРЛ)								
ДРЛ-125	E 27	125	6300	50,4	4000	42	12000	Россия
ДРЛ-250	E 40	250	23000	54	4000	42	12000	
ДРЛ-400	E 40	400	24000	60	4000	42	15000	
ДРЛ-700	E 40	700	41000	58,5	4000	42	20000	
ДРЛ-1000	E 40	1000	59000	59	4000	42	18000	
HQL 50	E 27	50	1800	36	4200	40 – 59	18000	OSRAM (Германия)
HQL 80	E 27	80	3800	47,5	4100	40 – 59	18000	
HQL 125	E 27	125	6300	50,4	4000	40 – 59	18000	
HQL 250	E 40	250	13000	52,0	3900	40 – 59	18000	
HQL 400	E 40	400	22000	55,0	3800	40 – 59	18000	
HQL 700	E 40	700	38500	55,0	3550	40 – 59	18000	
HQL 1000	E 40	1000	58000	58,0	3550	40 – 59	18000	

Продолжение таблицы П1.1

Тип	Цоколь	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Тц, К	Ra	Средний срок службы, ч	Фирма изготовитель, страна
HPL-N 50W	E27	50	1770	36,0	4200	49	15000	Philips (Голландия)
HPL-N 80W	E27	80	3600	45,0	4300	48	15000	
HPL-N 125W	E27	125	6200	50,0	4100	46	15000	
HPL-N 125W	E 40	125	6200	50,0	4100	46	15000	
HPL-N 250W	E 40	250	12700	51,0	4100	40	15000	
HPL-N 400W	E 40	400	22000	55,0	3900	40	15000	
HPL-N 700W	E 40	700	38500	55,0	3900	36	15000	
HPL-N 1000W	E 40	1000	58500	59,0	3900	33	15000	
HPLCOMFORT PRO 400W	E 40	400	24200	61,0	3500	47	15000	
Металлогалогенные лампы (типа ДРИ)								
ДРИ-250-5	E 40	250	19000	76	4200	65	10000	Россия
ДРИ-400-5	E 40	400	36000	90	4200	65	10000	
ДРИ-700-5	E 40	700	60000	85,7	4200	65	9000	
ДРИ-1000-5	E 40	1000	103000	103	4200	65	9000	
ДРИ-1000-6	E 40	1000	103000	100	4200	65	3000	
ДРИ-2000-6	E 40	2000	200000	100	4200	65	2000	
ДРИ-3500-6	E 40	3500	350000	100	4200	65	1500	
HPI-T 250W	E 40	250	17000		4600	65		Philips (Голландия)
HPI-T-400W	E 40	400	30500		4500	65		
HPI-T-1000W	E 40	1000	82000		4300	65		
HPI-T-2000W 220V	E 40	2000	189000		4900	65		
HPI-T-2000W 380V	E 40	2000	183000		4300	65		



Продолжение таблицы П1.1

Ртутно-вольфрамовые лампы								
ДРВ 160	Е 27	160	8000	50	4000	60 – 69	12000	Россия
ДРВ 250	Е 40	250	13500	54	4000		12000	
ДРВ 500	Е 40	500	25000	50	4000		15000	
HWL 160 225 V	Е 27	160	3100	19,3	3600	60-69	9000	OSRAM (Германия)
HWL 160 235 V	Е 27	160	3100	19,3	3600	60-69		
HWL 250 225 V	Е 40	250	5600	22,4	3800	60-69		
HWL 250 235 V	Е 40	250	5600	22,4	3800	60-69		
HWL 500 225 V	Е 40	500	14000	28	4100	60-69		
HWL 500 235 V	Е 40	500	14000	28	4100	60-69		
ML 100 230/240 V	Е 27	100	1100	11	3050	60	9000	Philips (Гол- ландия)
ML 160 230/240 V	Е 27	160	3150	19,7	3500	60	9000	
ML 250 230/240 V	Е 40	250	5700	22,8	3550	60	9000	
ML 500 230/240 V	Е 40	500	13000	26	3750	50	9000	
Натриевые лампы высокого давления (типа ДНаТ)								
ДНаТ-250-5	Е 40	250	28000	96	2000	23	>12000	Россия
ДНаТ-400-5	Е 40	400	48000	120				
ДНаЗ-70	Е 27	70	5000	71,4				
ДНаЗ-100	Е 27	100	9800	98				
ДНаЗ-150	Ех40	150	14000	93,3				
ДНаЗ-250	Ех40	250	26000	104				
ДНаТ-100	Е 40	100	9500	95				
ДНаТ-150	Е 40	150	15000	100				

Продолжение таблицы П1.1

Тип	Цоколь	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Тц, К	Ra	Средний срок службы, ч	Фирма изготовитель, страна
MASTER SON PIA 50 Вт	E 27	50	3500	70	1950	23	≥24000	Philips (Голландия)
MASTER SON PIA 70 Вт	E 27	70	5600	80	1950			
MASTER SON PIA 150Вт Hgf	E 40	150	14500	97	2150			
MASTER SON PIA 250Вт Hgf	E 40	250	27000	108	2150			
MASTER SON PIA 400Вт Hgf	E 40	400	48000	120	2150			
MASTER SON PIA 100 Вт	E 40	100	10000	100	1950			
MASTER SON PIA 150 Вт	E 40	150	16000	107	1950			
MASTER SON PIA 250 Вт	E 40	250	30000	120	1950			
MASTER SON PIA 400 Вт	E 40	400	54000	135	1950			
SPX ECO ARC 98 W	E 27	98	7400	75,5	2000	23	≥24000	SILVANIA (Германия)
SPX ECO ARC 190 W	E 40	190	17000	89,5	2000			
SPX ECO ARC 295 W	E 40	295	32000	108,5	2000			

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П2.1 - Требования к освещению промышленных предприятий

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	
						По системе комбинированного освещения			Сочетание нормируемых величин: показателя ослепленности и коэффициента пульсации		КЕО, ен, %		КЕО, ен, %	
						7	8	9	10	11	12	13	14	15
Наивысшей точности	менее 0,15	I	а	малый	темный	5000	500	---	20	10	-----	-----	6,0	2,0
				4500	500	---	10	10						
			б	малый	средний	4000	400	1250	20	10				
				средний	темный	3500	400	1000	10	10				
			в	малый	светлый	2500	300	750	20	10				
				большой	темный	2000	200	600	10	10				

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	1500  1250	200  200	400  300	20  10	10  10				
Очень высокой точности	от 0,15 до 0,30	II	а	малый	темный	4000 3500	400 400	--- ---	20 10	10 10	-----	-----	4,2	1,5
			б	малый средний	средний темный	3000 2500	300 300	750 600	20 10	10 10				
			в	малый средний большой	светлый средний темный	2000  1500	200  200	500  400	20  10	10  10				
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	1000  750	200  200	300  200	20  10	10  10				
Высокой точности	от 0,30 до 0,50	III	а	малый	темный	2000 1500	200 200	500 400	40 20	15 15	-----	-----	3,0	1,2
			б	малый средний	средний темный	1000 750	200 200	300 200	40 20	15 15				
			в	малый средний большой	светлый средний темный	750  600	200  200	300  200	40  20	15  15				

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	400	200	200	40	15				
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	средний темный	500	200	200	40	20				
Средней точности	свыше 0,5 до 1,0	IV	в	малый средний большой	светлый средний темный	400	200	200	40	20	4	1,5	2,4	0,9
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	-----	-----	200	40	20				
Малой точности	свыше 1 до 5	V	а	малый	темный	400	200	300	40	20	3	1	1,8	0,6
			б	малый средний	средний темный	-----	----	200	40	20				
			в	малый средний большой	светлый средний темный	----	----	200	40	20				
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	----	----	200	40	20				

Продолжение таблицы П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Грубая (очень малой точности)	более 5	VI		Независимо от ха- рактеристик фона и контраста объекта с фоном		---	---	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Работа со светящи- мися материалами и изделиями в горячих цехах	более 0,5	VII		То же		---	---	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Общее наблюдение за ходом производст- венного процесса. Постоянное	---	VIII	а	То же		---	---	200	40	20	3	1	1,8	0,6
периодическое при постоянном пребыва- нии людей в помеще- нии			б	То же		---	---	75	---	---	1	0,3	0,7	0,2
Периодическое при периодическом пре- бывании людей			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

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица П3.1 - Приблизительные значения коэффициентов отражения стен и потолка

Отражающая поверхность	Коэффициент отражения, %
Побеленный потолок; побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленные стены при незанавешенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолки	50
Бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями	30
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич неоштукатуренный; стены с темными обоями	10

Таблица П3.2 - Коэффициент использования светильников  $\eta$  с типовыми КСС

Тип КСС	Значение $\eta$ , %																							
	при $\rho_{\text{п}} = 0,7$ ; $\rho_{\text{с}} = 0,5$ ; $\rho_{\text{р}} = 0,3$ и $i$ , равным						при $\rho_{\text{п}} = 0,7$ ; $\rho_{\text{с}} = 0,5$ ; $\rho_{\text{р}} = 0,1$ и $i$ , равным						при $\rho_{\text{п}} = 0,7$ ; $\rho_{\text{с}} = 0,3$ ; $\rho_{\text{р}} = 0,1$ и $i$ , равным						при $\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{с}} = 0,5$ ; $\rho_{\text{р}} = 0,3$ и $i$ , равным					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	35	50	61	73	83	95	34	47	56	66	75	86	26	36	46	56	67	80	32	45	55	67	74	84
Д-1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79	28	40	49	59	68	74	36	48	57	66	76	85
Д-2	44	52	68	84	93	103	42	51	64	75	84	92	33	43	56	74	80	76	42	51	65	71	90	85
Г-1	49	60	75	90	101	106	48	57	71	82	89	94	42	52	69	78	73	76	45	56	65	78	76	84
Г-2	58	68	82	96	102	109	55	64	78	86	92	96	48	60	73	84	90	94	55	66	80	92	96	103
Г-3	64	74	85	95	100	105	62	70	79	80	90	93	57	66	76	84	84	91	63	72	83	91	96	100
К-1	74	83	90	96	100	106	69	76	83	88	91	92	65	73	81	86	89	90	70	78	86	92	96	100



Продолжение таблицы ПЗ.2

К-2	75	84	95	104	108	115	71	78	87	95	97	100	67	75	84	93	97	100	72	80	91	99	103	108
К-3	76	85	96	106	110	116	73	80	90	99	99	102	68	77	86	95	98	101	74	83	93	101	106	170
Д	32	49	59	71	83	91	31	46	55	65	74	83	24	40	50	62	71	77	32	47	57	69	79	90
М	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75	17	29	38	46	58	67	16	28	38	45	55	65
Д-1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73	27	35	42	52	61	68	21	33	40	49	58	66
Д-2	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86	28	36	48	63	75	81	25	33	47	61	70	78
Г-1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88	35	45	60	73	68	77	34	44	56	71	68	74
Г-2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93	43	54	68	79	85	90	43	53	66	77	82	86
Г-3	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90	53	62	73	80	84	86	53	61	71	78	82	85
К-1	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90	62	71	77	83	86	88	60	69	77	84	85	86
К-2	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99	68	72	80	89	93	97	65	71	79	88	92	95
К-3	72	79	88	94	97	99	68	76	85	93	95	99	64	73	83	90	94	97	64	72	81	88	91	94
Л	30	45	55	65	70	78	24	40	49	60	70	76	20	35	44	48	65	69	17	33	42	53	63	70
Л-Ш	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	26	35	47	58	68
Ш	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	17	25	36	49	62



