



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Оренбургский государственный аграрный университет»

**Методические указания  
к выпускной квалификационной работе  
(очная и заочная формы обучения) для студентов  
по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»  
(уровень бакалавриата)**

Электронное издание

Оренбург  
Издательский центр ОГАУ

2016

ББК 31.211  
УДК 621.31: 658.26  
М14

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет».

Рассмотрено и рекомендовано к электронному изданию на заседании учебно-методической комиссии инженерного факультета Оренбургского ГАУ (протокол № 1 от 21.09.2015 г.). Председатель учебно-методической комиссии инженерного факультета – профессор, д-р техн. наук Е.М. Асманкин.

РЕЦЕНЗЕНТ

И.К. Петина, кандидат технических наук, доцент

М14 Методические указания к выпускной квалификационной работе (очная и заочная формы обучения) для студентов по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» (уровень бакалавриата) / составители В.И. Чиндяскин (творческий вклад – 70%), А.Ф. Абдюкаева (творческий вклад – 10%), В.В. Реймер (творческий вклад – 10%), Е.Ф. Кислова (творческий вклад – 10%). – Электрон. данн. (2,3 Mb). – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2016. – 90 с. – [Электронный ресурс] Системн. требования: PC не ниже класса Pentium II; 512 Mb RAM; Windows 98/XP/Vista; Adobe Acrobat Reader 7.0 и выше. – № свидетельства о регистрации электронного учебного пособия 7941-э.

В методических указаниях рассмотрены вопросы выбора электрооборудования, расчета силовых электрических нагрузок и освещения сельскохозяйственного предприятия, а также выбора и проверки коммутационного электрооборудования и систем автоматики управления электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. В приложении приведены справочные материалы по электрооборудованию, электроаппаратам и примеры расчетов освещения, трехфазных, однофазных нагрузок. Предназначены для студентов дневного и заочного обучения для бакалавров направления 35.03.06 «Агроинженерия», профиля «Электрооборудование и электротехнологии».

ББК31.211  
УДК621.31: 658.26

---

Чиндяскин Владимир Иванович,  
А.Ф. Абдюкаева, В.В. Реймер, Е.Ф. Кислова  
Методические указания к выпускной квалификационной работе  
(очная и заочная формы обучения) для студентов по направлению подготовки  
35.03.06 «Агроинженерия» (уровень бакалавриата)

Подписано к использованию 18.01.2016 г. Заказ № 7941-э.

Издательский центр ОГАУ  
460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д. 18. Тел. (3532) 77-61-43

© В.И. Чиндяскин, А.Ф. Абдюкаева,  
В.В. Реймер, Е.Ф. Кислова  
© Издательский центр ОГАУ, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Общие вопросы проектирования.....	5
2 Характеристика потребителей цеха .....	6
3 Характеристика окружающей среды производственных помещений.....	7
4 Компоновка технологического оборудования и предварительное составление схемы питания электроприемников цеха.....	8 9
5 Выбор напряжений для силовой и осветительной сети.....	9
6 Расчет освещения цеха.....	9
7 Определение электрических нагрузок силовых электроприемников .....	21
8 Выбор числа и предварительной мощности трансформаторов на цеховых подстанциях.....	33
9 Выбор места расположения цеховых трансформаторных подстанций.....	34
10 Определение мощности компенсирующих устройств.....	36
11 Окончательный выбор трансформаторов цеховой подстанции.....	39
Литература .....	51
Приложение А Характеристики светильников различных типов.....	52
Приложение Б Нормируемые значения освещенности и коэффициенты запаса.....	60
Приложение В.....	70
Приложение Г.....	72
Приложение Д.....	73
Приложение Е.....	77
Приложение Ж.....	78
Приложение И.....	81
Приложение К.....	82
Приложение Л.....	84
Приложение М.....	86

## Введение

Рационально выполненная современная система электроснабжения предприятий агропромышленного комплекса должна удовлетворять ряду требований: экономичности, надежности, безопасности и удобству эксплуатации, а также обеспечению надлежащего качества электроэнергии, уровней напряжения, стабильности частоты и т.п. Должны также предусматриваться кратчайшие сроки выполнения строительно-монтажных работ и необходимая гибкость системы, обеспечивающая возможность расширения при развитии предприятия без существенного усложнения и удорожания первоначального варианта. При этом должны по возможности применяться решения, требующие минимальных расходов цветных металлов и электроэнергии.

Многообразие условий, которые необходимо учитывать при проектировании электроснабжения предприятий АПК, не позволяют в ряде случаев дать однозначные рекомендации по некоторым вопросам. Они должны решаться путем тщательного анализа специфических требований, предъявляемых к электроснабжению предприятий АПК. Поэтому приведенные в пособии рекомендации не следует рассматривать как единственно возможные. В отдельных частных случаях возможны и неизбежны отступления от них, вытекающие из местных условий и из опыта проектирования в данной отрасли.

Наряду с изложением основных принципов электроснабжения и основных методов расчета авторы стремились по возможности придать методическому пособию практический прикладной характер, снабдив его примерами и рекомендациями по различным схемным и конструктивным решениям системы электроснабжения.

Кроме этого, в пособии имеются ссылки на литературу, где тот или иной вопрос рассмотрен более подробно.

# **1 Общие вопросы проектирования**

## **1.1 Содержание и объем ВКР**

Задание на проектирование выдается студентам руководителем ВКР. Проект включает в себя элементы эскизного проектирования или технического предложения. Текстовой частью работы является расчетно-пояснительная записка (РПЗ), объем которой составляет 50 – 60 страниц. В тексте ВКР кратко излагается методика расчетов, дается обоснование принятым решениям, приводятся необходимые для расчетов формулы и схемы. Результаты расчетов представляются в табличной форме, а пояснения к ним выполняются на конкретном примере. ВКР включает в себя титульный лист, задание на проектирование с исходными данными, аннотацию, содержание, введение, основную часть проекта, выводы, список использованных источников.

В аннотации, размещаемой на второй странице ВКР, кратко излагаются основные положения работы и полученные результаты. Объем аннотации не должен превышать 15 – 20 строк.

Содержание помещается после аннотации и состоит из разделов и подразделов ВКР с указанием их расположения по страницам.

Введение раскрывает сущность решаемых задач и их значение для народного хозяйства. Здесь же приводится обзор литературных источников по вопросам, рассматриваемым в ВКР.

Основная часть ВКР включает в себя следующие вопросы:

- а) особенности технологического процесса предприятия АПК, характеристику потребителей;
- б) характеристику окружающей среды производственных помещений;
- в) компоновку технологического оборудования и предварительное составление схемы питания электроприемников (ЭП);
- г) выбор напряжений для силовой и осветительной сети;
- д) расчет освещения;
- е) определение электрических нагрузок силовых ЭП;
- ж) выбор числа и предварительной мощности трансформаторов;
- з) выбор местоположения трансформаторной подстанции;
- и) определение мощности компенсирующих устройств и обоснование их рационального распределения;
- к) окончательный выбор мощности трансформаторов на подстанции;
- л) уточнение схемы и конструктивного выполнения питающей сети;
- м) расчет питающей сети;
- н) расчет токов короткого замыкания;
- о) выбор, расчет и проверку защитных устройств;
- п) проверку выбранной аппаратуры токоведущих частей и селективности защит в питающей сети;
- р) расчет искусственного заземления;

- с) выбор молниезащиты здания предприятия АПК;
- т) расстановку контрольно-измерительных приборов и приборов учета в питающей сети.

Графическая часть проекта включает в себя:

- а) план расположения оборудования на предприятии (в цехе) с нанесением силовой сети;
- б) однолинейную схему электроснабжения приемников электроэнергии;
- в) план предприятия (цеха) с нанесением осветительной сети.

При оформлении ВКР обязательно соблюдение требований ЕСКД.

## **1.2 Оформление ВКР**

Расчетно-пояснительная записка ВКР выполняется на листах белой бумаги формата А<sub>4</sub> ручным или машинописным способом через 2 интервала. Текст располагают на одной стороне листа с полями: слева – 30 мм, справа – 10 мм, сверху и снизу – 20 – 25 мм. Каждый раздел ВКР обозначают порядковым номером арабскими цифрами, название раздела записывается прописными буквами. Если в разделе имеются подразделы, то их обозначают порядковыми номерами, перед которыми стоит номер раздела с точкой. Названия подразделов записываются строчными буквами.

В тексте ВКР должны содержаться все необходимые схемы, рисунки и таблицы, расположенные по тексту.

## **1.3 Требования к выполнению и защите ВКР**

ВКР выполняют в соответствии с календарным графиком, составленным руководителем. В графике указывают очередность, сроки выполнения и трудоемкость отдельных этапов работы. Периодически руководитель работы контролирует ее выполнение.

По завершении ВКР студент сдает пояснительную записку и чертежи руководителю, который после проверки предоставленных материалов решает вопрос о допуске студента к предварительной защите. Защита ВКР производится перед ГАК. В процессе защиты студент кратко излагает основное содержание проекта (не более 10 мин). После ответов на вопросы членов государственной аттестационной комиссии выносится решение об оценке ВКР.

## **2 Характеристика потребителей предприятия**

Прежде чем приступить к проектированию системы электроснабжения, необходимо произвести классификацию ЭП как по всему предприятию в целом, так и по отделениям (цехам) и корпусам по следующим основным признакам:

- а) по роду тока;
- б) по числу фаз;

- в) по частоте;
- г) по установленной мощности;
- д) по номинальному напряжению;
- е) по потреблению реактивной мощности;
- ж) по тяжести пусковых режимов;
- з) по степени симметрии;
- и) по линейности электрических цепей (характеризуются наличием высших гармоник);
- к) по режиму работы;
- л) по подвижности;
- м) по требованиям к качеству электроэнергии;
- н) по требованиям к надежности электроснабжения и степени резервирования;
- о) по технологическому назначению, технологическим связям;
- п) по территориальному размещению;
- р) по плотности нагрузки на 1 м<sup>2</sup> площади цеха или корпуса.

### **3 Характеристика окружающей среды производственных помещений**

Проектирование электроснабжения предприятия (цеха) возможно лишь при выявлении особенностей производственной среды, а также при четком формулировании всех требований, предъявляемых к системе электроснабжения с учетом действующих правил устройств электроустановок /2/ и утвержденных норм технологического проектирования /3/.

Закрытые помещения согласно /2/, делятся на:

- а) электротехнические помещения (или отгороженные части, доступные только для квалифицированного обслуживающего персонала, в которых расположены электроустановки);
- б) сухие помещения;
- в) влажные помещения;
- г) сырые помещения;
- д) особо сырые помещения;
- е) жаркие помещения;
- ж) пыльные помещения;
- з) помещения с химически активной или органической средой;
- и) пожароопасные зоны;
- к) взрывоопасные зоны.

Более подробно характеристики закрытых помещений приведены в /2/.



#### 4 Компоновка технологического оборудования и предварительное составление схемы питания электроприемников

До начала выполнения работы следует выверить компоновку предприятия в соответствии со своим заданием. При проектировании ремонтно-механического цеха уточнить количество тех или иных станков, указанных в соответствующем варианте задания и местонахождение их на плане цеха. При необходимости площадь цеха может быть увеличена за счет изменения длины цеха и установки недостающего оборудования. Ширина пролета в цехе остается неизменной. На компоновке обязательно должны быть показаны вентиляторы. Количество подъемно-транспортных механизмов (мостовых кранов, кранбалок, тельферов и т.д.) в каждом отделении решить индивидуально по согласованию с руководителем проекта. Предварительно наметить схему питающей цеховой сети от комплектной трансформаторной подстанции (КТП) и ее конструктивное исполнение – магистральным шинопроводом (ШМА), распределительным шинопроводом (ШРА), силовым пунктом (СП) и т.д., а также присоединения к ним. Схемы питания могут быть радиальные, магистральные и радиально-магистральные (смешанные) (рис. 1).

Далее следует наметить количество присоединений на ШРА, СП и схему распределительной сети. При проектировании предприятия в целом следует решить вопрос о наличии распределительного пункта (РП) высокого напряжения.

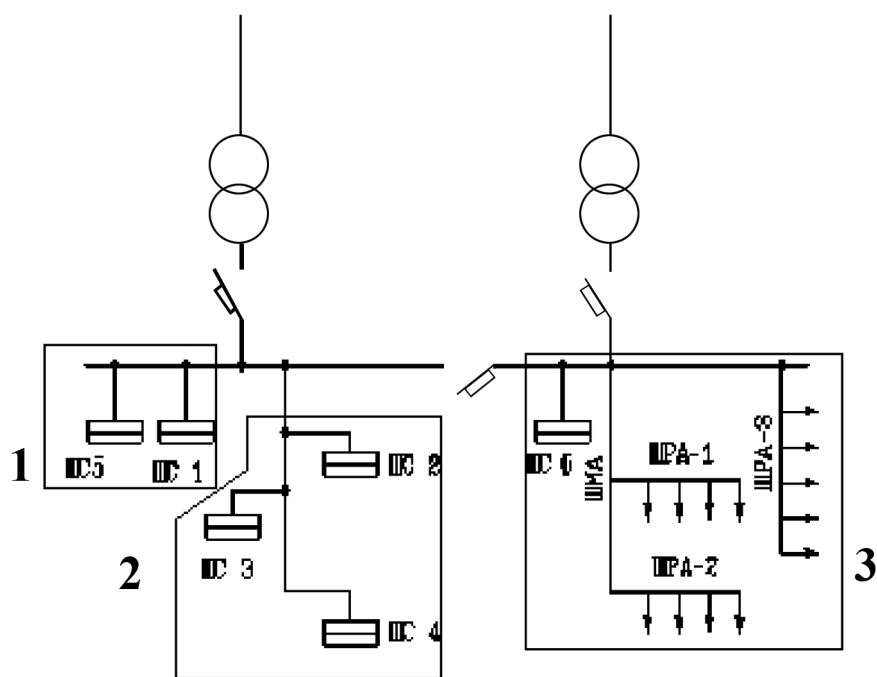


Рисунок 1 – Схемы питания цеховых электроприёмников:

1 – радиальная схема; 2 – магистральная схема; 3 – смешанная схема



## **5 Выбор напряжений для силовой и осветительной сети**

В данной работе выбор напряжения производится в соответствии с рекомендациями /3,7,10,12/. Техничко-экономическое сравнение возможных вариантов выполняется в соответствии с нижепредставленным пунктом, указанным в содержании.

## **6 Расчет освещения цеха**

На предприятиях АПК около 10% потребляемой энергии затрачивается на электрическое освещение. Правильное выполнение осветительных установок способствует рациональному использованию электроэнергии, улучшению качества выпускаемой продукции, повышению производительности труда, снижению утомляемости рабочих, уменьшает количество аварий и случаев травматизма.

Проектирование осветительных установок заключается в разработке светотехнического и электрического разделов проекта.

В светотехническом разделе решаются следующие задачи: выбираются типы источников света и светильников, намечаются наиболее целесообразные высоты установки светильников и их размещения, определяются качественные характеристики осветительных установок.

Электрическая часть проекта включает: определение расчетных нагрузок освещения, выбор схемы питания осветительной установки, выбор рационального напряжения, выбор сечения и марки проводов, выбор способов прокладки сети.

### **6.1 Светотехнический расчет освещения**

#### **6.1.1 Выбор источников света**

Для электрического освещения цеха применяют люминесцентные лампы (ЛЛ), лампы накаливания (ЛН), ртутные лампы высокого давления с исправленной цветностью типа ДРЛ, ксеноновые лампы и др. ЛЛ благодаря высокой световой отдаче, большому сроку службы, а также достаточно хорошей цветопередаче за последние годы стали основными источниками света широкого применения. Их применяют для освещения помещений, где необходимо правильное различение цветовых оттенков; производственных помещений, в которых выполняется работа большой и средней точности (школы, учебные заведения, проектно-конструкторские бюро и так далее); помещений административных, торговых зданий. В зависимости от назначения освещаемых помещений и вида производимых работ выбирают соответствующие типы ЛЛ.

ЛЛ предназначены для работы при температуре окружающего воздуха 18 – 25° С. При повышении и понижении температуры световая отдача ламп уменьшается. При изменении напряжения в пределах + 7 % световой поток меняется

так же как и напряжение. ЛЛ надежно зажигаются и горят при напряжении сети не ниже 90 % номинального.

ЛН благодаря невысокой стоимости, простоте обслуживания, незначительным размерам и независимости их работы от условий внешней среды являются источниками света массового применения, хотя коэффициент полезного действия и световая отдача у них значительно ниже, чем у ЛЛ. ЛН используются для освещения производственных помещений, в которых по выполняемым в них работам требуются низкие или средние уровни освещенности, то есть выполняются грубые виды работ; для освещения помещений с особо тяжелыми условиями среды; жилых зданий; помещений детских учреждений и так далее. Лампы накаливания используются также в специальных случаях: для аварийного освещения, питаемого или переключаемого на питание постоянным током; когда требуется применение светильников малых габаритов, создающих направленное освещение; для помещений, в которых по условиям технологии недопустимо применение газоразрядных ламп (например, по причинам создания ими радиопомех). Для взрывоопасных помещений также используются преимущественно лампы накаливания.

Ртутные лампы ДРЛ, обладающие большим единичным световым потоком, нашли применение для освещения больших производственных помещений высотой более 6 м, в которых не требуется различать цветовые оттенки. При их применении резко снижается количество устанавливаемых осветительных приборов, а это приводит к упрощению распределительной сети, уменьшению монтажных работ и снижению расходов на эксплуатацию. Характеристики светильников различных типов приведены в Приложении А (таблицы А1 – А4).

### **6.1.2 Выбор системы и видов освещения**

При устройстве осветительных установок могут применяться три системы освещения:

- а) система общего равномерного освещения, когда световой поток распределяется без учета размещения оборудования;
- б) система общего локализованного освещения, когда световой поток распределяется с учетом расположения оборудования;
- в) система комбинированного освещения, когда к общему освещению (обычно равномерному) добавляется местное освещение рабочих мест. Разновидностью местного освещения является переносное освещение.

Качество и экономичность осветительной установки во многом зависят от правильности выбора системы освещения. Система общего освещения применяется для освещения всего помещения в целом и в том числе рабочих поверхностей. Общее освещение с равномерным размещением светильников применяется, когда в производственных помещениях технологическое оборудование расположено равномерно по всей площади с одинаковыми условиями зрительной работы. Система комбинированного освещения применяется в помещениях с тонкими зрительными работами, требующими высокой освещенности. В этом

случае часть светильников освещает только рабочие места (местное освещение), а другая – все помещения.

Электрическое освещение бывает двух видов: рабочее и аварийное. Рабочее освещение устраивается во всех без исключения помещениях и создает на рабочих поверхностях нормированную освещенность. В некоторых случаях помимо рабочего освещения необходимо аварийное освещение, которое обеспечивает минимальную освещенность на рабочих местах при внезапном отключении рабочего освещения. Аварийное освещение, необходимое для продолжения работ, должно создавать освещенность на рабочих местах, равную 5% от освещенности, нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 лк. Аварийное освещение для эвакуации людей должно обеспечивать освещенность на полу основных проходов и на ступенях лестницы не менее 0,5 лк.

Для аварийного освещения разрешается применять лампы накаливания и люминисцентные. Последние допускается применять в помещениях с минимальной температурой +10 °С и питании их во всех режимах переменным током с напряжением на лампах не ниже 90% номинального значения. Светильники аварийного освещения должны отличаться от светильников рабочего освещения типоразмерами или специально нанесенными знаками.

### 6.1.3 Выбор освещенности и коэффициента запаса

Выбор минимальной освещенности для внутреннего и наружного освещения производят в соответствии со /СНиП/ в зависимости от размера объекта различения, контраста объекта с фоном и отражающих свойств фона (рабочей поверхности). При установлении норм освещенности следует руководствоваться следующей шкалой: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 300; 400; 500; 600; 750; 1000 лк. В /СНиП/ приводятся значения освещенности для каждого помещения, расположение рабочих поверхностей, рекомендуемый источник света, коэффициент запаса, а также качественные показатели освещения.

В процессе эксплуатации осветительной установки освещенность на рабочих поверхностях уменьшается вследствие того, что со временем световой поток ламп уменьшается. Это вызвано загрязнением ламп, осветительной арматуры и отражающих поверхностей (стен и потолков). Для того чтобы обеспечить освещенность на рабочих поверхностях на уровне нормируемой расчетное значение освещенности  $E_p$  принимают больше нормируемой  $E_{норм}$ , с учетом коэффициента запаса  $k_3$ , то есть:

$$k_3 = \frac{E_p}{E_{норм}}. \quad (1)$$

В таблицах /9/ даны коэффициенты запаса, учитывающие снижение освещенности в процессе эксплуатации, и соответствующие им сроки чистки светильников, например, в производственных помещениях с нормальной воздушной средой коэффициент запаса при газоразрядных лампах – 1,5, при лампах накаливания 1,3.

Нормы освещенности приведены в таблицах Б1, Б2, Б3 (Приложение Б). Значения коэффициентов запаса в таблице Б4 (Приложение Б).

#### 6.1.4 Выбор осветительных приборов

Большое значение для надежности и экономичности осветительной установки имеет правильный выбор светильников. При этом необходимо учитывать условия окружающей среды, в которой будет работать светильник, требуемое распределение светового потока в зависимости от назначения и характера отделки помещения и экономичность светильника. Характеристики наиболее распространенных светильников и области их применения приведены в /9/.

Для общего освещения производственных помещений с нормальными условиями работы, в зависимости от отражающих свойств стен и потолков, применяют подвесные или потолочные светильники с ЛЛ типа ЛД (ОД). Из светильников с ЛН применяют светильник «Универсаль» (У) в помещениях высотой 4–6 м и светильник типа «Глубокоизлучатель» (Гс, Гэ) в помещениях высотой свыше 6 м. В сырых, жарких, пыльных и пожароопасных помещениях применяют светильники с ЛН типа ППД, ПУН, ПГТ и тому подобные, а с ЛЛ типа ПВЛ-1, ПВЛЛ, ПВЛМ. В помещениях со взрывоопасной средой следует использовать светильники с ЛН типа В4А-200 и другие. Подробнее о выборе типа светильников см. /9/.

#### 6.1.5 Размещение светильников

Выбор расположения светильников является одним из основных вопросов проектирования электрического освещения, влияющим на экономичность и качество освещения, на удобство его эксплуатации. На рисунке 2 показано расположение светильников по высоте помещения.

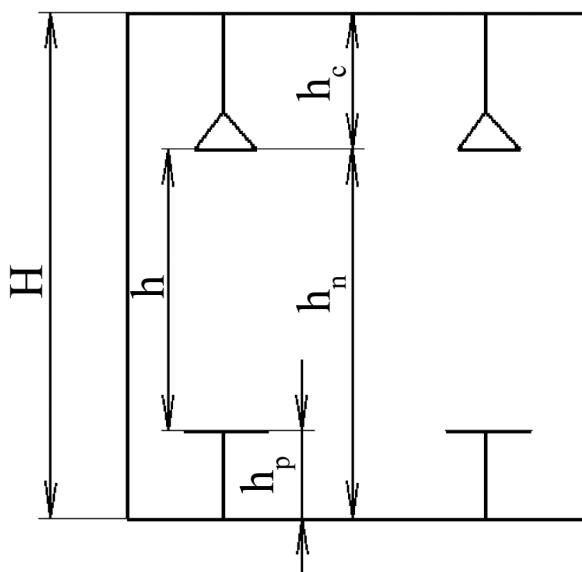


Рисунок 2 – Расположение светильников по высоте помещения

Расчетная высота,  $h$ , определяется по формуле:

$$h = H - h_c - h_p, \quad (2)$$

где  $H$  – высота помещения (при ферменном перекрытии – высота до затяжки ферм), м;

$h_c$  – расстояние светильников до потолка, м;

$h_p$  – высота рабочей поверхности над полом, м;

$h_n$  – высота светильника над полом, м,  $h_n = H - h_c$ .

Немаловажным является также расположение светильников в плане. При общем равномерном освещении выгоднейшим вариантом расположения является расположение светильников ЛН и ДРЛ по сторонам квадрата, прямоугольника или по вершинам равностороннего треугольника (рис. 3, а), светильники на две – три ЛЛ располагают сплошными или прерывистыми рядами (рис. 3, б).

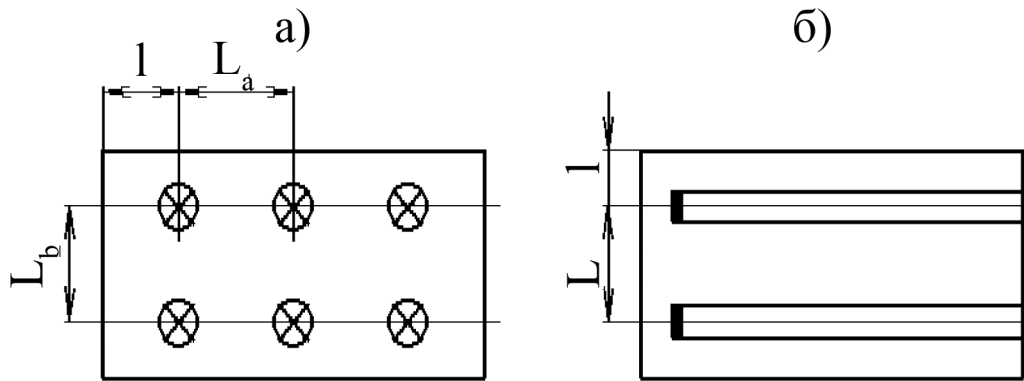


Рисунок 3 – Схемы размещения светильников:

$L$  – расстояние между соседними рядами светильников или рядами ламп (если по длине они различны, то соответственно  $L_a, L_b$ );

$l$  – расстояние от крайних светильников или рядов светильников до стен рекомендуется принимать  $l = (1/3 - 1/2)L$ .

Основное требование при выборе расположения светильников заключается в доступности их при обслуживании:  $h_n < 5$  м, при обслуживании с лестниц или стремянок; на уровне ферм при обслуживании с кранов и так далее.

В зависимости от формы кривой силы света [9], которая определяется типом светильника, рекомендуются следующие примерные отношения расстояния  $L$  к высоте  $h$ :

$$l = \frac{L}{H}. \quad (3)$$

Значения относительных расстояний между светильниками,  $l$ , обеспечивающие максимальную равномерность освещения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Наивыгоднейшие значения относительных расстояний

Светильники с ЛН	$l_0$	Светильники с ЛЛ	$l_0$
Универсаль	1,9	ЛД, ЛДР, ЛДО, ЛДОР (ОД, ОДО, ОДОР), ПВЛ-6, ВЛО, ПЛУ, НОТЛ, ПЛ-1	1,4
Универсаль с затенителем	1,8		
Глубокоизлучатель (Гэ)	1,7		
Глубокоизлучатель (Гс)	1,1	ВОД, ВЛН, ПВЛ-1	1,5
Глубокоизлучатель (Гк)	0,8		
Люпетта	1,6	ШОД, ШЛП	1,3
Шар молочного стекла	2,8		
Кольцевые подвесные светильники	1,7		
Плафон одноламповый	2,6		
Плафон ПГТ	2,1		
ПУ без отражателя	2,5		

При размещении светильников по углам прямоугольника эквивалентное расстояние определяется:

$$L = L_a \cdot L_b . \quad (4)$$

Определив по таблице  $L$ , задаются  $L_a$  или  $L_b$  и находят недостающий параметр из /9/.

Светильники с ЛЛ необходимо размещать рядами параллельно длинной стороне помещения со световыми проемами. Расстояние между рядами,  $L_b$ , также определяется из выражения (4):

$$L_b = \frac{L_2}{L_a} . \quad (5)$$

При общем освещении рабочих помещений светильниками с ЛЛ для создания равномерного освещения следует размещать светильники рядами. Светильники могут располагаться рядами с разрывом, величина которого определяется расчетом.

Расстояние от потолка до светильника,  $h_c$  обычно принимается 0,5–0,7 м (в жилых и общественных зданиях пониженной высоты – (0,3–0,4 м).



### 6.1.6 Расчет освещения методом коэффициента использования светового потока

После того, как произведен выбор типа ламп, их расположение в рассматриваемом помещении и количество, необходимо определить мощность отдельных ламп и всей осветительной установки в целом. Для осветительных установок с ЛН и ДРЛ число ламп определяется из условия их рационального размещения; затем определяется мощность одной лампы, исходя из величины ее светового потока,  $F_{л}$ , лм:

$$F_{л} = \frac{E_{\min} \cdot k_3 \cdot S \cdot z}{N \cdot k_u}, \quad (1)$$

где  $E_{\min}$  – минимальная освещенность, лк;

$k_3$  – коэффициент запаса;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$z$  – коэффициент минимальной освещенности;

$N$  – количество светильников;

$k_u$  – коэффициент использования.

Значения  $E_{\min}$ ,  $k_3$ ,  $z$  и  $k_u$  выбираются по таблицам /9/ и /11/. По найденному значению  $F_{л}$  выбирается ближайшая стандартная лампа, поток которой должен отличаться от расчетного не более чем –10 % или +20 %. При невозможности выбора  $F_{л}$  с такой точностью корректируется число светильников,  $N$ . Если по какой-либо причине  $F_{л}$  задан однозначно, то из формулы 5 определяется  $N$ .

При расчете освещения, выполненного рядами люминисцентных светильников, под  $N$  в формуле 5 следует понимать число рядов, под  $F_{л}$  – суммарный поток ламп одного ряда. По найденному значению  $F_{л}$  производится компоновка ряда, то есть определяется светотехнически и конструктивно подходящее число и мощность светильников, для которых  $F_{л}$  близко к необходимому. Коэффициент  $z$  зависит от многих факторов, из которых основное значение имеет относительное расстояние между светильниками,  $l$ . Если светильники расположены по углам квадрата или прямоугольника,  $z = 1,15$ , если люминисцентные светильники расположены рядами,  $z = 1,1$ .

Коэффициент использования светового потока определяется по справочникам /9/ и /15/ в зависимости от типа светильника: от коэффициентов отражения от стен, потолка и рабочей поверхности ( $r_c$ ,  $r_n$ ,  $r_{pn}$ ); а также от индекса помещения,  $i$ , определяемого по формуле:

$$i = \frac{A \times B}{h (A+B)}, \quad (6)$$

где  $A$  – длина помещения, м;

$B$  – ширина, м;

$h$  – расчетная высота.

По определенному индексу помещения,  $i$ , по справочникам /9/ или /15/ принимается ближайшее стандартное значение индекса помещения. Индекс



помещения приводится в таблицах В1 и В2 (Приложение В). Коэффициенты отражения от стен, потолка и рабочей поверхности см. таблицу В3 (Приложение В). Пример расчета приведен в Приложении Г.

### 6.1.7 Расчет освещения по методу удельной мощности

Простейший способ светотехнического расчета – метод удельной мощности – пригоден для расчета общего равномерного освещения помещений, длина которых не более чем в 2,5 раза превышает ширину.

При расчете по удельной мощности для освещаемого помещения сначала выбирают тип светильника и расчетную высоту его подвеса; при светильниках с ЛН или ДРЛ намечают наивыгоднейшее число светильников,  $N$ ; в зависимости от величины нормируемой освещенности,  $E_{min}$ , площади освещенного помещения,  $S$  и расчетной высоты,  $h$ , по соответствующей таблице /9/ находят удельную мощность,  $P_{уд}$ ; определяют мощность одной лампы по формуле:

$$P_{л} = \frac{P_{уд} \cdot S}{N}. \quad (7)$$

При светильниках с ЛЛ порядок расчета несколько изменяется, сначала намечается число рядов,  $N$ , и находится общая необходимая мощность всех ламп ряда,  $P_{лр}$ :

$$P_{лр} = \frac{P_{уд} \cdot S}{N}. \quad (8)$$

На основании данного расчета выбирается число и мощность светильников.

Величины удельной мощности для расчета с различными типами ламп приведены в таблицах Д1–Д4 (Приложение Д).

## 6.2 Электрический расчет освещения

### 6.2.1 Определение расчетных нагрузок осветительной установки

Расчетная мощность освещения цеха,  $P_{ро}$ , находится методом коэффициента спроса и с учетом потерь мощности в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА):

$$P_{ро} = P_{но} \cdot k_c \cdot k_{пра}, \quad (9)$$

где  $P_{но}$  – номинальная (установленная) мощность осветительной сети;

$k_c$  – коэффициент спроса;

$k_{пра}$  – коэффициент, учитывающий потери в ПРА.

Номинальная мощность осветительной сети:

$$P_{но} = P_{ни} \cdot N , \quad (10)$$

где  $P_{ни}$  – номинальная мощность одной лампы.

Значения коэффициента, учитывающего потери в ПРА, принимаются: для ламп типов ДРЛ и ДРИ,  $k_{пра} = 1,1$ ; для ЛЛ со стартерными схемами включения,  $k_{пра} = 1,2$ ; для ЛЛ с бесстартерными схемами включения,  $k_{пра} = 1,3 - 1,35$ .

### 6.2.2 Выбор источника питания осветительной установки

Электроснабжение рабочего освещения, как правило, выполняется самостоятельными линиями от щитов подстанции. При этом электроэнергия от подстанции передается питающими линиями на осветительные магистральные щитки, а от них – групповым осветительным щитком. Питание источников света осуществляется от групповых щитков групповыми линиями.

Светильники аварийного освещения для продолжения работ, а также светильники аварийного освещения для эвакуации из производственных зданий без естественного освещения должны быть присоединены к независимому источнику питания.

### 6.2.3 Выбор напряжения питания осветительных установок

Выбор напряжения для осветительных установок производится одновременно с выбором напряжения для силовых потребителей, при этом учитываются также требования техники безопасности и экономичности.

### 6.2.4 Выбор схемы питания осветительной установки

Электрическая сеть осветительных установок состоит из питающих и групповых линий. Питающие линии могут выполняться по радиальным, магистральным, а также радиально-магистральным схемам (рис. 4).

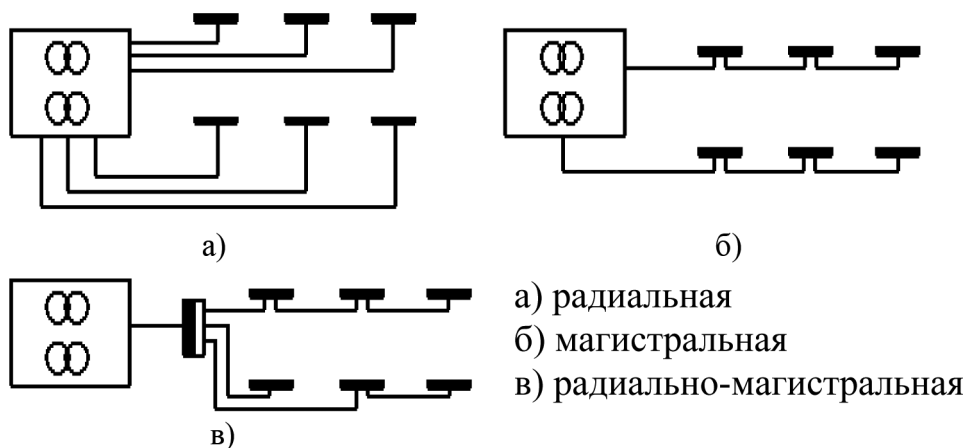


Рисунок 4 – Разновидности схем питающих осветительных сетей

Радиальные питающие линии применяются при нагрузках на групповые щитки более 200 А. Наиболее распространенными являются смешанные радиально-магистральные сети.

Выбор схемы питающих и групповых сетей должен определяться:

- а) требованиями к бесперебойности действия осветительной установки;
  - б) технико-экономическими показателями (минимальными приведенными показателями, расходом цветных материалов и электроэнергии);
  - в) удобством управления и простотой эксплуатации осветительной установки.
- Характерные схемы питания рабочего и аварийного освещения приведены в /9, 13, 14/.

#### **6.2.5 Выбор трассы осветительной сети и мест установки магистральных и групповых щитков**

При выборе трассы учитывается:

- а) удобство эксплуатации (доступность);
- б) исключение возможности повреждения при производстве работ;
- в) эстетические требования;
- г) уменьшение длины трассы.

Технико-экономическими расчетами установлено, что максимальная длина трехфазных четырехпроводных групповых линий при напряжении 380/220 В может быть принята не более 80 м, а двухпроводная – не более 35 м. К групповым линиям не рекомендуется присоединять более 20 ламп накаливания на фазу, а при использовании многоламповых светильников с ЛЛ – до 50 ламп на фазу.

Размещение щитков должно производиться вблизи от центра электрических нагрузок, при этом необходимо обеспечить доступность их обслуживания. Не следует устанавливать щитки в горячих и сырых цехах предприятий, а также в пожароопасных помещениях. Запрещается установка щитков во взрывоопасных помещениях всех классов.

#### **6.2.6 Выбор марки проводов и способов их прокладки**

При выполнении сетей освещения учитывают:

- а) надежность;
- б) долговечность;
- в) пожарную безопасность;
- г) экономичность;
- д) индустриальность.

При выборе пользуются рекомендациями, приведенными в /9, 13/.

#### **6.2.7 Выбор сечений проводов по механической прочности**

В соответствии с ПУЭ минимальное сечение изолированных проводников с алюминиевыми жилами должно быть не менее 2,5 мм<sup>2</sup>.

### 6.2.8 Расчет электрических осветительных сетей по минимуму проводникового материала

Если к линии вдоль ее длины подключить ряд электроприемников, то токовая нагрузка по мере удаления от источника будет уменьшаться. Поэтому электрические осветительные сети, исходя из экономической целесообразности, строятся с убывающей величиной сечения проводов в направлении от источника питания к электроприемникам.

В практике для расчетов сечений осветительных сетей при условии наименьшего расхода проводникового материала пользуются упрощенной методикой, выведенной на основании математического анализа и ряда принятых допущений:

$$S = \frac{M_{\text{прив}}}{C \cdot \Delta U_{\text{доп\%}}}, \quad (11)$$

где  $S$  – сечение провода данного участка, мм<sup>2</sup>;

$M_{\text{прив}}$  – приведенный момент мощности, кВт·м;

$C$  – коэффициент, зависящий от схемы питания (трех-, двух- или однофазная) и марки материала проводника, принимается по /9, 13, 14/;

$U_{\text{доп}}$  – допустимая потеря напряжения в осветительной сети от источника питания до наиболее удаленной лампы (2,5 %).

$$M_{\text{прив}} = \Sigma M + S_a \cdot m, \quad (12)$$

где  $\Sigma M$  – сумма моментов данного и всех последующих по направлению передачи энергии участков с тем же числом проводов в линии, как и на данном участке;

$S_a \cdot m$  – сумма моментов всех ответвлений, питаемых данным и имеющих иное число проводов в линии, чем на данном участке;

$a$  – коэффициент приведения моментов, зависящий от числа проводов на участке и в ответвлении, определяется по справочникам /13, 15/.

Формула 12 последовательно применяется ко всем участкам сети, начиная с участка, ближайшего к источнику питания. При выборе сечений проводников для первых участков сети следует принимать ближайшие большие стандартные сечения. По выбранному стандартному сечению данного участка,  $S_{\text{ист}}$ , и его фактическому моменту,  $M_i$ , определяются фактические потери напряжения,  $D$ :

$$\Delta U_{\phi i} = \frac{M_i}{C \cdot S_{\text{ист}}}. \quad (13)$$

Последующие участки рассчитываются аналогично с учетом оставшихся (или располагаемых) потерь напряжения на этих участках:

$$\Delta U_{\text{расч}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\phi i}. \quad (14)$$

После определения сечений они проверяются по нагреву:

$$I_{pi} < I_{doni} , \quad (15)$$

где  $I_{pi}$  – расчетный ток  $i$ -того участка;

$I_{doni}$  – допустимый ток выбранного на  $i$ -том участке сечения, приводится в /2, 9, 13/.

Расчетный ток определяется по формулам:

для однофазной (двухпроводной) сети освещения:

$$I_p = \frac{P_p \cdot 10^3}{U_\phi \cos \varphi} , \quad (16)$$

для двухфазной (трехпроводной) сети при включении ламп на фазное напряжение:

$$I_p = \frac{P_p \cdot 10^3}{2U_\phi \cos \varphi} , \quad (16)$$

для трехфазной (четырёхпроводной) сети:

$$I_p = \frac{P_p \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_\phi \cos \varphi} , \quad (16)$$

где  $P_p$  – расчетная мощность, кВт.

Значения коэффициента мощности,  $\cos \varphi$ , для различных видов ламп следующие:

$\cos \varphi = 1$  – для сетей с ЛН;

$\cos \varphi = 0,95$  – для сетей с ЛЛ и компенсированными ПРА;

$\cos \varphi = 0,6$  – для сетей с лампами ДРЛ.

## 7 Определение электрических нагрузок силовых электроприемников

Знание электрических нагрузок необходимо для выбора и проверки проводников (шин, кабелей и других) и трансформаторов по пропускной способности и экономической плотности тока, а также для расчета потерь и отклонений напряжения, выбора защиты и компенсирующих устройств. Правильное определение ожидаемых электрических нагрузок при проектировании является основой для рационального решения всего сложного комплекса вопросов электроснабжения современного промышленного предприятия. При проектировании системы электроснабжения необходимо учитывать перспективы развития производства и, следовательно, перспективный рост электрических нагрузок на ближайшие 10 лет /3/.

Завышенные нагрузки вызывают излишние затраты и недоиспользование дефицитного электрооборудования и проводникового материала. Заниженные значения электрических нагрузок влекут за собой недоиспользование установленного дорогостоящего технологического оборудования и недоотпуск продукции.

При проектировании обычно определяют три вида нагрузок:

а) среднюю за максимально загруженную смену  $P_{см}$  и среднегодовую  $P_{сг}$ . Величина  $P_{см}$  необходима для определения расчетной активной нагрузки  $P_p$ , а величина  $P_{сг}$  – для определения годовых потерь электроэнергии;

б) расчетную активную  $P_p$  и реактивную  $Q_p$ . Эти величины необходимы для расчета сетей по условиям допустимого нагрева, выбора мощности трансформаторов и преобразователей, а также для определения максимальных потерь мощности, отклонений и потерь напряжения;

в) максимальную кратковременную (пусковой или пиковый ток)  $I_n$ ; эта величина необходима для проверки колебаний напряжения, определения тока срабатывания релейной защиты, выбора плавких вставок предохранителей и проверки электрических сетей по условиям самозапуска двигателей.

### 7.1 Определение средних нагрузок

Для определения средней мощности за наиболее загруженную смену  $P_{см}$  ЭП рассматриваемого узла системы электроснабжения (ШС, ШРА, шины ТП, РП и т.д.) делят на  $n$  категорий по характерным значениям коэффициента использования  $K_u$  и мощности  $\cos \varphi / \tan \varphi$ .

Тогда для каждой категории:

$$P_{см} = K_u \cdot P_{ном}, \quad (18)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \tan \varphi, \quad (19)$$

где  $K_u$  – коэффициент использования отдельного ЭП или группы ЭП за наиболее загруженную смену;

$P_{ном}$  – активная номинальная мощность приемников;

$Q_{см}$  – средняя реактивная мощность;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности.

Значения коэффициентов использования приведены в справочных материалах /4,13/ по характерным (однородным) категориям ЭП, то есть имеющих одинаковое технологическое назначение, а также одинаковые верхние границы возможных значений  $K_u$  и коэффициентов реактивной мощности –  $\cos \varphi / \tan \varphi$ .

## 7.2 Определение расчетных нагрузок

В системе электроснабжения предприятия АПК существует несколько характерных мест (уровней) определения расчетных электрических нагрузок (рис. 5).

а) Определение расчетной нагрузки, создаваемой одним приемником напряжением до 1000 В (уровень 1).

Определение этой нагрузки необходимо для выбора сечения провода или кабеля, отходящего к данному приемнику, и аппарата, при помощи которого производится присоединение приемника к силовому распределительному шкафу (ШС) или распределительной линии (ШРА).

б) Определение расчетной нагрузки, создаваемой группой приемников напряжением до 1000 В (уровень 2).

Определение данной нагрузки необходимо для выбора сечения радиальной линии или распределительной магистрали, питающих данную группу приемников, и аппарата, присоединяющего данную группу приемников к главному силовому распределительному шкафу или питающей магистрали в схеме блока трансформатор-магистраль.

в) Определение расчетной нагрузки, создаваемой на шинах низшего напряжения 0,69 – 0,4/0,23 кВ цеховой ТП отдельными крупными ЭП или ШС, питающими отдельные приемники или группы приемников (уровень 3).

Определение данной нагрузки необходимо для выбора сечения линий, отходящих от шин 0,69 или 0,4/0,23 кВ цеховой ТП и питающих указанные выше приемники, и аппарата, присоединяющего отходящие линии к шинам низшего напряжения цеховой ТП, а также для выбора трансформаторов цеховой ТП.



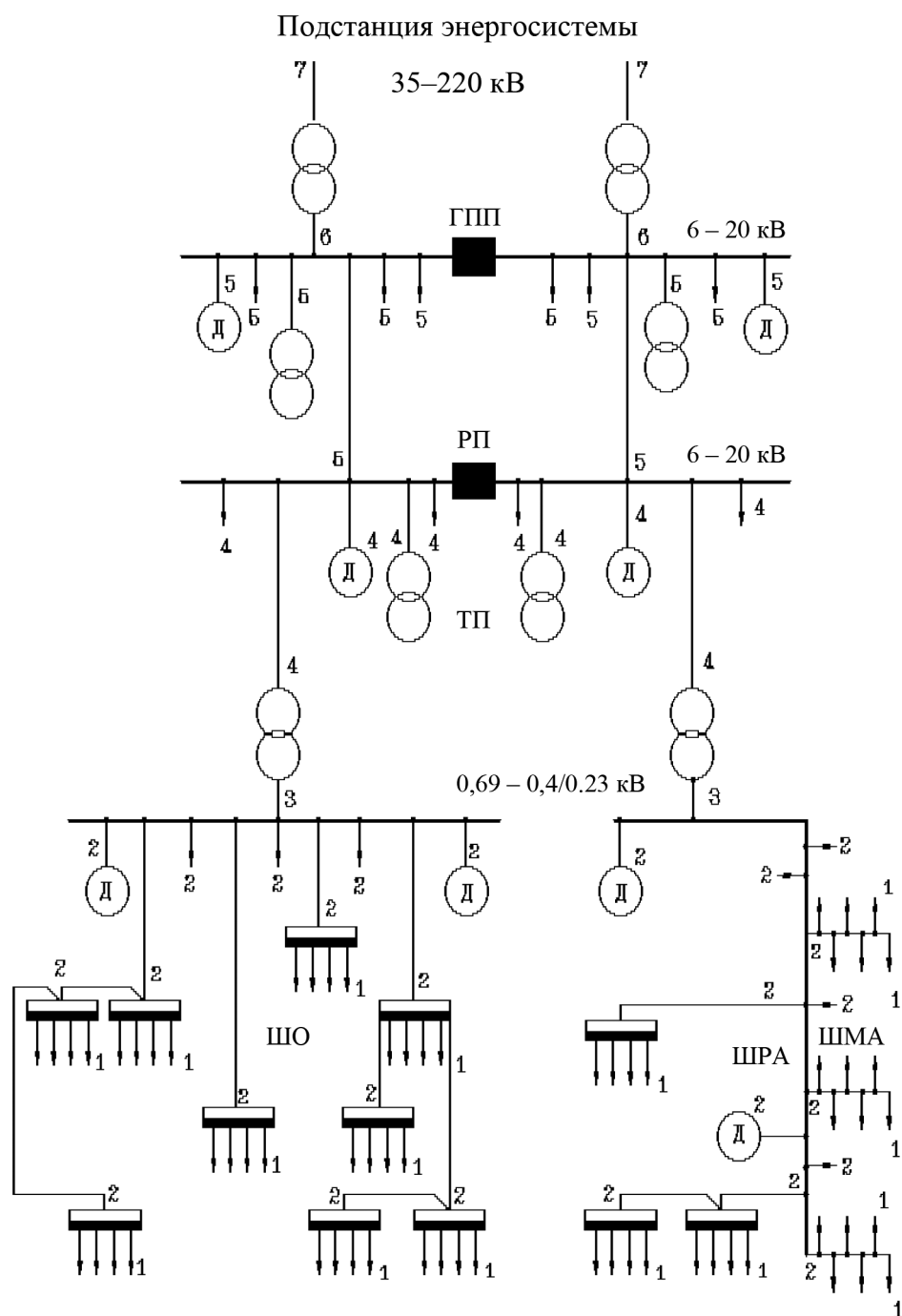


Рисунок 5 – Схема характерных мест определения расчетных нагрузок в системе электроснабжения предприятия агропромышленного комплекса.

г) Определение расчетной нагрузки, создаваемой на шинах 6–20 кВ РП отдельными приемниками или отдельными цеховыми трансформаторами с учетом потерь в трансформаторах (уровень 4).

Определение данной нагрузки необходимо для выбора сечения проводов линий, отходящих от шин РП и питающих цеховые трансформаторы и приемники высокого напряжения, а также для выбора отключающих аппаратов, устанавливаемых на данных линиях.

д) Определение общей расчетной нагрузки на шинах каждой секции РП (уровень 5).

Определение данной нагрузки необходимо для выбора сечения и материала шин 6 – 20 кВ РП, сечения линий, питающих каждую из секций шин РП, и отключающей аппаратуры со стороны шин ГПП. В случае, если от шин 6 – 20 кВ ГПП непосредственно питаются цеховые трансформаторы или приемники, уровень 5 соответствует уровню 4 только относительно шин 6 – 20 кВ ГПП.

е) Определение общей расчетной нагрузки на шинах 6 – 20 кВ каждой секции ГПП (уровень 6).

Определение данной нагрузки необходимо для выбора числа и мощности понижающих трансформаторов, устанавливаемых на ГПП, выбора сечения и материала шин ГПП и отключающих аппаратов, устанавливаемых на стороне низшего напряжения 6 – 20 кВ трансформаторов ГПП.

ж) Определение расчетной нагрузки на стороне высшего напряжения 35 – 220 кВ трансформаторов ГПП с учетом потерь в трансформаторах (уровень 7).

Определение данной нагрузки необходимо для выбора сечения линий, питающих трансформаторы ГПП, и выбора аппаратов присоединения трансформаторов и питающих их линий.

В зависимости от места определения расчетных нагрузок и стадии проектирования применяются методы их определения, более точные или упрощенные. Методы определения расчетных (ожидаемых) электрических нагрузок, применяемые в настоящее время в практике проектирования электроснабжения промышленных предприятий, можно разделить на основные и вспомогательные.

К основным следует отнести методы определения расчетных нагрузок  $P_p$  по:

а) по установленной мощности  $P_y$  и коэффициенту спроса  $k_c$ :

$$P_p = P_y \cdot k_c ; \quad (20)$$

б) средней мощности  $P_c$  и отклонению расчетной нагрузки от средней  $\sigma$  (статистический метод):

$$P_p = P_c + \beta \cdot \sigma , \quad (21)$$

где  $\sigma$  – вероятность отклонения нагрузки от средней;

$\beta$  – величина осреднения;

в) средней мощности  $P_{cm}$  и коэффициенту формы графика нагрузок  $k_\phi$  (или по технологическому графику):

$$P_p = P_{cm} \cdot k_\phi ; \quad (22)$$

г) средней мощности  $P_{cm}$  и коэффициенту расчетной нагрузки  $k_p$ :

$$P_p = P_{cm} \cdot k_p . \quad (23)$$

К вспомогательным методам можно отнести методы определения расчетных нагрузок по:

а) по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции  $\mathcal{E}_y$  при заданном объеме выпуска продукции  $M_{cm}$  за определенный период  $T_{cm}$  (например, за наиболее загруженную смену):

$$P_p = P_{cm} = \frac{M_{cm} \cdot \mathcal{E}_y}{T_{cm}}; \quad (24)$$

б) удельной нагрузке  $p_0$  на единицу производственной площади  $F$ :

$$P_p = p_0 \cdot F. \quad (25)$$

Для определения расчетных нагрузок по отдельным группам приемников и узлам напряжения до 1000 В в цеховых сетях рекомендуется использовать метод расчета по коэффициенту расчетной нагрузки, а для ориентировочных расчетов на высших ступенях системы электроснабжения возможно применение методов расчета по установленной мощности и коэффициенту спроса, а также по удельным показателям потребления электроэнергии.

### **7.2.1 Определение расчетных трехфазных нагрузок напряжением до 1 кВ**

Основным методом определения расчетных электрических нагрузок при проектировании систем электроснабжения потребителей электроэнергии всех отраслей народного хозяйства является метод определения этих нагрузок по коэффициенту расчетной нагрузки. Для проверки результатов расчета и оценки нагрузки в целом по цеху или предприятию можно использовать показатели электропотребления на единицу продукции или на единицу площади цеха, а также метод расчета по коэффициенту спроса. Метод определения электрических нагрузок по коэффициенту расчетной нагрузки не распространяется на определение электрических нагрузок электроприемников с резкопеременным графиком нагрузки (электроприводы прокатных станов, дуговые печи, установки контактной электросварки и тому подобные), промышленного электрического транспорта, жилых и общественных зданий, а также ЭП с известным графиком работы.

Определение расчетных нагрузок выполняется по форме Ф636-92 (Приложение Ж, таблица Ж1) в следующей последовательности.

Расчет электрических нагрузок ЭП напряжением до 1 кВ производится для каждого узла питания (РП, распределительного шинпровода, цеховой ТП), а также по цеху в целом.

Исходные данные для расчета (графы 1 – 4) заполняются на основании полученного индивидуального задания. Графы 5 – 6, в которых приведены значения коэффициентов использования и реактивной мощности для индивидуальных ЭП, заполняются по справочным данным /4,13/.

При этом все ЭП группируются по характерным категориям с одинаковыми  $k_u$  и  $tg\varphi$ . В каждой графе указываются ЭП одинаковой мощности. Резервные ЭП, ремонтные средства, сварочные трансформаторы при определении расчетной мощности не учитываются. При наличии в справочных данных интервальных значений  $k_u$  следует для расчета принимать наибольшее значение.

В графах 7 и 8 записываются величины  $P_{см}$  и  $Q_{см}$ , определенные по формулам 1, 2. В итоговых строках указываются суммарные значения  $\Sigma P_{см}$  и  $\Sigma Q_{см}$ .

Определяется групповой коэффициент использования  $k_{из}$  для данного узла питания:

$$k_{из} = \frac{\Sigma K_u \cdot P_{ном}}{\Sigma P_{ном}}, \quad (26)$$

где  $\Sigma P_{ном}$  – суммарная номинальная мощность всех ЭП данной группы.

Значение заносится в графу 5 итоговой строки.

Для определения эффективного числа ЭП,  $n_э$ , в графе 9 построчно для каждой характерной группы ЭП одинаковой мощности определяются величины  $n \cdot P_{ном}^2$  и в итоговой строке – их суммарное значение  $\Sigma n \cdot P_{ном}^2$ .

Величина  $n_э$ , заносимая в графу 10, определяется по выражению:

$$n_э = \frac{(\Sigma P_{ном})^2}{\Sigma n \cdot P_{ном}^2}. \quad (27)$$

Графа 10 и все последующие графы заполняются только для узла в целом (итоговой строкой). При значительном числе ЭП (магистральные шинопроводы, шины цеховых ТП, в целом по цеху или корпусу)  $n_э$  может определяться по упрощенной формуле:

$$n_э = \frac{2 \Sigma P_{ном}}{P_{ном\ max}}, \quad (28)$$

где  $P_{ном\ max}$  – мощность наибольшего ЭП в группе.

Найденное по формуле 27 значение  $n_э$  округляется до ближайшего меньшего числа. При  $n_э < 4$  рекомендуется пользоваться номограммой (Приложение И, рисунок И1). Если найденное число  $n_э$  окажется больше  $n$ , или если  $P_{ном\ max}/P_{ном\ min} < 3$ , то следует принимать  $n_э = n$ .  $P_{ном\ min}$  – номинальная мощность наименее мощного ЭП группы.

В зависимости от группового (средневзвешенного) коэффициента использования  $k_{из}$  и эффективного числа ЭП  $n_э$  определяется коэффициент расчетной нагрузки  $k_p$  и заносится в графу 11.

$k_p$  зависит не только от эффективного числа ЭП и группового коэффициента использования, но и от постоянной времени нагрева  $T_o$  сети, для которой определяются электрические нагрузки. Согласно /1/ приняты следующие постоянные времени нагрева:

$T_o = 10$  мин, для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные

шинопроводы, пункты сборки, щиты. Значение  $k_p$  для этих сетей принимаются по таблице Ж1 Приложения Ж или по номограмме (рисунок И1, Приложение И) /1/;

$T_o = 2,5$  часа для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов. Значение  $k_p$  для этих сетей принимаются по таблице Ж2 Приложения Ж /1/.

Расчетная активная мощность  $P_p$  подключенных к узлу питания ЭП напряжением до 1 кВ (графа 12) определяется по выражению:

$$P_p = k_p \cdot \Sigma(K_u \cdot P_{ном}). \quad (30)$$

В том случае, когда расчетная мощность  $P_p$  окажется меньше номинальной наиболее мощного электроприемника, следует принимать

$$P_p = P_{ном max}. \quad (31)$$

Расчетная реактивная мощность  $Q_p$  (графа 13) определяется следующим образом:

для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от  $n_s$

$$\text{при } n_s \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \cdot \Sigma(K_u \cdot P_{ном}) \operatorname{tg} \phi \quad (32)$$

$$\text{при } n_s > 10 \quad Q_p = \Sigma(K_u \cdot P_{ном}) \operatorname{tg} \phi \quad (33)$$

Для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций, а также при определении реактивной мощности в целом по цеху, предприятию:

$$Q_p = \Sigma(K_u \cdot P_{ном}) \operatorname{tg} \phi = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi. \quad (34)$$

К расчетной активной и реактивной мощности силовых ЭП напряжением до 1 кВ должны быть при необходимости добавлены осветительные нагрузки  $P_{po}$  и  $Q_{po}$ . Полная расчетная мощность  $S_p$  (графа 14) определяется по выражению:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (35)$$

Значение токовой расчетной нагрузки (графа 15), по которой выбирается сечение линии по допустимому нагреву, определяется по выражению:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}. \quad (36)$$

По предложенной методике расчет ведется по основным узлам питания. Нагрузка по однофазным ЭП считается отдельно и вносится в таблицу как однофазная нагрузка, приведенная к трехфазной. Затем определяется суммарная нагрузка по отдельным трансформаторам (при двух трансформаторных подстанциях) с учетом осветительной нагрузки и цеху в целом. Нагрузка по цеху определяется как для любого узла питания, значение  $k_p$  для этого узла принимается по таблице Ж2 (Приложение Ж) /1/. Пример расчета трехфазной нагрузки для ЭП до 1 кВ приведен в Приложении К.

## 7.2.2 Определение расчетных однофазных нагрузок

Электрические нагрузки ЭП однофазного тока должны быть распределены равномерно по фазам. Однофазные ЭП, включенные на фазное и линейное напряжения и распределенные по фазам с неравномерностью  $P_{нф}$  не выше 15 % по отношению к общей мощности трехфазных и однофазных ЭП в группе, учитываются согласно /1/ как трехфазные ЭП той же суммарной мощности. Если неравномерность превышает 15 %, то расчетная нагрузка принимается равной утроенной величине наиболее загруженной фазы.

Неравномерность нагрузки  $\Delta P_{нф}$  определяется по формуле:

$$\Delta P_{нф} = \frac{P_{\max \phi} - P_{\min \phi}}{P_{\min \phi}} 100\%. \quad (37)$$

Если к данному узлу присоединена еще и трехфазная нагрузка, то:

$$\Delta P_{нф} = \frac{P_{\max \phi} - P_{\min \phi}}{P_{\min \phi} + \frac{1}{3} \Delta P_{ном}} 100\%, \quad (38)$$

где  $\Delta P_{ном}$  – суммарная трехфазная мощность, присоединенная к данному узлу.

При числе однофазных ЭП до трех с достаточной для практических целей точностью условная трехфазная номинальная мощность определяется следующим образом:

а) при включении ЭП на фазное напряжение:

$$P_{ну} = 3P_{нмф} \quad (39)$$

или

$$P_{ну} = 3S_{пв} \sqrt{ПВ} \cdot \cos \varphi = 3P_{нмф}, \quad (40)$$

где  $P_{ну}$  – условная трехфазная номинальная мощность, кВт;

$P_{нмф}$  – номинальная мощность максимально загруженной фазы, кВт;

$S_{пв}$  – паспортная мощность, кВА;

$ПВ$  – относительная продолжительность включения в долях единицы.

б) при включении однофазных ЭП на линейное напряжение:

при одном ЭП:

$$P_{ну} = \sqrt{3} P_{нмл}, \quad (41)$$

где  $P_{нмл}$  – номинальная мощность нагрузки, подключенной на линейное напряжение, кВт;

при двух и трех ЭП:

$$P_{ну} = 3 P_{нмф}. \quad (42)$$

При числе однофазных ЭП более трех и одинаковых значениях  $K_u$  и  $\cos \varphi$

$$P_{ну} = 3 K_u \cdot K_p \cdot P_{нмф}. \quad (43)$$

При этом номинальные нагрузки по фазам определяются с использованием коэффициентов приведения по следующим формулам:

$$\begin{aligned} P_{на} &= P_{наб} \cdot P_{(ab)a} + P_{нас} \cdot P_{(ac)a} + P_{на0}; \\ P_{нб} &= P_{наб} \cdot P_{(ab)b} + P_{нbc} \cdot P_{(bc)b} + P_{нб0}; \\ P_{нс} &= P_{нас} \cdot P_{(ac)c} + P_{нbc} \cdot P_{(bc)c} + P_{нс0}, \end{aligned} \quad (44)$$

где  $P_{наб}$ ,  $P_{нbc}$ ,  $P_{нас}$  – однофазные номинальные нагрузки, присоединенные на линейные напряжения;

$P_{(ab)a}$ ,  $P_{(ab)b}$ ,  $P_{(ac)c}$  – коэффициенты приведения однофазной нагрузки к трехфазной;

$P_{на0}$ ,  $P_{нб0}$ ,  $P_{нс0}$  – однофазные номинальные нагрузки, присоединенные на фазные напряжения.

При определении  $K_p$  для однофазных ЭП величина  $n_3$  определяется по формуле:

$$n_3 = \frac{2 \sum P_{ном 0}}{3 P_{ном 0 max}}, \quad (45)$$

где  $\sum P_{ном 0}$  – сумма номинальных мощностей однофазных ЭП данного расчетного узла;

$P_{ном 0 max}$  – номинальная мощность наибольшего однофазного ЭП.

Если число однофазных ЭП более трех, а значения  $K_u$  и  $\cos \varphi$  для них различны, то при включении ЭП на фазные и линейные напряжения они распределяются по фазам по возможности равномерно, после чего определяются средние нагрузки за наиболее загруженную смену по каждой фазе.

Общая средняя нагрузка отдельных фаз определяется суммированием средних однофазных нагрузок данной фазы (фаза-нуль) и однофазных нагрузок, включенных на линейное напряжение с соответствующим приведением последних к нагрузкам данной фазы и фазному напряжению с использованием коэффициентов приведения (таблица Л1 Приложения Л). Например, для фазы «а» будем иметь:

$$\begin{aligned} P_{см(a)} &= K_u \cdot P_{аб} \cdot p_{(ab)a} + K_u \cdot P_{ас} \cdot p_{(ac)a} + K'_u \cdot P_{а0}, \\ Q_{см} &= K_u \cdot P_{аб} \cdot q_{(ab)a} + K_u \cdot P_{ас} \cdot q_{(ac)a} + K'_u \cdot Q_{а0}, \end{aligned} \quad (46)$$

где  $P_{аб}$ ,  $P_{ас}$  – мощность нагрузок, присоединенных на напряжение фазы «а» (между фазными и нулевыми проводами);

$P_{(ab)a}$ ,  $P_{(ac)a}$ ,  $q_{(ab)a}$ ,  $q_{(ac)a}$  – коэффициенты приведения нагрузок, включенных на линейные напряжения ав и ас к фазе «а» (таблица Л1 Приложение Л);



$K_u$  и  $K'_u$  – коэффициенты использования по активной мощности однофазных приемников различного режима работы.

Аналогично определяются средние однофазные нагрузки для фаз «в» и «с», находится наиболее загруженная фаза по активной мощности, например, фаза «с», а затем эквивалентная трехфазная нагрузка сети от однофазных ЭП за наиболее загруженную смену:

$$P_{cm} = 3 P_{cm(c)} \text{ и } Q_{cm} = 3 Q_{cm(c)} . \quad (47)$$

Средневзвешенное значение  $K_{uz}$  (группового коэффициента использования) определяется для этой же наиболее загруженной фазы:

$$K_{uz} = \frac{P_{cm(c)}}{\frac{P_{bc} + P_{ac}}{2} + P_{c0}} . \quad (48)$$

Эффективное число ЭП  $n_\vartheta$  определяется по формуле 45.

По найденным значениям  $K_{uz}$  и  $n_\vartheta$  определяют коэффициент расчетной нагрузки, а затем расчетная нагрузка:

$$P_p = K_p \cdot P_{cm} . \quad (49)$$

Результаты расчета удобно сводить в таблицу, форма которой приведена в таблице Л 2 (Приложение Л). Примеры расчета однофазных нагрузок приведены в Приложении М.

### 7.3 Расчет максимальных кратковременных (пиковых) нагрузок

Пиковые нагрузки возникают при пуске электродвигателей, работе дуговых электрических печей, при электросварке и т.п. Пиковым током одного ( $i_{\text{пик}}$ ) или группы ( $I_{\text{пик}}$ ) ЭП называется максимально возможная кратковременная нагрузка (длительностью 1 – 2 с).

Пиковый ток характеризуется частотой появления. При проектировании этот ток принимают за основу расчетов колебаний напряжения, выбора устройств и уставок защиты и проверки электрических сетей по условиям самозапуска электродвигателей.

Пиковый ток группы ЭП, работающих при отстающем токе, с достаточной для практических расчетов точностью определяется как арифметическая сумма наибольшего из пусковых токов двигателей, входящих в группу, и расчетного тока нагрузки всей группы ЭП за вычетом номинального тока с учетом коэффициента использования двигателя, имеющего наибольший пусковой ток:

$$i_{n \max} = i_{n \max} + (\sum I_p - k_u \cdot i_{n \max}), \quad (50)$$

где  $i_{n \max}$  – наибольший из пусковых токов двигателей в группе (по паспортным данным);

$\sum I_p$  – расчетный ток нагрузки всей группы ЭП;

$k_u$  – коэффициент использования, характерный для двигателя, имеющего наибольший пусковой ток;

$i_{n \max}$  – номинальный (приведенный к ПВ = 100 %) ток ЭП с наибольшим пусковым током.

В качестве наибольшего пикового тока одного ЭП принимаются: пусковой ток асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором или синхронного двигателя, который в случае отсутствия заводских данных может быть принят равным пятикратному номинальному току; пусковой ток двигателя постоянного тока или асинхронного с фазным ротором, который при отсутствии более точных данных принимается не ниже 2,5-кратного номинального тока. Пиковый ток печных и сварочных трансформаторов, который принимается по заводским данным, а в случае их отсутствия – не менее трёхкратного номинального (без приведения к ПВ = 100 %). Пиковая мощность машин контактной сварки определяется по паспортным данным по формуле:

$$S_n = U_{2\max} \cdot I_{\max}, \quad (51)$$

где  $U_{2\max}$  – максимальное вторичное напряжение, В;

$I_{\max}$  – максимальный сварочный вторичный ток, А.

При отсутствии заводских данных пиковая мощность может быть принята равной трёхкратной номинальной (при паспортном ПВ). Пиковый ток группы двигателей, которые могут включаться одновременно, принимаются равным сумме пусковых токов этих двигателей.

## 7.4 Расчет электрических нагрузок напряжением выше 1 кВ

Расчет электрических нагрузок напряжением выше 1 кВ производится в целом аналогично расчету нагрузок до 1 кВ, (Приложение Ж, табл. Ж1), с учетом следующих особенностей:

а) при получении от технологов (или по исходным данным) коэффициентов, характеризующих реальную загрузку электродвигателей,  $K_z$ , в графу 5 (табл. А1) заносится вместо коэффициента использования  $K_u$  значение коэффициента загрузки  $K_z$ , а в графу 7 – значение  $K_z \cdot P_{ном}$ ;

б) расчетная нагрузка цеховых ТП (с учетом осветительной нагрузки и потерь в трансформаторах) заносится в графы 7 и 8;

в) определяется число присоединений 6 – 10 кВ на сборных шинах РП, ГПП (графа 2 итоговой строки). Резервные ЭП не учитываются;

г) эффективное число ЭП  $n_z$  не определяется и графы 9 и 10 не заполняются;

д) в зависимости от числа присоединений и группового коэффициента использования  $K_u P_{ном} / P_{ном}$ , занесенного в графу 5 итоговой строки, по таблице Ж4 Приложения Ж определяется значение коэффициента одновременности  $K_o$ , которое заносится в графу 11 (при этом  $K_p = 1$ ):

$$k_0 = \frac{P_{p\Sigma}}{\Sigma P_p}, \quad (52)$$

где  $P_{p\Sigma}$  – суммарная расчетная нагрузка на шинах 6 – 10 кВ или ГПП;

$P_p$  – расчетная мощность нагрузок отдельных ЭП напряжением 6 – 10 кВ.

Для кабелей напряжением 6 кВ и выше, питающих цеховые трансформаторные и распределительные устройства, принята постоянная времени нагрева  $T_0$  – 30 мин. Расчетная мощность для этих элементов определяется при  $k_p = 1$ ;

е) расчетные мощности (графы 12–14) определяются по выражениям:

$$P_p = k_0 \cdot \Sigma(K_u \cdot P_{ном}), \quad (53)$$

$$Q_p = k_0 \cdot \Sigma(K_u \cdot P_{ном}) \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (54)$$

Полная расчетная мощность  $S_p$  (графа 14) определяется по выражению 35;

ж) результирующий расчет нагрузок для каждой трансформаторной подстанции и выбор мощности трансформаторов рекомендуется выполнять форме Ф202-90 (табл. Ж5 Приложения Ж).

Результирующая нагрузка на стороне высокого напряжения определяется с учетом средств компенсации реактивной мощности (КРМ) и потерь мощности в трансформаторах /6/.

## 8 Выбор числа и предварительной мощности трансформаторов на цеховых подстанциях

Выбор производится в соответствии с НТП /3/.

Однотрансформаторные цеховые подстанции применяют при питании нагрузок, допускающих перерыв электроснабжения на время доставки «складского» резерва, или при резервировании, осуществляемом по перемычкам на вторичном напряжении.

Двухтрансформаторные цеховые подстанции применяют при преобладании потребителей 1-й и 2-й категорий, а также при наличии неравномерного суточного или годового графика нагрузки.

Цеховые подстанции с числом трансформаторов более двух используют лишь при надлежащем обосновании необходимости их применения, а также в случае установки отдельных трансформаторов для питания силовых и осветительных нагрузок. Ориентировочно число и мощность трансформаторов можно выбрать по удельной плотности нагрузки (кВА/м<sup>2</sup>) и соответствующей нагрузке объекта (кВА) /3/. При этом максимальные мощности трансформаторов получаются следующими: при плотности нагрузки (кВА/м<sup>2</sup>) до 0,2 – до 1000 кВА;

от 0,2 до 0,5 – 1000–1600 кВА;

свыше 0,5 – 1600–2500 кВА.

Мощность цеховых трансформаторов следует определять по среднесменной потребляемой мощности,  $S_{см}$ , за наиболее нагруженную смену, а не по максимальной расчетной нагрузке /3/, за исключением резкопеременного графика нагрузки:

$$S_{нТ} = \frac{S_{см}}{K_3 \cdot n}, \quad (55)$$

где  $S_{см}$  – мощность цеха за наиболее загруженную смену;

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$n$  – число трансформаторов на подстанции.

Эта формула справедлива при условии, что в цехе предусматривается установка одной трансформаторной подстанции, если их несколько, то количество трансформаторных подстанций должно быть определено в соответствии с пунктом 6.4.7 /3/ в зависимости от рекомендуемой мощности трансформаторов и плотности цеховой нагрузки.

Наивыгоднейшая загрузка цеховых трансформаторов зависит от категории питаемых электроприемников, числа трансформаторов и способа резервирования. Согласно /3/ рекомендуется применять следующие коэффициенты загрузки трансформаторов:

а) при преобладании нагрузок 2-й категории при двухтрансформаторных подстанциях  $K_3 = 0,65–0,7$ ;

б) при преобладании нагрузок 2-й категории при двухтрансформаторных подстанциях и взаимном резервировании на вторичном напряжении  $K_3 = 0,7–0,8$ ;

в) при преобладании нагрузок 2-й категории при наличии централизованного

(складского) резерва трансформаторов, а также при нагрузках 3-й категории при однострансформаторных подстанциях  $K_3 = 0,9-0,95$ .

Коэффициенты загрузки в первых двух случаях (а и б) установлены, исходя из необходимости взаимного резервирования при выходе из работы одного из трансформаторов и с учетом допустимой перегрузки трансформатора, оставшегося в работе.

## **9 Выбор места расположения цеховых трансформаторных подстанций**

Правильное размещение трансформаторных подстанций на территории цеха – один из важнейших вопросов при построении рациональных систем электроснабжения.

Основные требования, которые необходимо выполнять при определении местоположения цеховой подстанции:

- а) максимальное приближение к центру нагрузки;
- б) сведение до возможного минимума обратных потоков энергии к источнику питания;
- в) цеховые подстанции должны занимать как можно меньше полезной площади цеха (их следует располагать между колоннами, в мертвых зонах мостовых кранов и так далее);
- г) они не должны создавать помех производственному процессу;
- д) крайне желательно, чтобы трансформаторы располагались непосредственно на открытом воздухе (для отдельностоящих, пристроенных и встроенных);
- е) выполнение требований электрической и пожарной безопасности;
- ж) выполнение требований архитектуры и эстетики.

Для определения условного центра электрических нагрузок (ЦЭН), а следовательно и местоположения трансформаторной подстанции, при проектировании системы электроснабжения на план цеха наносится картограмма нагрузок. Картограмма нагрузок цеха представляет собой размещенные по плану окружности, площади которых в выбранном масштабе равны расчетным мощностям нагрузок цеха (по отделениям). Центры этих окружностей являются «центрами тяжести» каждого из отделений. Располагая цеховые трансформаторные подстанции в указанных центрах, преследуют определенные цели:

- а) приближают высокое напряжение к центру потребления электрической энергии, что значительно сокращает протяженность как распределительных сетей высокого напряжения предприятия, так и цеховых сетей низкого напряжения;
- б) обеспечивают по возможности более близкие друг к другу уровни напряжения у потребителей;
- в) уменьшают расход проводникового материала;
- г) добиваются минимизации потерь электрической энергии или суммарных приведенных годовых затрат.

Существует несколько методов определения условного центра электрических нагрузок [10, 12]. Один из них (наиболее точный, с погрешностью меньше 5 %,

но зато более сложный) заключается в определении минимума приведенных годовых затрат, соответствующий рациональному размещению трансформаторных подстанций относительно заданной нагрузки путем решения систем алгебраических уравнений методом простой итерации.

Второй метод – это метод, учитывающий построение картограммы не нагрузок, а расхода энергии  $W = P_m \cdot T_m$ . Координаты центра, полученные этим методом, таковы:

$$X_{цэн} = \frac{\sum_1^n P_i \cdot X_i \cdot T_i}{\sum_1^n P_i \cdot T_i}, \quad (56)$$

$$Y_{цэн} = \frac{\sum_1^n P_i \cdot Y_i \cdot T_i}{\sum_1^n P_i \cdot T_i}. \quad (57)$$

Но наиболее простым и наглядным является третий метод (из него вытекает 2-й), который легко реализуется на ЭВМ (при значительном количестве отделений), однако точность его лежит в пределах 5–10 %. Суть его заключается в том, что проводят аналогию между массами и электрическими нагрузками и нахождение ЦЭН сводится к определению центра тяжести масс по формулам, используемым в теоретической механике:

$$X_{цэн} = \frac{\sum_1^n S_i \cdot X_i}{\sum_1^n S_i}. \quad (58)$$

$$Y_{цэнS} = \frac{\sum_1^n S_i \cdot Y_i}{\sum_1^n S_i}, \quad (59)$$

или упрощению для активной и реактивной мощностей отдельно:

$$X_{цэнP} = \frac{\sum_1^n P_i \cdot X_i}{\sum_1^n S_i}, \quad (60)$$

$$Y_{цэпP} = \frac{\sum_1^n P_i \cdot Y_i}{\sum_1^n S_i}, \quad (61)$$

$$X_{цэпQ} = \frac{\sum_1^n Q_i \cdot X_i}{\sum_1^n S_i}, \quad (62)$$

$$Y_{цэпQ} = \frac{\sum_1^n Q_i \cdot Y_i}{\sum_1^n S_i}. \quad (63)$$

## 10 Определение мощности компенсирующих устройств

Во избежание чрезмерных потерь активной мощности от передачи реактивной мощности энергосистемы на основании соответствующих технико-экономических расчетов и с учетом имеющейся реактивной мощности своих источников предписывают потребителям определенные оптимальные (экономические),  $Q_э$ , значения их реактивной мощности. Превышение этих значений учитывают при определении платы за электроэнергию.

Номинальную мощность компенсирующих устройств (КУ) обычно выбирают в пределах согласно /3/:

$$Q_p = Q_э \leq Q_{ку} \leq Q_p, \quad (64)$$

где  $Q_p$  – расчетная реактивная мощность потребителей цеха;

$Q_э$  – реактивная мощность, выдаваемая энергосистемой;

$Q_{ку}$  – мощность компенсирующих устройств.

Так как величина  $Q_э$  задается для предприятия в целом, то нижний предел выбора мощности относится к КУ, установленным на входе линий питания на предприятии (например, на ГПП, ЦРП предприятия). Поскольку отдельные цеха связи с энергосистемой не имеют, то  $Q_э$  для них не задается и КУ обычно выбирают по верхнему пределу, что позволяет даже во время суточного максимума компенсировать всю реактивную мощность.

При выборе средств компенсации следует учитывать рациональную мощность, которую может пропустить цеховой трансформатор, наличие синхронных двигателей на высоком напряжении, расчетную мощность КУ, а также минимальные приведенные затраты на их установку. Возможны следующие варианты



установки КУ в данном проекте:

- а) установка батарей конденсаторов (БК) на ВН и НН;
- б) компенсация синхронными двигателями (СД) на ВН и БК на НН;
- в) компенсация СД на ВН;
- г) компенсация БК на НН;
- д) компенсация БК на ВН.

Могут быть предложены и другие варианты. Окончательный выбор делают на основе анализа приведенных затрат по вариантам.

В сетях 6 – 10 кВ в первую очередь следует полностью использовать для компенсации реактивную мощность работающих СД.

Согласно [6] с достаточной степенью точности максимальная мощность генерируемая в сеть СД,  $Q_{др}$ , с учетом того, что СД имеет загрузку по активной мощности меньше номинальной, может принята равной:

$$Q_{др} \approx 1,2Q_{дн}, \quad (65)$$

где  $Q_{дн}$  – номинальная реактивная мощность СД.

$$Q_{дн} = \frac{P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n}{\eta}, \quad (66)$$

где  $P_n$  – номинальная активная мощность двигателя;

$\operatorname{tg} \varphi_n$  – номинальный коэффициент реактивной мощности;

$\eta$  – коэффициент полезного действия СД.

При отсутствии или недостаточном количестве СД применяют БК на ВН. Их целесообразно устанавливать: на цеховых подстанциях со сборными шинами ВН, на РП или на вторичном напряжении подстанции глубокого ввода (ПГВ) и ГПП, от которых питаются цеховые подстанции и индивидуальные ЭП 6–10 кВ. При такой установке конденсаторов от реактивной мощности разгружаются питающие сети 6–10 кВ, трансформаторы ПГВ и ГПП и сеть энергосистемы.

Конденсаторы напряжением 6–10 кВ не рекомендуется устанавливать на бесшинных цеховых подстанциях, на которых трансформаторы присоединены наглухо, или только через разъединитель, так как присоединение БК вызовет их усложнение и удорожание. В сетях 0,38–0,66 кВ для компенсации реактивной мощности также следует использовать реактивную мощность СД 0,38–0,66 кВ, а также свободную реактивную мощность СД 6–10 кВ, оставшуюся после компенсации нагрузок в сети 6–10 кВ, если это экономически целесообразно. Максимальная реактивная мощность  $Q_{maxT}$  МВАр, которая может быть передана от СД 6–10 кВ в сеть без увеличения числа трансформаторов  $n$ , выбранных по нагрузке, находится по формуле:

$$Q_{maxT} = \sqrt{(I_n \cdot S_{ном})^2 - P_{см}^2}, \quad (67)$$

где  $k_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов;

$S_{ном}$  – номинальная мощность трансформатора, МВА;

$P_{см}$  – расчетная среднесменная нагрузка сети 380 В, МВт.

Как правило, передача реактивной мощности от СД 6–10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ оказывается невыгодной, если это вызывает увеличение числа понижающих трансформаторов сверх необходимых по нагрузке.

Суммарную расчетную мощность БК низшего напряжения, устанавливаемых в цеховой сети, определяют расчетами по минимуму приведенных затрат в два этапа:

а) выбирают экономически оптимальное число цеховых трансформаторов и исходя из их пропускной способности мощность БК,  $Q_{нк1}$ :

$$Q_{нк1} = Q_{см} - Q_{maxT}, \quad (68)$$

где  $Q_{см}$  – суммарная реактивная мощность цеха за наиболее загруженную смену на напряжении до 1 кВ.

Если окажется, что  $Q_{нк1} < 0$ , то установка БК при выборе оптимального числа трансформаторов не требуется ( $Q_{нк1} = 0$ );

б) определяют дополнительную мощность БК в целях оптимального снижения потерь в трансформаторах и в сети напряжением 6 – 10 кВ предприятия,  $Q_{нк2}$ :

$$Q_{нк2} = Q_{см} - Q_{нк1} - \gamma \cdot N_{опт} \cdot S_{опт}, \quad (69)$$

где  $\gamma$  – расчетный коэффициент, зависящий от расчетных параметров  $k_{p1}$  и  $k_{p2}$  и схемы питания цеховой сети /7/;

$N_{опт}$  – оптимальное количество цеховых трансформаторов данной мощности;

$S_{опт}$  – номинальная мощность трансформатора.

Если окажется, что  $Q_{нк2} < 0$ , то для данного случая  $Q_{нк2} = 0$ .

Суммарная расчетная мощность  $Q_{нк}$  БК составит:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}. \quad (70)$$

Найденная реактивная мощность  $Q_{нк}$  распределяется между трансформаторами цеха пропорционально их реактивным нагрузкам.

Не рекомендуется чрезмерное дробление мощности БК в сетях до 1 кВ и 6–10 кВ, так как это приводит к значительному увеличению удельных затрат на отключающую аппаратуру, измерительные приборы, конструкции на установленную единицу мощности реактивной батареи. Единичную мощность БК на напряжение 6–10 кВ не следует принимать менее 400 кВАр, если присоединение выполняется с помощью отдельного выключателя. В сетях 380 В не рекомендуется дробить мощность БК до значения менее 50 кВАр. Если расчетная мощность БК на отдельных участках получается меньше данного значения, то конденсаторы на них не устанавливаются, а полученная по расчету мощность конденсаторов перераспределяется между другими близко расположенными батареями путем пропорционального увеличения их мощности. Более подробно см. /7/.

## 11 Окончательный выбор трансформаторов цеховой подстанции

### 11.1 Уточнение мощности трансформаторов с учетом компенсирующих устройств

Уточнение мощности трансформаторов производится с учетом способа компенсации реактивной мощности:

а) компенсация установкой БК на ВН и НН, при этом мощность потребителей цеха уточняется по следующей формуле:

$$S'_{см} = \sqrt{(P_{см} + P_0)^2 + (Q_{см} + Q_0 - Q_{нк})^2} ; \quad (71)$$

б) компенсация СД и БК на ВН, уточненная мощность потребителей цеха такая же, как и в предыдущем случае;

в) компенсация СД на ВН, мощность потребителей цеха останется такой же, как и до компенсации, поскольку СД присоединены к шинам источника питания (в соответствии с заданием на курсовой проект) и не разгружают трансформатор и питающую линию от реактивной мощности;

г) компенсация БК на НН, уточненная мощность потребителей цеха определяется по формуле (71);

д) компенсация БК на ВН, как и в случае в цеховой трансформатор от реактивной мощности разгружаться не будет.

Технически варианты В и Д возможны лишь в том случае, если Т может пропустить через себя всю мощность, необходимую цеховым ЭП.

После уточнения мощности, проходящей через трансформатор, следует найти реальный коэффициент загрузки трансформатора, а также произвести проверку трансформатора по ГОСТ 14209-85 /11/ и сделать соответствующие выводы.

### 11.2 Выбор типов и исполнения трансформаторов

Для питания цеховых ЭП (силовых и осветительных) напряжением 380/220 В или 660 В на промышленных предприятиях, как правило, применяются трехфазные трансформаторы с первичным напряжением 6–10 кВ и реже 20–35 кВ.

В зависимости от системы охлаждения цеховые трансформаторы выпускаются в нашей стране следующих типов:

– масляные с естественным охлаждением (т.е. трансформаторное масло в баке трансформатора охлаждает его активные части циркуляцией под действием кавитации, а снаружи трансформатор охлаждается естественным потоком воздуха);

– сухие (т.е. без охлаждающей жидкости) с естественным или принудительным воздушным охлаждением.

В зависимости от конструктивных особенностей цеховые трансформаторы выпускаются в следующих исполнениях:

– открытые – с открытыми изоляторами, расширителем для масла; такого типа трансформаторы, как правило, устанавливаются снаружи или в специальных камерах;

– закрытые, предназначенные для установки в комплектных трансформаторных подстанциях, отличительной особенностью которых является то, что вместо расширителя используется верхняя часть трансформатора под крышкой, заполненная инертным газом – азотом под небольшим избыточным давлением по отношению к трансформаторному маслу (азотная подушка) и выполняющая функцию демпфирующего и защитного (от окисления масла) устройств.

Для трансформаторов установлены условные обозначения, в которых последовательно (слева направо) приводится следующая информация:

- вид электротехнического устройства (без обозначения – трансформатор, А – автотрансформатор);
- число фаз (О – однофазный; Т – трехфазный);
- наличие расщепленной обмотки низшего напряжения – Р;
- условное обозначение вида охлаждения (С – сухие с естественным охлаждением, М – масляные и так далее);
- число обмоток (без обозначения – двухобмоточный, Т – трехобмоточный);
- наличие системы регулирования напряжения – Н;
- исполнение (З – защищенное, Г – грозоупорное, У – усовершенствованное, Л – с литой изоляцией, Ф – с усиленными фланцами);
- специфическая область применения (С – для систем собственных нужд электростанций, Ж – для электрификации железных дорог и тому подобное);
- номинальная мощность, кВА;
- класс напряжения обмотки высшего напряжения, кВ;
- климатическое исполнение;
- категория размещения.

Например: ТМФ-630/10 – трехфазный, двухобмоточный с естественным масляным охлаждением, с усиленным фланцем, мощностью 630 кВА, высшее напряжение – 10 кВ.

При выборе типов цеховых трансформаторов должны учитываться следующие факторы:

- место установки трансформаторов – если трансформаторы непосредственно в цехе, то необходимо применение их закрытого исполнения, с повышенной механической прочностью стенок и крышки бака трансформатора, без расширителя (ТМЗ, ТМФ и тому подобные);
- характеристика помещения по ПУЭ (нормальная, влажная, жаркая, пыльная, с агрессивной средой и так далее);
- категория помещений (подстанции, всего цеха или отдельных участков) по пожаро- и взрывоопасности;
- характер нагрузки – равномерная или резкопеременная;
- необходимость в регулировании напряжения – в течение смены (РПН) или сезонное (ПБВ);
- величина первичного и вторичного напряжений – соответственно источника питания и электроприемников;

– число типов и типоразмеров трансформаторов на одном предприятии должно быть минимально возможным /3/.

Наибольшее распространение для цеховых подстанций как для наружной установки, так и для внутренней установки получили трансформаторы типов: ТМ, ТМЗ, ТМФ с естественным масляным охлаждением (с учетом ограничений, приведенных в /2/).

Сухие трансформаторы целесообразно применять главным образом при небольшой мощности в диапазоне от 10 до 400 кВА и не более 630–1000 кВА, их предельная мощность – 2500 кВА. Их применяют, например, в административных зданиях и в других помещениях, где возможно большое скопление людей, а также на испытательных станциях, в лабораториях, в машинных залах и других пожароопасных помещениях.

Основными недостатками сухих трансформаторов считают следующие:

- они не терпят атмосферных и коммутационных перенапряжений;
- относительно большие габариты (по сравнению с ТМ);
- их стоимость выше, чем у масляных;
- повышенный шум по сравнению с масляными;
- область применения ограничивается предельно допустимыми значениями влажности помещений, где предполагается их установка (влажность не должна превышать 65 %), пыльностью (особенно токопроводящей), наличием агрессивных паров;
- низкая перегрузочная способность по сравнению с масляными трансформаторами.

Преимущества сухих трансформаторов:

- их можно устанавливать непосредственно в производственных и других помещениях, а также в подвалах и на любом этаже зданий, что определяет легкость и доступность ремонта;
- сухие трансформаторы небольшой мощности легко разместить в помещениях на колоннах, кронштейнах, балках, фермах, так как они не содержат охлаждающей жидкости и, следовательно, не требуют сооружения громоздких масло-сборных, маслоприемных устройств;
- применение их целесообразно, например, для питания освещения при системе раздельного питания силового и осветительного оборудования;
- сухие трансформаторы пожаробезопасны.

### **11.3 Выбор схемы соединения обмоток цеховых трансформаторов**

Трансформаторы цеховых ТП мощностью 400–2500 кВА выпускаются со схемами соединения обмоток «звезда–звезда» с допустимым током нулевого провода, равным 0,25 номинального тока трансформатора, или «треугольник–звезда» с нулевым выводом, рассчитанным на ток, равный 0,75 номинального тока трансформатора; мощностью до 250 кВА со схемой соединения «звезда–зигзаг с нулем», нулевой вывод которого рассчитан на 0,4 номинального тока. На многих



предприятиях наряду с трехфазными ЭП напряжением 380/220 В имеется большое количество однофазных электроприемников напряжением 220 В. Учитывая, что силовые однофазные трансформаторы изготавливаются только напряжением 10 МВА и выше, приходится однофазную нагрузку питать от стандартных трехфазных цеховых трансформаторов.

При питании однофазной нагрузки от трехфазных трансформаторов со схемой включения «звезда–звезда» следует иметь в виду, что величина мощности при этом лимитируется тем, что значение тока в любой фазе не должно превосходить номинального значения, а нейтральный вывод трансформатора не должен загружаться более 25 % номинального тока фаз. Например, трансформатор ТМ–1000/10 при схеме соединения «звезда–звезда» может быть загружен однофазной нагрузкой, включенной на фазное напряжение 220 В (фаза–нуль) всего лишь на:

$$1000/3 \cdot 0.25 = 83 \text{ кВА} .$$

Такая пониженная пропускная способность трансформаторов со схемой соединения «звезда–звезда» создает большие затруднения при питании несимметричной силовой нагрузки, а также при питании осветительной нагрузки, особенно с газоразрядными лампами, в сетях которых сечение нулевого провода должно быть равно сечению фазного (иногда и больше) вследствие прохождения через него высших гармоник.

Кроме указанного недостатка (пониженная пропускная способность при однофазной нагрузке), трансформаторы со схемой соединения «звезда–звезда» имеют повышенные, по сравнению с другими, значения сопротивления нулевой последовательности, что приводит к занижению уровня токов короткого замыкания. С другой стороны, известно, что для успешной защиты обслуживающего персонала при замыкании одной из фаз на корпус того или иного оборудования необходимо его надежное отключение, то есть необходима достаточная величина тока однофазного короткого замыкания,  $I_{к(1)}$ . Причиной небольших токов «звезда–звезда» однофазного короткого замыкания является то, что при замыканиях между фазой и нулевым проводом, схема соединения обмоток «звезда–звезда» создает неблагоприятные условия прохождения токов нулевой последовательности.

Токи нулевой последовательности в первичной обмотке трансформатора соединенной звездой отсутствуют, а во вторичной обмотке они создают магнитные потоки,  $\Phi_0$ , которые в каждое мгновение во всех трех стержнях направлены в одну сторону, вследствие чего вынуждены замыкаться через изолирующую среду – слой масла, стенки бака и стяжные болты. В результате такого пути магнитного потока сопротивление нулевой последовательности трансформатора резко возрастает (примерно в десятикратном размере), кроме того, сам бак и остальные элементы, по которым протекает ток нулевой последовательности, нагреваются. Учитывая сказанное, а также в тех случаях, когда среди подключенных токоприемников имеется однофазная нагрузка, включаемая на линейное или фаз-

ное напряжение, создающая неравномерную загрузку по фазам (более 15 %), а также если уровень токов однофазного короткого замыкания оказывается недостаточным для обеспечения нормируемого коэффициента чувствительности (надежности действия защитных устройств – предохранителей, автоматов), следует однозначно применять трансформаторы со схемой соединения «треугольник–звезда с нулем», если  $S_{\text{мт}} \geq 400$  кВА и со схемой «звезда–зигзаг с нулем», если  $S_{\text{мт}}$  внутрицеховые;

- встроенные;
- пристроенные;
- отдельностоящие.

Внутрицеховые ТП имеют все стены или легкие ограждения, выходящие в цех. Они могут сооружаться только в помещениях с производствами Г и Д, I и II степени огнестойкости по противопожарным требованиям.

Внутрицеховые ТП бывают одно- и двухтрансформаторными рис. 6, ТП могут размещаться в отдельных помещениях или открыто (с легкими ограждениями) в цехе, как правило, в мертвой зоне грузоподъемных машин для исключения случайных ударов. Все комплектные ТП внутренней установки состоят из:

- вводного устройства высокого напряжения (6–10 кВ);
- силового трансформатора (6–10/0,4 кВ);
- распределительного устройства низкого напряжения (0,4/0,23);
- низковольтного шкафа отходящих линий;
- шкафа секционного низкого напряжения;
- шинных коробов;
- ограждения подстанции.

Для основных типов масляных трансформаторов внутрицеховых подстанций должны предусматриваться бетонированные маслосборные ямы (маслоприемники) на полный объем масла без его отвода. Маслосборные ямы перекрываются решеткой со слоем гравия – 250 мм, фракцией 30–40 мм, при этом уровень полного объема масла не должен доходить до решетки на 50 мм.

У встроенных цеховых подстанций одна из стен совпадает со стеной цеха, а сама подстанция размещается на площади цеха.

Встроенные подстанции позволяют более удачно решить архитектурное оформление здания, однако расположение подстанции на площади цеха не всегда возможно по условиям размещения технологического оборудования. Следует иметь в виду, что там, где это возможно, предпочтение должно отдаваться наружной установке трансформаторов. При этом удешевляется строительная часть, улучшаются условия охлаждения трансформаторов, увеличивается срок службы, уменьшаются потери и увеличивается перегрузочная способность.



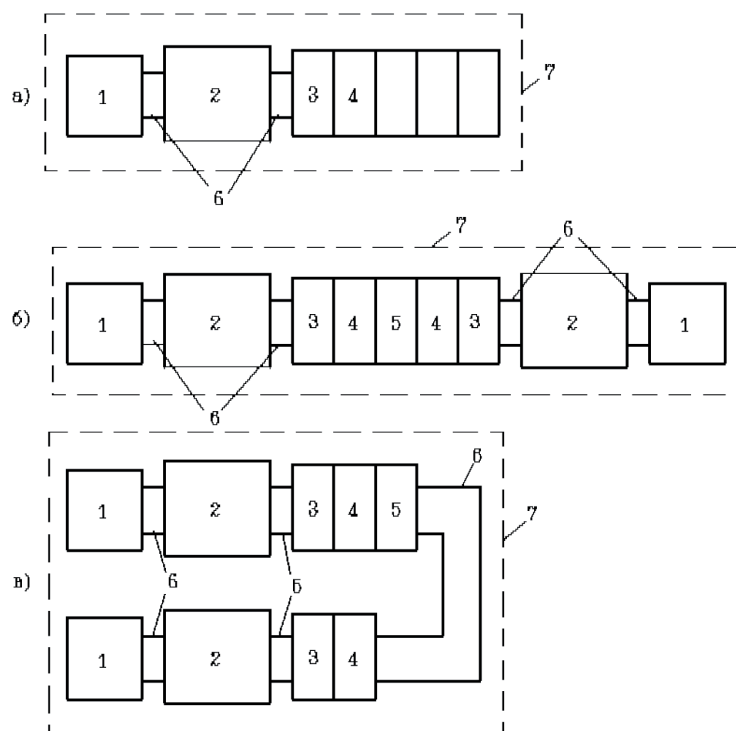


Рисунок 6 – Компоновки комплектных ТП с одним и двумя трансформаторами

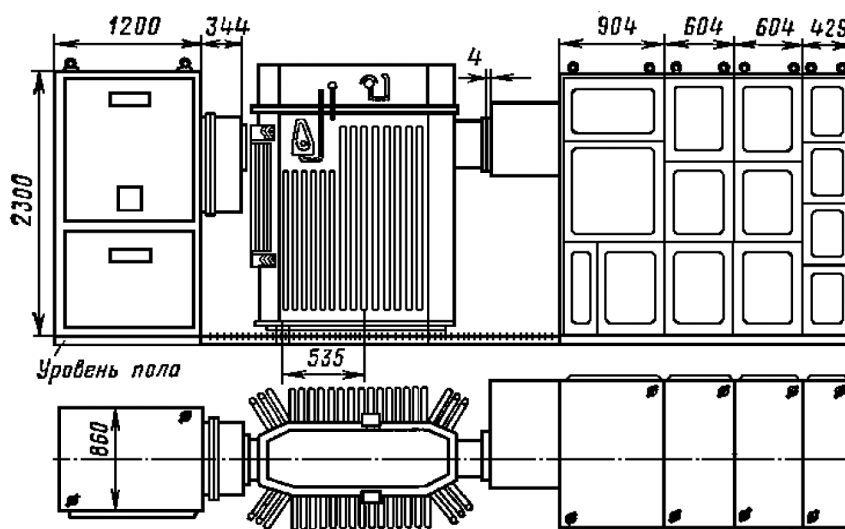


Рисунок 7 – Габаритные и установочные размеры КТП

У пристроенных цеховых подстанций одна из стен совпадает со стеной цеха, но сама подстанция располагается вне цеха.

Пристроенные подстанции, удовлетворяя требованиям экономики, часто вызывают возражения архитекторов и строителей, поскольку ухудшают внешний вид здания.

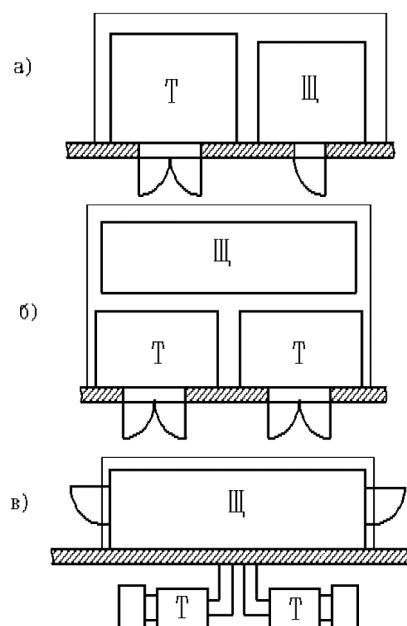


Рисунок 8 – Компоновки встроенных цеховых подстанций:

- а) однотрансформаторные с внутренней установкой трансформатора;
- б) двухтрансформаторная с внутренней установкой трансформатора;
- в) двухтрансформаторная с наружной установкой трансформатора

Отдельностоящие цеховые подстанции в настоящее время применяются относительно редко, например, для питания от одной подстанции нескольких мелких цехов, разбросанных по территории небольшого предприятия; при наличии в цехах агрессивных сред, пожароопасных производств; при невозможности применения пристроенных подстанций по соображениям производственного или архитектурного характера.

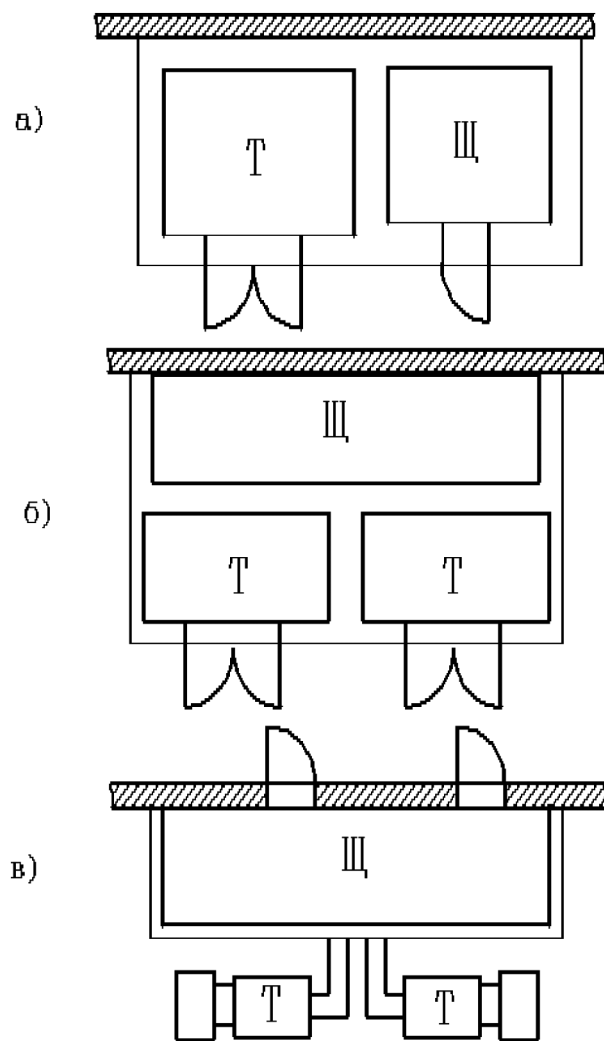


Рисунок 9 – Компоновки пристроенных трансформаторных подстанций:

- а) однитрансформаторные с внутренней установкой трансформатора;
- б) двухтрансформаторная с внутренней установкой трансформатора;
- в) двухтрансформаторная с наружной установкой трансформатора

### 11.5 Выбор схемы подключения трансформаторов на цеховых трансформаторных подстанций

Ввод ВН на ТП осуществляется от радиальных или магистральных линий. В первом случае в конце линий не требуются коммутационные аппараты и линии наглухо соединяют с зажимами ВН трансформатора (рис. 10а). Все коммутационные аппараты и защитные устройства блока «линия–трансформатор» находятся в начале линии (например, на ГПП предприятия). Для удобства проведения ремонтных работ и профилактических испытаний кабельных линий могут предусматриваться разъединители между кабелем и трансформатором (рис. 10б). Могут также применяться и специальные концевые разъемы кабеля, позволяющие удобно присоединить кабель к зажимам трансформатора при помощи полностью изолированных штепсельных разъемов (рис. 10в).

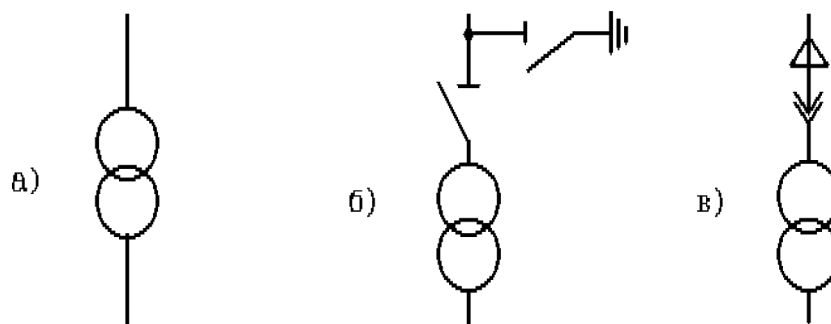


Рисунок 10 – Схемы ввода радиальной линии ВН в цеховую ТП:

а) глухое присоединение линии к трансформатору;

б) применение разъединителя;

в) применение штепсельного кабельного разъема

В случае подвода к подстанции магистральных линий в присоединении к трансформатору предусматривают защитные и коммутационные аппараты. Некоторые схемы подвода магистральной линии приведены на рисунке 10. Наиболее дешевым вариантом является применение в цепи трансформатора разъединителей с плавкими предохранителями (рис. 11). Эта схема применяется в следующих случаях:

- ток нагрузки трансформатора отключается аппаратами НН;
- разъединитель ВН способен отключить ток холостого хода трансформатора (в соответствии с требованиями ПУЭ /2/);
- номенклатура плавких предохранителей позволяет выбрать подходящие по номинальному току трансформатора предохранители с требуемой отключающей способностью токов короткого замыкания;
- у трансформатора не применяются защиты, требующие в цепи ВН выключателя;
- включение и отключение трансформатора производится относительно редко (например, не более нескольких раз в месяц);
- не требуется дистанционное управление или телеуправление подстанцией.

Когда требуется отключение тока нагрузки со стороны ВН, вместо разъединителя применяют выключатель нагрузки (рис. 11 г, д). В случае частых (например, ежедневных) коммутаций в цепи трансформатора, а также при необходимости применения сложных защит со стороны ВН трансформатора предусматривают выключатель ВН (рис. 11е).

Схемы, изображенные на рисунке 11а – г и содержащие относительно простые по конструкции аппараты и узлы, не требуют применения отдельных помещений или отсеков для размещения аппаратуры ВН (то есть РУ ВН). В случае применения выключателя ВН (рис. 11е) в составе подстанции, особенно при питании от кабельной магистральной линии (рис. 11,б), используют простейшие РУ ВН.

Вводное устройство высокого напряжения представляет собой металлический шкаф, укрепленный на базе силового трансформатора (ВВ–1) или стоящий рядом

с трансформатором (ВВ–2), в котором монтируется выключатель нагрузки или разъединитель с предохранителем и т.п. (см. схемы заполнения /8/).

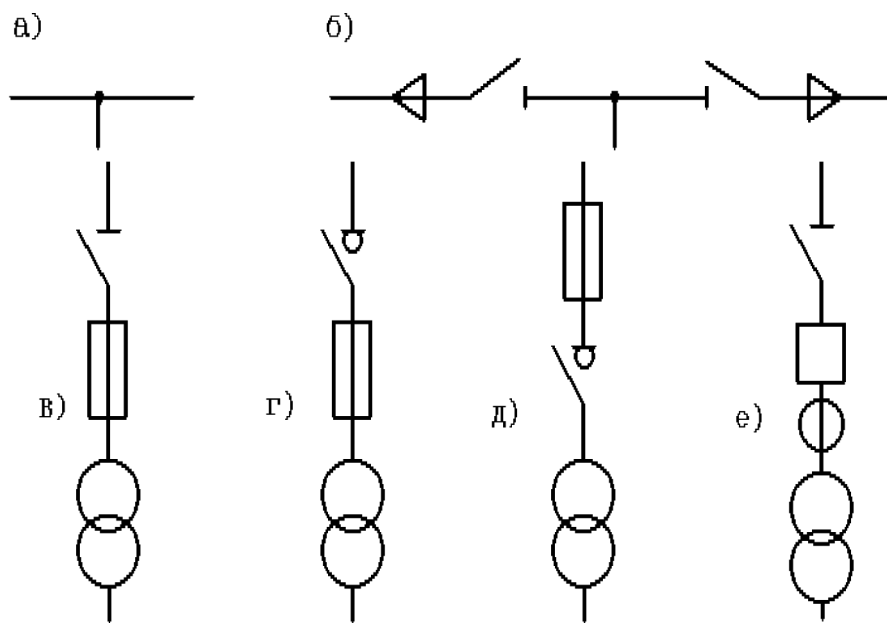


Рисунок 11 – Схемы питания цеховых ТП от магистральных линий:

- а) питание от шинпровода ВН;
- б) питание от кабельных линий;
- в) применение разъединителя и плавкого предохранителя в цепи трансформатора;
- г) применение выключателя нагрузки;
- е) применение выключателя ВН.

Распределительное устройство низкого напряжения (РУ НН) состоит из набора металлических шкафов с коммутационной и защитной аппаратурой, ошиновкой и проводами.

В зависимости от завода-изготовителя и типа основных элементов КТП (вводное устройство ВН, трансформатор, РУ НН) при проектировании производится выбор наиболее рациональных устройств применительно к конкретным условиям.

## 11.6 Выбор контрольно-измерительных приборов и приборов защиты

Виды защитных устройств на трансформаторе будут зависеть от типа, мощности и способа подключения его к сети.

При глухом подключении трансформатора устройства защиты от повреждений трансформатора будут установлены у источника питания, т.е. в голове радиальной или магистральной питающей линии.

Непосредственно на трансформаторе в этом случае от внутренних повреждений предусматривается газовая защита или реле давления с действием на сигнал или на отключение выключателя головного участка по контрольному кабелю при небольших расстояниях до последнего.

Для контроля за температурой верхних слоев трансформаторного масла предусматривается термосигнализатор контактный типа ТС-100, КТ-1 и др.

Для контроля за уровнем масла в баке трансформатора предусматривается маслоуказатель.

Для контроля за герметичностью трансформаторов без расширителей (ТМЗ, ТМФ и другие) предусматриваются электроконтактные мановакуумметры.

Для контроля за нагрузкой трансформатора с низкой стороны предусматриваются амперметры, включаемые во все три фазы, или один амперметр со специальным переключателем, обеспечивающим замер тока в любой из фаз и нуле.

Для контроля за уровнем напряжения на шинах с низкой стороны трансформатора устанавливают, как правило, один вольтметр с переключателем, позволяющий замерить любое из фазных и линейных напряжений.

Для низковольтной сети (как правило 660 В), работающей с изолированной нейтралью, кроме вольтметра с переключателем для замера линейных напряжений, могут предусматриваться три вольтметра, включаемые на фазные напряжения, которые будут выполнять функцию контроля изоляции.

Для учета активной и реактивной энергии на вводе НН трансформатора предусматривают по одному трехфазному активному и реактивному счетчику.

Все перечисленные контрольно-измерительные приборы и приборы учета монтируются в отсеке приборов шкафа ввода низкого напряжения.

При подключении трансформаторов цеховых подстанций через разъединители с предохранителями, или выключатели нагрузки с предохранителями, все повреждения в трансформаторах будут локализоваться последними, а защита на головном участке будет выполнять функции резервной защиты по отношению к ним.

Коммутирующие (разъединитель, выключатель нагрузки) и защитные устройства (предохранители) трансформаторов устанавливаются во вводных устройствах высокого напряжения.

Для обеспечения бесперебойности электроснабжения потребителей I и наиболее ответственных II категории на двухтрансформаторных подстанциях должен предусматриваться автоматический ввод резерва (АВР) на секционном выключателе (автомате).

Вся вспомогательная аппаратура АВР (РВ – реле времени; РН – реле напряжений) монтируется в отсеке приборов секционного шкафа низкого напряжения при комплектной ТП.

Принципиальная схема подстанции и приборы КИП и автоматики показаны на рисунке 12.

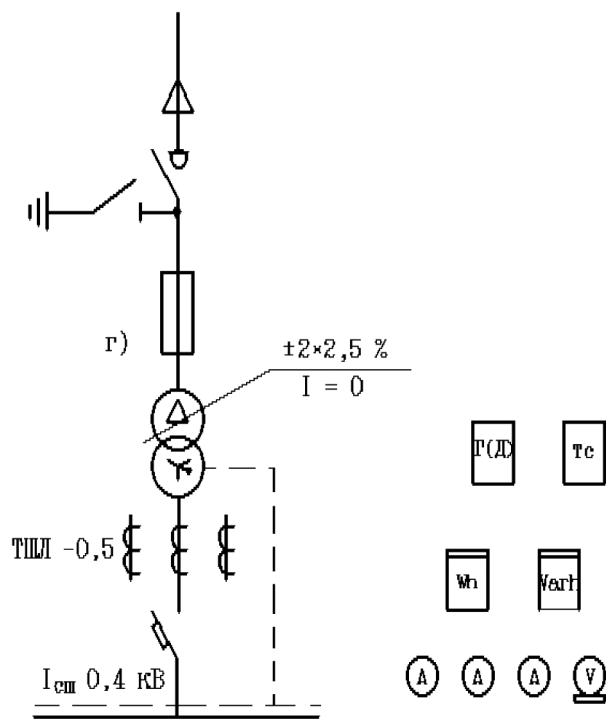


Рисунок 12 – Принципиальная однолинейная схема цеховой ТП



## Литература

1. ГОСТ 14209-85 Трансформаторы масляные общего назначения. – Москва, 1987.
2. Нормы технологического проектирования электроснабжения промышленных предприятий. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1994.
3. Правила устройства электроустановок. Минэнерго СССР. – 7-е издание переработанное и дополненное. – М.: Энергоатомиздат, 2011.
4. Справочная книга для проектирования электрического освещения/ под ред. Г.М. Кнорринга. – Л.: Энергия, 1992.
5. Справочник по проектированию электроснабжения / под редакцией Ю.Г. Барыбина, Л.Е. Федорова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
6. Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий. РТМ36.18.32.6-92. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992.
7. Указания по расчету электрических нагрузок. РТМ 36.18.32.4-92. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1993.
8. Электротехнический справочник. Т. 3, книга 1, 2 / под ред. Н.Н. Орлова. – М.: 1988.
9. Епанешников, М.М. Электрическое освещение/ М.М. Епанешников. – М.: Энергия, 1973. – 352с.
10. Жохов, Б.Д. Анализ причин завышения расчетных нагрузок и возможность их коррекции/ Б.Д. Жохов. – «Промышленная энергетика». – 1989. – № 7. – С.7 – 9.
11. Киреева, Э.А. Автоматизация и экономия электроэнергии в системах промышленного электроснабжения/ Э.А. Киреева, Т. Юнес, М. Айюби. – М.: Энергоатомиздат 1998. – 425 с.7.
12. Кудрин, Е.И. Электроснабжение промышленных предприятий/ Е.И. Кудрин. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 416 с.
13. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования/ Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 656с.
14. Ристхейн, Э.М. Электроснабжение промышленных установок/ Э.М. Ристхейн. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 424 с.
15. Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования/ А.А. Федоров, Л.Е. Старкова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 358с.
16. Фролов, Ю.М. Основы электроснабжения [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – СПб: ЭБС «Лань», 2012.

## Приложение А

### Характеристики светильников различных типов

Таблица А1 – Технические данные светильников для производственных помещений с лампами накаливания

Тип светильника	Тип лампы	Класс светораспределения	Тип КСС	КПД, %	Защитный угол, град.	Степень защиты	Климатическое исполнение	Группа условий эксплуатации	Габаритные размеры, мм	Масса, кг						
НППОЗ-100-001М	Б220-230-100	П	Д	75	90	IP64	УЗ, ТЗ	М1	290×265×155	2,7						
НПП05-100-001	Б215-225-100		М	75		IP55	УХЛ2		324×135×160	2,4						
НПП05-100-002				72					324×150×160	2,5						
НСП02-100		Р		70		IP51	УЗ, ХЛ2, ТЗ		Ø155×262	2,5						
НСПОЗ-60-01	Б215-225-60			75		IP54	УЗ		Ø110×334	1,1						
НСПОЗ-60-02				65												
НСП11-100-231	Б215-225-100	П	Д	65	15	IP62	УЗ, ХЛЗ, ТЗ		Ø305×320	2,8						
НСП11-100-331									Ø305×332							
НСП11-100-431									Ø305×345							
НСП11-200-231	Б215-225-200	П	Д	65	15				IP62	УЗ, ХЛЗ, ТЗ	Ø410×350	5,1				
НСП11-200-331											Ø410×362					
НСП11-200-431											Ø410×375					
НСП11-100-234	Б215-225-100	Р	М	75	90						IP62	УЗ, ХЛЗ, ТЗ	Ø200×330	2,1		
НСП11-100-334													Ø200×345			
НСП11-100-434													Ø200×355			
НСП11-200-234	Б215-225-200	Р	М	75	90								IP62	УЗ, ХЛЗ, ТЗ	Ø230×365	3,2
НСП11-200-334															Ø230×380	
НСП11-200-434															Ø230×390	
НСП17-200-003(103)	Г220-230-200	П	Л	80	15	IP20, 5'0	УЗ, ХЛЗ, ТЗ	М1							Ø284×336	1, 2
НСП17-500-003(103)	Г220-230-500														Ø321×404	1, 4

Окончание таблицы А1

Тип светильника	Тип лампы	Класс светораспределения	Тип КСС	КПД, %	Защитный угол, град.	Степень защиты	Климатическое исполнение	Группа условий эксплуатации	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
НСП17-500-004(104)			Г						Ø408×400	1, 7
НСП17-1000-004(104)	Г220-230-1000								Ø478×514	2, 3
НСП17-1000-005(105)			К						Ø548×483	2, 0
НСП21-100-001			Б215-225-100			Д			5'3	У3, Т3
НСП21-100-002			Кососвет		30	5'0			Ø210×380	1, 3
НСП21-200-003	Б215-225-200		Д	82	15	5'3			Ø316×340	2, 2
НСП21-200-004			Кососвет	80	30*	5'0			Ø280×420	2. 2
НСП21-200-005			Г	65		5'3			Ø310×400	3, 8
НСП22-500-111	Г215-225-500	Н	К	65	15	IP60	У2, ХЛЗ, Т3		Ø445×480	9, 5
НСП22-500-121				70		5'0			Ø410×420	4, 1
НСР01-100	Б220-230-100	Р	М	80	90	IP54	05, Т5, ХЛ1		Ø180×270	2, 5
НСР01-200	Б220-230-200			77					Ø240×305	3, 7
ИСП04-1000	КГ220-1000-5	П	К	55	45		УХЛ4	М3	700×360×630	21, 0

\* Угол наклона оси симметрии светильника к вертикали

Таблица А2 – Технические данные светильников для производственных помещений с люминесцентными лампами

Тип светильника	Тип лампы	Класс светорас- преде- ления	Тип КСС	КПД,%	Защит- ный угол, град.	Степень защиты	Клима- тическое исполне- ние	Группа условий эксплуа- тации	Габаритные раз- меры, мм	Масса, кг			
ЛВП04-4×65-001	ЛБ65	П		51	90	1P54	УХЛ4, О4	М1	1630×545×405	25,0			
ЛВП05-4×65-001				52		1P20			1630×545×135	19,0			
ЛВП05-4×65-ОП2				55	90					1P54	1630×545×410 1560×545×425 1560×545×403	17,5	
ЛВПО54×65-003				60		15			1P20			1234×280×159	18,5
ЛВП06-5×65-001				52	М2					1534×280×159	21,4		
ЛВП06-5×65-002				46							1534×280×159		23,4
ЛВП06-5×65-003				51									1534×280×159
ЛСП02-2×40-01-03	Н	Д	15	1P20		М2	1534×280×159	5,5					
ЛСП02-2×40-04-06	П				70			7,0					
ЛСП02-2×40-07-09	Н				70			7,0					
ЛСП02-2×40-10-12	П				60			8,0					
ЛСП02-2×40-13-15	Н				65			6,0					
ЛСП02-2×40-16-18	П				60			7,5					
ЛСП02-2×40-19-21	Н				70			6,0					
ЛСП02-2×65-01-03	ЛБ65	Н		75					1534×280×159	9,0			
ЛСП02-2×65-04-06		П		70						9,0			
ЛСП02-2×65-07-09		Н		70						10,0			
ЛСП02-2×65-10-12		П		60									
ЛСП02-2×65-13-15		Н		65									
ЛСП02-2×65-16-18		П		60									
ЛСП02-2×65-19-21		Н		65									
ЛСП13-2×65-001	ЛБ65	П	Л	75	15	1P20	У4	М1	1546×480×154	15,5			
ЛСП13-2×40-001	ЛБ40			70					30	1246×480×154	12,0		
ЛСП13-2×65-002	ЛБ65				1546×480×154					16,0			
ЛСП13-2×40-002	ЛБ40			1246×480×154	12,5								

Продолжение таблицы А2

Тип светильника	Тип лампы	Класс светораспределения	Тип КСС	КПД,%	Защитный угол, град.	Степень защиты	Климатическое исполнение	Группа условий эксплуатации	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	
ЛСП13-2×65-003	ЛБ65	П	Г	70	15	1Р20	У4	М1	1546×480×156	15,0	
ЛСП13-2×40-003	ЛБ40								1246×480×156	11,5	
ЛСП13-2×65-004	ЛБ65			75	30				1546×480×156	14,0	
ЛСП13-2×40-004	ЛБ40								1246×480×156	10,5	
ЛСП13-2×65-005	ЛБ65		Специальная	70	15				1546×480×150	15,5	
ЛСП13-2×40-005	ЛБ40								1246×480×150	12,0	
ЛСП13-2×65-006	ЛБ65			65	30				1546×480×150	16,0	
ЛСП13-2×40-006	ЛБ40								1546×480×150	12,5	
ЛСП18-40	ЛБР40	Н	М	88	15	5°4	УХЛ4, О4		1330×65×165	4,3	
ЛСП18-65	ЛБР65			85					1330×65×165	5,4	
ЛСП18-2×65	ЛБР65					1610×160×173			7,7		
ЛСП18-18	ЛБ18	М				750×75×180			5,3		
ЛСП18-36	ЛБ36		75	-	1Р65	1630×75×180			5,4		
ЛСП18-58	ЛБ58					1630×75×180			6,5		
ЛСП18-18	ЛБ18	П	Д	70	15	5°4				720×152×204	4,2
ЛСП18-36	ЛБ36									1330×152×204	6,3
ЛСП18-58	ЛБ58									1630×152×204	6,3
ЛСП18-2×18	ЛБ18									720×270×204	5,3
ЛСП18-2×36	ЛБ36									1330×270×204	7,7
ЛСП18-2×58	ЛБ58									1630×270×204	9,4
ЛСП18-2×18	ЛБ18	Р	Специальная	70	-	1Р65	УХЛ4, О4	М1	710×240×126	4,8	
ЛСП18-2×36	ЛБ36								1320×240×126	7,0	
ЛСП18-2×58	ЛБ58								1620×240×126	8,5	
ЛСП22-2×65–001	ЛБР65	Н	Д	85		5°0				1625×148×170	9,2

Продолжение таблицы А2

Тип светильника	Тип лампы	Класс светораспределения	Тип КСС	КПД, %	Защитный угол, град.	Степень защиты	Климатическое исполнение	Группа условий эксплуатации	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ЛСП22-2×65–002	ЛБР65	Н	Д	85	-	5'0	УХЛ4, О4	М1	170	9,1
ЛСП22-2×65–101	ЛБ65	П		70	90	5'3			1625×280×215	11,5
ЛСП22-2×65–102										11,4
ЛСП22-2×65–201		Н		75	5'0	11,0				
ЛСП22-2×65–202						10,9				
ЛСП22-2×65–111		П		65	15	5'3				13,1
ЛСП22-2×65–112										13,0
ЛСП22-2×65–211		Н		70	15	5'0				12,0
ЛСП22-2×65–212	ЛБ65	Н		70						1625×280×215
ПВЛМ-2×40–01	ЛБР40	Н		85	-	5'0		М2		1325×148×160
ПВЛМ-ДО-2×40–01										
ПВЛМ-2×40–02	ЛБ10			75	15*				1325×276×215	9,7
ПВЛМ-ДО-2×40–02										

Таблица А3 – Технические данные светильников для производственных помещений с лампами типа ДРЛ

Тип светильника	Тип лампы	Класс светораспределения	Тип КСС	КПД, %	Защитный угол, град.	Степень защиты	Климатическое исполнение	Группа условий эксплуатации	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	
РПП01-50	ДРЛ50	П	Д	65	90	IP54	УЗ	М1	385×340×200	7,5	
РПП01-80	ДРЛ80			60							
РПП01-125	ДРЛ125			70		IP20	УХЛ4, О4	М2	Ø398×440	2,1	
РСП05-250	ДРЛ250								Ø492×535	2,3	
РСП05-400	ДРЛ400								Ø542×565	3,3	
РСП05-700	ДРЛ700								Ø614×590	3,5	
РСП05-1000	ДРЛ1000										
РСП08-250Д	ДРЛ250		Г	75	15	IP20, 5'3	УЗ, ТЗ	М1	Ø400×480	8,0	
РСП08-250Г				80					Ø350×500		
РСП08-250Л				80		IP20, 5'0 IP60			Ø600×650		11,5
РСП 12-700-001	ДРЛ700		М	60		5'4				Ø440×527	2,7
РСП13-400-001	ДРЛ400		Д	71						Ø590×600	3,6
РСП 13-400-002			Г	76						Ø590×615	3,9
РСП 13-700-001	ДРЛ700		Д	71						Ø590×645	4,5
РСП 13-700-002			Г	76						Ø590×614	4,0
РСП 13-700-003			К	76						Ø590×630	4,3
РСП13-1000-001	ДРЛ1000		Д	71						Ø590×645	4,5
РСП 13-1000-002			Г	76						1330×610×595	41,5
РСП 13-1000-003			К	76		1290×565×575			33,5		
РСП14-2-700-011	ДРЛ700		Д	60		IP60			1330×610×595	41,5	
РСП14-2-700-012				70		5'0			1290×565×575	33,5	
РСП 14-2-700-021			Г	70		IP60			1330×610×595	41,5	
РСП 14-2-700-022				75		5'0			1290×565×575	33,5	
РСП18-250-001	ДРЛ250	П	Д	70	15	IP20	УЗ, ТЗ	М1	Ø435×420	1,85	
РСП18-250-002			Г	75					Ø435×420	1,85	
РСП18-250-003			К	75					Ø435×450	1,90	
РСП18-400-001	ДРЛ400		Д	70					Ø435×475	1,70	
РСП18-400-002			Г	75					Ø435×420	1,70	
РСП18-400-003			К	75					Ø585×550	2,55	
РСП18-700-001	ДРЛ700		Д	70						Ø585×550	2,70



Подолжение таблицы А3

Тип светильника	Тип лампы	Класс светораспределения	Тип КСС	КПД, %	Защитный угол, град.	Степень защиты	Климатическое исполнение	Группа условий эксплуатации	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	
РСП18-700-002	ДРЛ700		Г	75			УЗ, ТЗ	М1	Ø435×475	2,70	
РСП18-003			К	75					Ø585×565	2,85	
РСП18-1000-001	ДРЛ1000		Д	70					Ø585×575	3,00	
РСП18-1000-002			Г	75					Ø585×575	3,00	
РСП18-1000-003			К	75					Ø585×605	3,10	
РСП21-125(80)-X11	ДРЛ125 (ДРЛ80)		Д	60	65	-	IP53		УХЛЗ, ТЗ	Ø365×375	6,2
РСП21-125(80)-X21				-		5'3	Ø345×320			5,0	
РСП21-125(80)-X31						5'0	Ø345×340			5,0	
РСП21-125(80)-X41						IP25	Ø345×340			5,0	
РСП21-125(80)-X32			Специальная		5'0	Ø345×405	4,9				
РСП21-125(80)-X52					IP20	Ø345×405	4,9				
РСП25-80	ДРЛ80		Д	60	15	IP54	УХЛ4, О4		Ø476×490	14,5	
РСП25-125	ДРЛ125		Специальная	80					Ø476×490	14,5	
РСП25-250	ДРЛ250								Ø516×530	15,5	
РСП26-125-001	ДРЛ125		Д	70	-	5'1	У5		Ø193×350	4,0	

Таблица А4 – Технические данные светильников для производственных помещений с лампами типа ДРИ

Тип светильника	Тип лампы	Класс светораспределения	Тип КСС	КПД, %	Защитный угол, град.	Степень защиты	Климатическое исполнение	Группа условий эксплуатации	Коэффициент мощности	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ГПП01-125	ДРИ 125	П	Д	60	90*	IP54	У3	М1	0,50	385×340 ×200	8,5
ГСП15-400-101	ДРИ 400-5		Г	75	15	IP60	У3, Т3		-	Ø570×540	7,4
ГСП15-400-102				70		5°0				Ø590×570	10,5
ГСП17-700-014	ДРИ 700-5			75		IP20, 5°0			0,32	Ø520×580	4,2
ГСП17-700-114										Ø520×687	
ГСП17-700-024										Ø610×600	-
ГСП17-700-124											
ГСП-700-015			Ø610×657								
ГСП17-700-115											
ГСП17-700-025											
ГСП17-700-125											
ГСП17-2000-014	ДРИ 2000-6		Г		IP20	У3, Т3	0,53		Ø660×670	5,0	
ГСП17-2000-024									Ø666×727		
ГСП17-2000-015									Ø745×670	5,6	
ГСП17-2000-025									Ø745×727		
ГСП18-250-004	ДРИ 250-5		Д	70			0,32		Ø440×350	1,8	
ГСП18-250-005			Г	75					Ø440×370		
ГСП18-250-006			К	75					Ø440×370		
ГСП18-400-004	ДРИ 400-5		Д	70					Ø440×370	2,0	
ГСП18-400-005			Г	75		Ø440×400					
ГСП18-400-006			К	75		Ø440×400					
ГСП18-700-004	ДРИ 700-5		Д	70		Ø560×565			2,7		
ГСП18-700-005			Г	75							Ø560×565
ГСП18-700-006			К	75						Ø560×575	

\* Условный защитный угол

## Приложение Б

### Нормируемые значения освещенности и коэффициенты запаса

Таблица Б1 – Нормируемые значения освещенности при искусственном освещении производственных помещений

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Фон	Освещенность, лк	
						при комбинированном освещении	при общем освещении
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	Малый	Темный	5000*	-
			б	Малый Средний	Средний Темный	4000*	1250
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2500*	750
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	1500	400
Очень высокой точности	Свыше 0,15 до 0,3	II	а	Малый	Темный	4000*	-
			б	Малый Средний	Средний Темный	3000*	750
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2000*	500
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	1000	300
Высокой точности	Свыше 0,3 до 0,5	III	а	Малый	Темный	2000	500
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000	300
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750	300
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	400	200
Средней точности	Свыше 0,5 до 1	IV	а	Малый	Темный	750	300
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	300	150
Малой точности	Свыше 1 до 5	V	а	Малый	Темный	3000	200
			б	Малый Средний	Средний Темный	200	150
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	-	150

*Продолжение таблицы Б1*

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Фон	Освещенность, лк	
						при комбинированном освещении	при общем освещении
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	-	100
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI	-	Независимо от фона и контраста объекта с фоном		-	150
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII	-			-	200
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное	-	VIII	а			-	75
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении			б			-	50
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении			в			-	30
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями			г		-	-	20

\* Для зрительных работ с трехмерными объектами различения при проектировании местного освещения освещенность следует снижать на одну ступень шкалы освещенностей.

Примечания. 1. Наименьшие размеры объекта различения и соответствующие им разряды зрительной работы установлены при расположении объектов различения на расстоянии не более 0,5 м от глаз работающего. При увеличении этого расстояния разряд зрительной работы следует скорректировать.

2. Освещенность при использовании ламп накаливания следует снижать по шкале освещенности:

а) на одну ступень при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 750 лк и более;

б) на одну ступень при системе общего освещения для разрядов I–V, VII, при этом освещенность от ламп накаливания не должна превышать 300 лк;

в) на две ступени при системе общего освещения для разрядов VI и VIII.

3. Освещенность для системы комбинированного освещения является суммой освещенности от общего и местного освещения.

4. Освещенность при работах со светящимися объектами размеров 0,5 мм и менее следует выбирать в соответствии с размером объекта различения и относить их к подразделу «в».

Таблица Б2 – Нормы освещенности некоторых помещений и производственных участков

Помещения и производственные участки	Плоскость нормирования освещенности и ее высота над полом, м	Разряд зрительной работы	Освещенность, лк	
			при комбиниро- ванном освещении	при общем освещении
Предприятия по обслуживанию автомобилей				
1. Мойка и уборка автомобилей	Пол	VI	—	150
2. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей	Пол	Va	300	200
3. Ежедневное обслуживание автомобилей	В; на машине	VIIIa	—	75
4. Смотровые канавы	Г; низ машины	VI	—	150*
5. Отделения: моторное, агрегатное, механическое, электротехническое и приборов питания	Г, 0, 8	IVa	750	300
6. Кузнечное, сварочно-жестяницкое и медницкое отделения	Г; 0, 8	IVб	500	200
7. Столярное и обойное отделения	Г; 0, 8	Va	300	200
8. Ремонт и монтаж шин	Г; 0, 8	Va	300	200
9. Помещения для хранения автомобилей	Пол	VIIIб	—	20**
10. Открытые площадки для хранения автомобилей	Пол	—	—	5
Склады				
11. Склады громоздких предметов и сыпучих материалов (песка, леса, цемента и т. п.)	Пол	—	—	20**
12. Материальные, инструментальные и прочие склады	Пол	VIIIa	—	75
13. Склады емкостей химических и легковоспламеняющихся жидкостей (кислот, щелочей, лаков, красок и т. п.):				
а) с розливом на складе	Пол	VIIIa	—	30**
б) без розлива на складе	Пол	VIIIб	—	20**
Котельные				
14. Помещения котлов:			—	
а) площадки обслуживания котлов	В; на топках, питателях	VI	—	100***
б) площадки и лестницы котлов и экономайзеров. проходы за котлами	Пол	-	—	10**

Продолжение таблицы Б2

Помещения и производственные участки	Плоскость нормирования освещенности и ее высота над полом, м	Разряд зрительной работы	Освещенность, лк	
			при комбинированном освещении	при общем освещении
15. Помещения дымососов, вентиляторов, бункерное отделение	Г; 0,8	VI		100***
16. Конденсационная, химводоочистка, деаэрационная, бойлерная	Пол	VI		100***
17. Помещения топливоподачи	Г; 0,8	VI		100***
18. Надбункерное помещение	Г; 0,8	VIIIб		20**
Электропомещения				
19. Камеры трансформаторов и реакторов	В; 1,5	VI	-	50*
20. Помещения распределительных устройств:				
а) на фасаде щита при постоянном обслуживании	В; 1,5; на панели	IVг	-	150*
б) то же, при периодическом обслуживании	В; 1,5; на панели	IVг		100*; 100**
в) задняя сторона щита	То же	VI		100*; 100***
21. Помещения статических конденсаторов	В; на конденсаторах	IVг		100***
22. Помещения для аккумуляторов	Г; 0,5	VI		50***
23. Ремонт аккумуляторов	Г; 0,8	IVб	500	200
24. Электрощитовые в жилых и общественных зданиях	В; 1,5	VI		50*; 50**; 50***
Помещения для электрокар и электропогрузчиков				
25. Помещения для стоянки и зарядки	Пол	VI		50**; 50***
26. Ремонт электрокар и электропогрузчиков	Пол	IVб	500	200*
27. Электролитная и дистилляторная	Г; 0,8	VI		150
Помещения инженерных сетей и прочие технические помещения				
28. Помещения для вентиляционного оборудования (кроме кондиционеров)	Г; 0,8	VIIIб		20*; 20**
29. Помещения для кондиционеров, насосов, тепловые пункты	Г; 0,8	VIIIа		75*

Продолжение таблицы Б2

Помещения и производственные участки	Плоскость нормирования освещенности и ее высота над полом, м	Разряд зрительной работы	Освещенность, лк	
			при комбинированном освещении	при общем освещении
30. Машинные залы насосных, компрессорные, воздуходувки				
а) с постоянным дежурством персонала	Г; 0,8	VI		150*
б) без постоянного дежурства персонала	Г; 0,8	VI		100*; 100***
31. Помещения для инженерных сетей	Пол			20**
Шкалы измерительных приборов				
32. Светлые шкалы больших и малых размеров	В; на приборах	IVГ	300	150
33. То же, темные шкалы	То же	IVВ	400	200
34. Шкалы малых размеров	То же	IIIВ	750	300
Галереи и тоннели				
35. Шинопроводов и транспортеров	Пол	VIIIВ		20*; 20***
36. Кабельные, теплофикационные, масляные, пульповодов, водопроводные	Пол	VIIIВ		10**

\* Для переносного освещения следует предусмотреть штепсельные розетки.

\*\* Освещенность приведена для ламп накаливания.

\*\*\* Освещенность повышена согласно п. 4,6 СНИП II-4-79.

\*\*\*\* Освещенность повышена согласно п. 4,6б СНИП II-4-79.

Примечание: В – вертикальная плоскость; Г – горизонтальная плоскость



Таблица БЗ – Нормы освещенности на распространенные технологические операции

Наименование цеха, участка, производственной операции, оборудования	Разряд зрительной работы	Освещенность, лк, при системе освещения	
		комбинированной	общей
Общепромышленные производства			
Обработка и приготовление материалов			
1. Обработка сырья и материалов, приготовление электролита, клеев, лаков и т. д. (элеваторы, сушилки, мельницы, смесители, вальцы, сита, бегуны и т. д.):			
а) для работы	VIIIa	—	75
б) для наладки и ремонта оборудования	IVб	—	200
Литейные цехи			
2. Подготовка шихты, смесеприготовительное, смесеподготовительное отделения	VI	—	150
3. Изготовление форм и стержней:			
а) I класса точности	IIб	3000	750
б) II и III классов точности	IIIб	1000	300
4. Сушка стержней	IVб	—	200
5. Сборка опок, вторичная обрубка и очистка литья	IIIб	1000	300*
6. Плавно-заливное отделение	VII	—	200
7. Первичная обрубка и очистка литья	Va	—	200
Кузнечные цехи			
8. Механические гильотинные ножницы, дисковые пилы	Vб		200**
9. Ковочное отделение	VII		200
Холодно-штамповочные цехи			
10. Прессы холодной штамповки, гибочные машины	Va	—	200
Термические цехи			
11. Освещенности по цеху	—	—	200
12. Печи для разогрева деталей	VII	—	200
13. Закалка током высокой частоты	VI	—	150
14. ОТК	IIв	2000	—
Цехи металлопокрытий			
15. Автоматические линии металлопокрытия, ванны (травление, мойка, металлопокрытие)	Ivб	—	300***
16. Контроль качества покрытия	IIв	2000	
17. Полировальные станки	IIв	1500****	200

Продолжение таблицы БЗ

Наименование цеха, участка, производственной операции, оборудования	Разряд зрительной работы	Освещенность, лк, при системе освещения	
		комбини- рованной	общей
Механические и инструментальные цехи			
18. Общая освещенность	-	-	300
19. Металлорежущие станки:			
а) токарные, фрезерные, зубо- и резьбошлифовальные, заточные, прецизионные и т. п.	IIв	2000	-
б) отрезные, долбежные, станки-автоматы, автоматические линии, станки с роботами при постоянном пребывании людей	IIв	750****	-
в) станки с роботами при периодическом пребывании людей	IIв	500****	-
20. Разметочные плиты, слесарные, лекальные и граверные работы, ОТК, измерительные лаборатории	IIв	2000	-
Сварка, пайка			
21. сварка электродуговая и газовая, грубая пайка	IIIв	750	300
22. Точечная конденсаторная сварка, точная пайка	IIв	2000	500
Сборочные цехи			
23. Очень точная сборка (монтаж микросхем, микроэлементов, сборка женских наручных часов и т. п.)	Iб	4000	-
24. Точная сборка (мужских наручных часов, малых электрических машин и г. п.)	IIб	3000	750
25. Сборка средней точности (станков, светильников, больших электродвигателей и т.п.)	IIIб	1000	300
26. Сборка малой точности (крупных изделий из блоков, тележек вагонов, мебели и т. п.)	IVб	500	200
Окраска изделий при требованиях к качеству окраски			
27. Пониженных (модели, станки и т. п.)	IVб	500	200
28. Средних (бытовые машины и т. п.)	IIIб	1000	300
29. Высоких (автомобили и т. п.)	IIIа	2000	500
Деревообработка (столярное производство, изготовление мебели, моделей и т. п.)			
30. Общее освещение лесопильного отделения, столярного, окончательной обработки древесных плит	—	—	200
31. Станки круглопильные, стружечные, слесарные установки, прессование и обрезка древесных плит	IVб	—	200

Наименование цеха, участка, производственной операции, оборудования	Разряд зрительной работы	Освещенность, лк, при системе освещения	
		комбини- рованной	общей
32. Общее освещение отделений сушки шпона, сортировки пиломатериалов, изготовления стружки	—	—	150
33. Общее освещение модельных цехов, отделений раскроя, ребросклеивания, механических, обойки и монтажа мебели, окрашивания, лакировки и т. п.	—	—	150
34. Станки кромкофуговальные, ребросклеивающие, деревообрабатывающие, верстаки, раскрой и пошив тканей, окончательная обработка и отделка древесных плит	—  IIIв	  750	300
35. Станки шлифовальные, ленточные, кромкошлифовальные, полировальные	IIIб	1000	—
36. Линия шлифовки и полировки	IIIа	—	500
37. Ремонт, ретуширование и контроль	IIIа	2000	—
38. Производство моделей	IIв	2000	500
39. Изготовление деревянной тары	IVв	400	200
Производство резиновых технических изделий			
40. Разогрев и листование резиновой смеси на вальцах	Vа	300	200
41. Вулканизация резиновых изделий	Vа	200	150
42. Работа на каландрах	Ivб	500	200
43. Раскрой кордной ткани на станках	IVв	400	300*
Механическая обрезка рукавов			
44. Раскрой резины на полосы, сборка рукавов, стыковка полос, изготовление браслетов, сборка шин, комплектация покрышек камерами	Vа	300	200
45. Оплетение и навивка нитей. Наложение на рукава свинцовой оболочки	IVв	400	200
46. Изготовление ремней и транспортных лент	IVб	500	200
47. Участок обработки гуммированных изделий (обточка, шлифовка и контроль качества поверхности)	IVа	750	300
48. Экструзия и коагуляция нитей из латекса, вулканизация нитей, разработка и упаковка готовой продукции	IVб	500	200
49. Производство губчатых изделий и гобеленовых ковров, изготовление камерных рукавов, механическая стыковка камер	Vб	—	150

Наименование цеха, участка, производственной операции, оборудования	Разряд зрительной работы	Освещенность, лк, при системе освещения	
		комбинированной	общей
50. Настил, разметка и раскрой ткани и деталей при производстве резиновой обуви	IIIa	-	500
51. Раскрой деталей резиновой обуви, вставка фурнитуры, лакирование	IVб	500	200
52. Контроль обрешиненного корда, раскрой корда	IIIa	2000	500
Производство пластмасс			
53. Изготовление и обработка пластмасс:			
а) темных	IVa	750	300
б) светлых	IVв	400	200
Ремонтно-механические цехи			
54. Освещенность по цеху	-		400
55. Кузнечный участок (нагревательные печи, горны, ковочные молоты, наковальни)		-	
56. Заготовительно-разрезной участок (гильотины, механические пилы)		См. п. 9 См. п. 8	
57. Металлообрабатывающие станки и станки электроискровой обработки металла		См. п. 19	
58. Сборка оборудования	IIIб	-	300
Электроремонтные цехи			
59. Освещенность по цеху	-	-	300
60. Разработка и сборка моторов, сборка щитов и панелей управления, монтажные верстаки	IIIб	1000	300
Светотехнические мастерские (ремонт и чистка светильников)			
61. Освещенность по мастерской	-	-	300
62. Станочное оборудование и монтажные столы	IIIa	750	300
63. Помещение мойки светильников	IVб	-	200
Легкая промышленность			
Трикотажное производство			
64. Машины мотальные и бобинопермоточные	IIa		750****

Наименование цеха, участка, производственной операции, оборудования	Разряд зрительной работы	Освещенность, лк, при системе освещения	
		комби- нированной	общей
65. Машины резиноокруточные, сновальные, основовязальные (класса 20 и выше), катонные для чулок и круглочулочные автоматы (класса 18 и выше)	Ів	2000	750
66. Машины однофонтурные и двухфонтурные (класса б и выше), краеобметочные, круглочулочные автоматы (до 18-го класса), плоскофанговые автоматы и полуавтоматы для штучных изделий верхнего трикотажа, перчаток, беретов (класса б и выше)	Ів		500
67. Двухфонтурные машины (до 6-го класса), плоскофанговые автоматы и полуавтоматы для штучных изделий верхнего трикотажа, перчаток, беретов (до 6-го класса)	ІІа		400*
68. Аппараты для крашения трикотажного полотна, чулочных изделий и пряжи в бобинах	VI		200****
69. Браковочно-накатная машина	ІІа		-
70. Машины для отделки трикотажного полотна, декантовочные, для разрезания и расправки полотна, сушильные для сушки пряжи, чулочно-носочные формировочные, аппараты для крашения пряжи в мотках	Va		300****

Таблица В1 – Индекс помещения  $i_n$  при  $A/B \leq 3$

Площадь помещения $S, \text{ м}^2$	Значение $i_n$ при расчетной высоте $h_p$ , м, равной														
	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
10	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	0,9	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—
20	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	—	—	—	—	—	—	—
25	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	—	—	—	—	—	—
30	1,25	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	—	—	—	—	—
40	1,5	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	—	—	—	—
50	1,75	1,5	1,25	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	—	—	—
60	1,75	1,75	1,5	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	—	—	—
70	2,0	1,75	1,5	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	—	—
80	2,25	2,0	1,75	1,5	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	—	—
90	2,25	2,0	1,75	1,5	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	—
100	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	—
120	2,5	2,25	2,0	2,0	1,75	1,5	1,25	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
150	3,0	2,5	2,25	2,25	2,0	1,75	1,5	1,25	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
200	3,5	3,0	2,5	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,25	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
250	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8
300	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75	1,75	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8
350	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75	1,75	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9
400	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,25	1,25	1,1	1,0
450	5,0	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75	1,75	1,5	1,25	1,1	1,0
500	—	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	1,75	1,5	1,25	1,25	1,1
600	—	—	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0	2,0	1,75	1,5	1,25	1,1
700	—	—	5,0	5,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,5	1,25
800	—	—	—	5,0	5,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,25
900	—	—	—	—	5,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,5
1000	—	—	—	—	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5
1200	—	—	—	—	—	5,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75	1,75
1400	—	—	—	—	—	5,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75
1600	—	—	—	—	—	—	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0
1800	—	—	—	—	—	—	5,0	5,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0
2000	—	—	—	—	—	—	—	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,25
2500	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5
3000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5
3500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	5,0	4,0	3,5	3,0	3,0
4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0
4500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	4,0	3,5	3,0
5000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	4,0	3,5
6000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	4,0
7000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0
8000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица В2 – Индекс помещения  $i_n$  при  $A/B > 3$

$A/B$	Значение $i_n$ при расчетной высоте $h_p$ , м, равной																
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
3 – 4	–	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	3,5	4,0
5 – 6	–	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	4,0
7 – 9	–	–	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,5
10	–	–	–	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,25	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0
15	–	–	–	–	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5
20	–	–	–	–	–	–	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,25
30	–	–	–	–	–	–	–	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,25	1,5	1,75
40 – 50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,25	1,5

Таблица В3 – 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 потолок	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



## Приложение Г

Пример расчета освещения методом коэффициента использования светового потока

Освещение инструментального цеха, размеры которого  $A \times B \times H = 60 \times 36 \times 10$  м;  $h_p = 0,8$  м  $h_c = 1,2$  м, выполнено лампами типа ДРЛ в светильниках РСП05/ГОЗ. Наметьте размещение светильников в цехе.

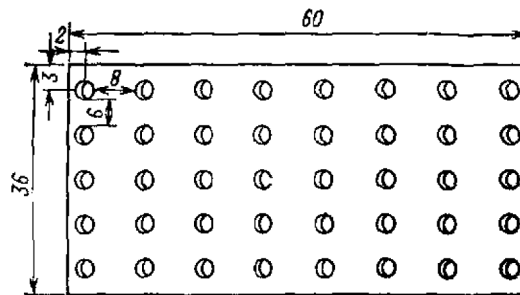
$$1. h = H - h_p - h_c = 10 - 0,8 - 1,2 = 8 \text{ м.}$$

2. Для принятого светильника, имеющего глубокую кривую силы света (буква Г в обозначении светильника), находим значение  $\lambda = L_a / h = l$  (значение  $\lambda$  принимается по таблице 10.4 /7/.  $L_a = \lambda$ ;  $h = 1 \cdot 8 = 8$  м.

3. При  $L_a = 8$  м в ряду можно разместить восемь светильников, тогда  $2l = 60 - 8 \cdot 7 = 4$  м;  $l = 2$  м.

4. Принимаем число рядов светильников равным пяти, тогда  $= 6$  м;  $L_a / L_b = 8 / 6 = 1,33 < 1,5$ .

5. Число светильников в цехе  $N = 40$ . Размещение светильников представлено на рисунке.



Размещение светильников в цехе

6. По таблице В3 принимаем  $\rho_n = 0,7$ ;  $\rho_c = 0,5$ ;  $\rho_p = 0,1$ .

7. Индекс помещения составит:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A+B)} = \frac{60 \cdot 36}{8(60+36)} = 2,8.$$

8. Из таблицы В1 находим  $K_u = 0,73$ .

9. При  $E_{\min} = 300$  лк и  $K_3 = 1,5$  находим:

$$F_p = \frac{E_{\min} \cdot K \cdot S \cdot z}{N \cdot K_u} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 60 \cdot 36 \cdot 1,15}{40 \cdot 0,73} = 38280,82.$$

По таблице А3 подбираем лампу ДРЛ мощностью 700 Вт со световым потоком  $F_{\text{ном}} = 35000$  лм.  $F_{\text{ном}}$  отличается от  $F_p$  на 9%, что допустимо.

## Приложение Д

Таблица Д1 – Удельная мощность общего равномерного освещения\* светильниками с ЛН мощностью 60 Вт

$h$ , м	$S$ , м <sup>2</sup>	Удельная мощность $W$ , Вт/м <sup>2</sup> , светильников с КСС					
		Д-1	Л-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3
1,5 – 2	10 – 15	24,6	23,5	23,0	19,8	17,4	16,9
	15 – 25	23,9	21,5	20,1	17,6	15,8	15,6
	25 – 50	21,1	19,5	17,6	15,8	14,7	14,4
	50 – 150	17,8	16,2	15,3	14,1	13,3	13,2
	150 – 300	16,2	15,1	14,4	13,^	13,1	13,1
	Свыше 300	15,4	14,4	13,6	13,2	12,8	12,8
2 – 3	10 – 15	34,2	30,2	28,8	23,9	20,8	20,1
	15 – 25	27,5	24,4	24,4	20,8	18,1	17,6
	25 – 50	24,4	21,8	20,8	18,1	16,2	15,2
	50 – 150	20,1	18,1	16,4	15,1	14,2	13,9
	150 – 300	17,6	16,0	15,3	13,9	13,3	13,3
	Свыше 300	15,4	14,4	13,6	13,2	12,8	12,8
3 – 4	10 – 15	60,3	48,7	39,6	31,7	26,4	25,3
	15 – 20	45,2	38,4	33,3	26,9	22,6	22,2
	20 – 30	34,2	30,2	28,8	23,9	20,4	20,1
	30 – 50	27,5	24,4	24,4	20,8	18,1	17,7
	50 – 120	23,5	21,1	19,8	17,3	15,6	15,4
	120 – 300	20,1	17,8	16,4	14,9	14,1	14,1
	Свыше 300	16,0	15,1	14,4	13,5	13,1	13,1
*Освещенность 100 лк; условный КПД =100%; $\rho_n=0,5$ ; $\rho_c=0,3$ ; $\rho_p=0,1$ ; $K_3=1,3$ , $z=1,15$							

Таблица Д2 – Удельная мощность общего равномерного освещения\*  
светильниками с ЛН мощностью 100 – 200 Вт

h, м	S, м²	Удельная мощность W, Вт/м², светильников с КСС					
		Д-1	Л-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3
1,5 – 2	10 – 15	28,8	25,4	24,3	20,1	17,5	16,9
	15 – 25	23,2	20,5	20,5	17,5	15,2	14,8
	25 – 50	20,5	18,4	17,5	15,2	13,7	13,3
	50 – 150	16,9	15,2	13,9	12,7	12,0	11,7
	150 – 300	14,8	13,2	12,9	11,7	11,2	11,2
	Свыше 300	13,0	12,1	11,5	11,1	10,8	10,8
2 – 3	10 – 15	50,8	41,1	33,4	26,7	22,2	21,3
	15 – 25	38,1	32,3	28,1	22,7	19,1	18,7
	25 – 30	28,8	25,4	24,3	20,1	17,2	16,9
	30 – 50	23,2	20,5	20,5	17,5	15,2	14,9
	50 – 120	19,8	17,8	16,7	14,6	13,2	13,0
	150 – 300	16,9	15,0	13,9	12,6	11,9	11,9
	Свыше 300	13,5	12,7	12,1	11,4	11,0	11,0
3 – 4	10 – 17	97,1	62,8	53,4	36,8	28,1	28,8
	17 – 25	59,3	46,4	38,1	28,8	23,7	23,7
	25 – 35	42,7	38,1	30,5	24,3	20,5	20,9
	35 – 50	33,3	28,8	26,0	21,3	18,4	18,1
	50 – 80	24,3	22,2	22,2	18,7	16,2	15,7
	80 – 150	21,8	19,4	18,7	16,2	14,4	14,0
	150 – 400	18,4	16,4	15,2	13,7	12,6	12,3
	Свыше 400	14,4	13,3	12,7	11,7	11,4	11,1
Освещенность 100 лк; условный КПД =100%; $\rho_n=0,5$ ; $\rho_c=0,3$ ; $\rho_p=0,1$ ; $K_3=1,3$ , $z=1,15$							

Таблица ДЗ – Удельная мощность общего равномерного освещения \*  
светильниками с ЛН мощностью 300 Вт

h, м	S, м²	Удельная мощность W, Вт/м², светильников с КСС					
		Д-1	Л-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3
3 – 4	10 – 15	46,5	37,6	30,5	21,4	20,3	19,5
	15 – 20	34,9	29,6	25,7	20,8	17,4	17,1
	20 – 30	26,4	23,3	22,2	18,4	15,8	15,5
	30 – 50	21,2	18,8	18,8	16,0	13,9	13,7
	50 – 120	18,1	16,3	15,3	13,4	12,1	11,9
	120 – 300	15,5	13,8	12,7	11,5	10,8	10,8
	Свыше 300	12,4	11,6	11,1	10,4	10,1	10,1
4 – 6	10 – 17	88,8	57,5	48,8	33,7	25,7	26,4
	17 – 25	54,3	42,5	34,9	26,4	21,7	21,7
	25 – 35	39,1	34,9	27,9	22,2	18,8	19,2
	35 – 50	30,5	25,4	23,8	19,5	16,8	16,6
	50 – 80	22,2	20,4	20,4	17,1	14,8	14,4
	80 – 150	19,9	17,8	17,1	14,8	13,2	12,8
	150 – 400	16,8	15,0	14,0	12,5	11,3	11,2
	Свыше 400	13,2	12,2	11,6	10,7	10,4	10,2
6 – 8	25 – 35	75,2	54,3	42,5	30,5	24,1	23,8
	35 – 50	51,4	42,5	34,9	25,7	21,2	20,8
	50 – 65	40,7	34,9	27,9	22,7	18,8	18,4
	65 – 90	32,6	27,9	24,4	20,3	17,1	16,8
	90 – 135	24,4	21,7	21,2	17,8	15,3	15,0
	135 – 250	20,3	18,1	18,1	15,5	13,6	13,2
	250 – 500	17,8	16,0	15,0	13,2	11,9	11,8
	Свыше 500	13,2	12,2	11,6	10,7	10,4	10,2
Освещенность 100 лк; условный КПД =100%; $\rho_n=0,5$ ; $\rho_c=0,3$ ; $\rho_p=0,1$ ; $K_3=1,3$ , $z=1,15$							

Таблица Д4 – Удельная мощность общего равномерного освещения\*  
светильниками с ЛН мощностью 500 Вт

h, м	S, м²	Удельная мощность W, Вт/м², светильников с КСС					
		Д-1	Л-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3
4 – 6	10 – 17	82,4	53,3	45,3	31,2	23,8	24,5
	17 – 25	50,3	39,4	32,4	24,5	20,1	20,1
	25 – 35	36,3	32,3	25,9	20,5	17,4	17,8
	35 – 50	28,3	24,5	22,1	18,1	15,6	15,3
	50 – 80	20,6	18,9	18,9	15,9	13,7	13,3
	80 – 150	18,5	16,5	15,9	13,7	12,2	11,9
	150 – 400	15,6	13,9	12,9	11,6	10,6	10,4
	Свыше 400	12,2	11,3	10,8	9,9	9,6	9,4
6 – 8	25 – 35	69,7	50,3	39,4	28,3	22,6	22,1
	35 – 50	47,7	39,4	32,4	23,8	19,7	19,3
	50 – 65	37,8	32,3	25,9	21,1	17,4	17,1
	65 – 90	30,2	25,9	22,6	18,9	15,9	15,6
	90 – 135	22,6	20,1	19,7	16,5	14,2	13,9
	135 – 250	18,9	16,8	16,8	14,4	12,6	12,2
	250 – 500	16,5	14,8	13,9	12,2	11,0	10,9
	Свыше 500	12,2	11,3	10,8	10,0	9,6	9,4
8 – 12	50 – 70	78,8	50,3	43,1	29,2	23,8	22,6
	70 – 100	50,3	39,4	32,3	24,5	20,1	19,7
	100 – 130	39,4	32,4	26,6	21,1	17,8	17,1
	130 – 200	28,3	24,5	22,1	18,1	15,6	15,4
	200 – 300	21,6	18,9	18,9	15,9	13,9	13,5
	300 – 600	18,5	16,5	16,2	13,9	12,2	11,9
	600 – 1500	15,6	14,2	13,1	11,8	10,8	10,6
	Свыше 1500	12,2	11,3	10,8	10,0	9,6	9,4
<p>Освещенность 100 лк; условный КПД=100%. <math>\rho_n=0,5</math>; <math>\rho_c=0,3</math>; <math>\rho_p=0,1</math>;  <math>K_3=1,3</math>, <math>z=1,15</math></p>							

### Пример расчета освещения методом удельной мощности

Рассчитать по удельной мощности осветительную установку. Размеры помещения следующие:  $A = 13$  м;  $B = 6$  м;  $h = 3,2$  м. Освещение выполняется лампами накаливания. Значения коэффициентов отражения:  $\rho_n = 0,5$ ;  $\rho_c = 0,3$ ;  $\rho_p = 0,1$ . Минимальная освещенность –  $E_{min} = 100$  лк.

Намечаем к установке 8 светильников Уз. По данным таблицы Д2 принимаем значение удельной мощности  $W=8$ . Мощность каждой лампы рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{S \cdot W}{N} = \frac{78 \cdot 22,2}{8} = 216,45 \text{ Вт.}$$

Принимаем ближайшую стандартную лампу 200 Вт.

Определение расчетных нагрузок  
Таблица Ж1– Расчет электрических нагрузок (форма Ф636-92)

Исходные данные						Расчетные величины			Эффек- тивное число ЭП	Коэффициент расчетной нагрузки $K_p$	Расчетная нагрузка			Рас- четный ток, А
по заданию технологов				по справочным данным		$K_u P_u$	$K_u P_u \operatorname{tg} \varphi$	$n p_u^2$			$n_3 = (\sum P_u)^2 / \sum n p_u^2$	активная, кВт	реак- тивная, квар	полная, кВа
Наи- мено- вание ЭП	Коли- чество ЭП, шт. $n$	Номинальная (установленная) мощность, кВт		Коэффи- циент исполь- зования $K_u$	Коэффи- циент реактив- ной мощ- ности $\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi}$				$P_p = K_p K_u P_u$			$Q_p = I_p K_u P_u \operatorname{tg} \varphi$ при $n_3 < 10$ ; $Q_p = K_p P_u \operatorname{tg} \varphi$ при $n_3 > 10$	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	
		одного ЭП $p_u$	общая $P_u = n p_u$											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



Таблица Ж2 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  для питающих сетей напряжением до 1000 В

$n_3$	Коэффициент использования $K_u$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,14	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,10	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,250	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,30	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица Ж3 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  на шинах НН цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

$n_p$	Коэффициент использования $K_u$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6 – 8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9 – 10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10 – 25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25 – 50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

Таблица Ж4 – Значения коэффициентов одновременности  $K_o$  для определения расчетной нагрузки на шинах 6 (10) кВ РП и ГПП

Средневзвешенный коэффициент использования, $K_u$	Число присоединений 6 (10) кВ на сборных шинах РП, ГПП			
	2 – 4	5 – 8	9 – 25	более 25
менее 0,3	0,9	0,8	0,75	0,7
от 0,3 до 0,5	0,95	0,9	0,85	0,8
от 0,5 до 0,8	1,0	0,95	0,9	0,85
свыше 0,8	1,0	1,0	0,95	0,9

Таблица Ж5 – Форма Ф202-90

Наименование	$\frac{\cos \varphi}{\lg \varphi}$	Расчетная нагрузка			Количество и мощность трансформаторов
		P, кВт	Q, кВАр	S, кВА	

Определение коэффициента расчетных нагрузок  $K_p$

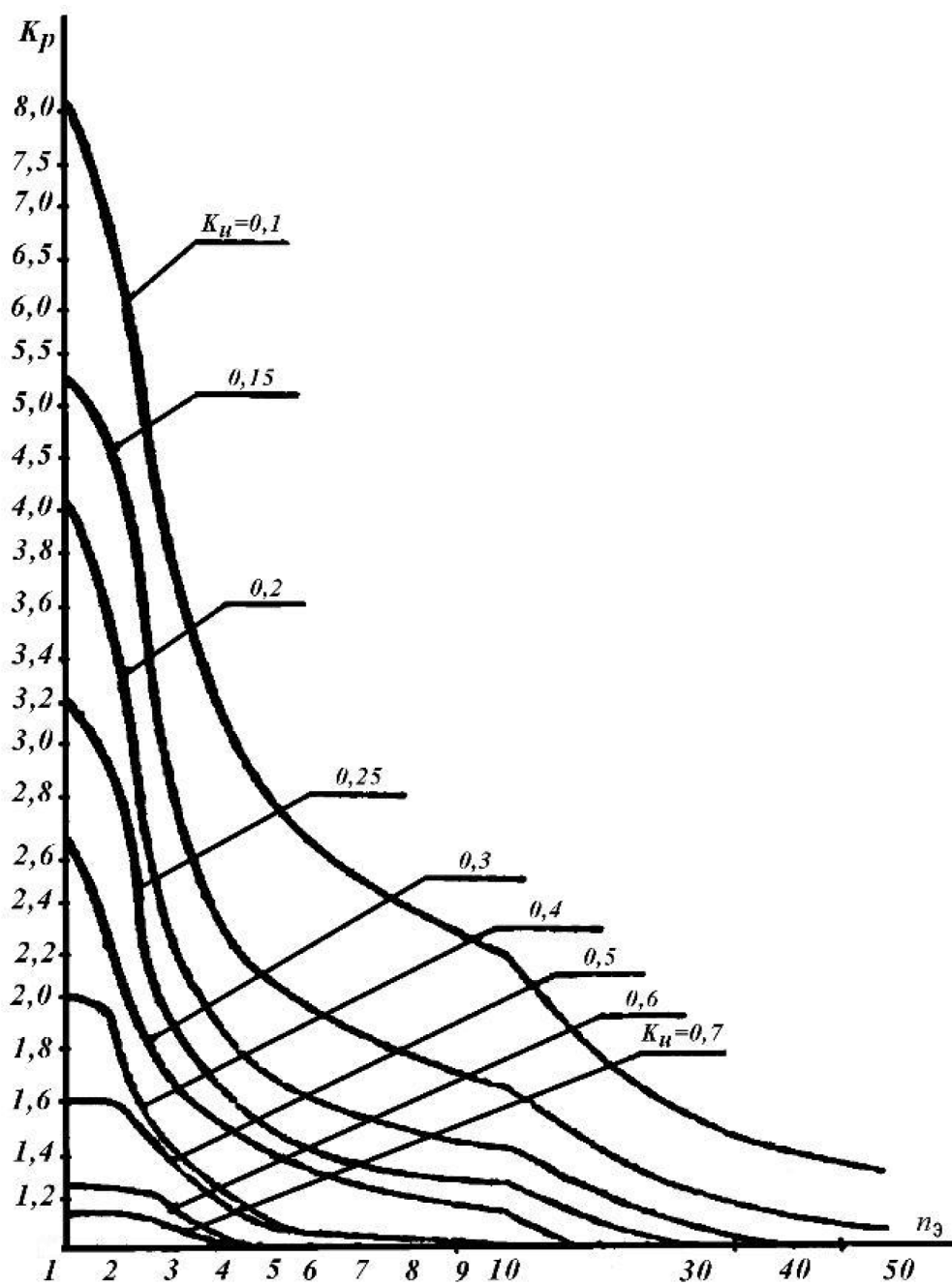


Рисунок И1 – Кривые для определения коэффициента расчетных нагрузок  $K_p$  для различных коэффициентов использования

### Пример расчета трехфазной нагрузки

Определить нагрузку распределительного шинпровода ШРА, от которого питаются следующие электроприемники (ЭП).

– Станки разные:  $K_u = 0,12$ ;  $\cos\varphi = 0,78$ ;  $\tan\varphi = 0,8$ ;  $n = 48$ .

Номинальные мощности электродвигателей станков:

$p_n = 2 \times 11,1$ ;  $6 \times 4,6$ ;  $2 \times 15,0$ ;  $5 \times 5,4$ ;  $2 \times 3,8$ ;  $1 \times 11$ ;  $2 \times 6,3$ ;  $4 \times 3,5$ ;  $1 \times 12,9$ ;  $5 \times 0,7$ ;  $2 \times 19,45$ ;

$1 \times 10,3$ ;  $3 \times 2,9$ ;  $1 \times 6,9$ ;  $4 \times 0,6$ ;  $3 \times 6,5$ ;  $1 \times 33,28$ ;  $3 \times 1,25$ .

– Кран-балка подвесная:  $K_u = 0,35$ ;  $\cos\varphi = 0,82$ ;  $\tan\varphi = 0,7$ ; ПВ = 25%;  $n = 2$ ;

$P_n = 8,8$  кВт

– Вентиляторы:  $K_u = 0,8$ ;  $\cos\varphi = 0,86$ ;  $\tan\varphi = 0,59$ ;  $n = 4$ ;  $P_n = 7,0$  кВт.

Последовательность вычислений сохраняется для всех видов расчета.

1. Расчет выполняется по форме Ф 636-92, таблица Ж1 Приложения Ж.

2. Узел питания-ШРА (графа 1).

3. В графу 1 заносим все ЭП, присоединяемые к шинпроводу по характерным группам (станки, кран-балки, вентиляторы), в графы 2–4 соответственно количество и номинальные мощности их, в графы 5 и 6 вносим для каждой категории ЭП соответственно  $K_u$  и  $\cos\varphi / \tan\varphi$ . Приводим мощность кран-балок к ПВ = 1:  $p_n = p_{nПВ} \cdot \sqrt{ПВ} = 8,8 \cdot \sqrt{0,25} = 4,4$  кВт.

Определяем суммарную мощность ЭП  $\sum p_n = 328,93$  кВт.

4. Определяем нагрузки за наиболее загруженную смену:

$$P_{см} = k_u \cdot p_n; Q_{см} = P_{см} \cdot \tan\varphi.$$

Для станков:  $P_{см} = 0,12 \times (2 \times 11,1; 6 \times 4,6; 2 \times 15,0; 5 \times 5,4; 2 \times 3,8; 1 \times 11; 2 \times 6,3; 4 \times 3,5; 1 \times 12,9; 5 \times 0,7; 2 \times 19,45; 1 \times 10,3; 3 \times 2,9; 1 \times 6,9; 4 \times 0,6; 3 \times 6,5; 1 \times 33,28; 3 \times 1,25) = 35,06$  кВт.

$$Q_{см} = 35,06 \times 0,8 = 28,04 \text{ кВАр.}$$

Для кран-балок:

$$P_{см} = 0,35 \times (2 \times 4,4) = 3,08 \text{ кВт;}$$

$$Q_{см} = 3,08 \times 0,7 = 2,156 \text{ кВАр.}$$

Для вентиляторов:

$$P_{см} = 0,8 \times (4 \times 7,0) = 22,4 \text{ кВт;}$$

$$Q_{см} = 22,4 \times 0,59 = 13,22 \text{ кВАр.}$$

Результаты расчета вносим в графы 7 и 8.

5. Определяем групповой коэффициент использования:

$$K_{из} = \frac{\sum P_{см}}{\sum p} = \frac{35,06 + 3,08 + 22,4}{328,93} = 0,18.$$

Результат заносим в графу 6 итоговой строкой.

6. Определяем:

$$\sum_n \cdot P_n^2 = 2 \times 11,1^2 + 6 \times 4,6^2 + 2 \times 15,0^2 + 5 \times 5,4^2 + 2 \times 3,8^2 + 1 \times 11^2 + 2 \times 6,3^2 + 4 \times 3,5^2 + 1 \times 3,5^2 + 1 \times 6,5^2 + 1 \times 33,28^2 + 3 \times 1,25^2 + 2 \times 4,4^2 + 4 \times 7,0^2 = 3826,989 \text{ кВт}^2.$$

Результат заносим в графу 9 итоговой строкой.

$$7. \text{ Находим } n_3 = \frac{\left( \sum_{n=1}^n p_n \right)^2}{\sum_{n=1}^n n \cdot p_n^2} = \frac{328,93^2}{3826,989} = 28,27.$$

Принимаем целое меньшее число  $n_3 = 28$ . Результат заносим в графу 10 итоговой строкой.

8. По таблице Ж2 (Приложение Ж) находим коэффициент расчетной нагрузки ( $K_p$ ) в зависимости от  $K_{из} = 0,18$  и  $n_3 = 28$ ,  $K_p = 1,12$ .

Результат заносим в графу 11.

9. Находим расчетную активную нагрузку:

$$P_p = K_p \cdot P_{см} = 1,12 \cdot 60,54 = 67,8 \text{ кВт (графа 12).}$$

10. Находим расчетную реактивную нагрузку:

$$Q_p = Q_{см} = 28,04 + 2,156 + 13,22 = 43,416 \text{ кВАр (графа 13).}$$

11. Определяем полную расчетную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{67,8^2 + 43,416^2} = 80,51 \text{ кВА (графа 14).}$$

12. Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} = \frac{80,51}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 122,47 \text{ А (графа 15).}$$

## Приложение Л

### Значения коэффициентов приведения однофазной нагрузки

Таблица Л1 – Значения коэффициентов приведения однофазной нагрузки, включенной на линейное напряжение, к нагрузке, отнесенной к одной фазе трехфазного тока и фазному напряжению

Коэффициенты приведения	Коэффициенты мощности нагрузок								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1,0
$p(ab)a, p(bc)b, p(ac)c$	1,4	1,17	1,0	0,89	0,84	0,8	0,72	0,64	0,5
$p(ab)b, p(bc)c, p(ac)a$	-0,4	-0,17	0	0,11	0,16	0,2	0,28	0,36	0,5
$q(ab)a, q(bc)b, q(ac)c$	1,26	0,86	0,58	0,38	0,3	0,22	0,09	-0,05	-0,29
$q(ab)b, q(bc)c, q(ac)a$	2,45	1,44	1,16	0,96	0,88	0,8	0,67	0,53	0,29

Таблица Л2 – Расчет однофазных нагрузок

Наименование узлов питания групп ЭП	Установленная мощность одного ЭП, приведенная к ПВ = 100%, Р <sub>н</sub> (кВт)	Число ЭП	$\Delta P_n$ , кВт	Установленная мощность однофазных ЭП, включенных на линейное напряжение, кВт			Коэффициент приведения к фазам			Установленная мощность однофазных ЭП, включенных на фазное напряжение, кВт			K <sub>н</sub>	cosφ/ tgφ	Средние нагрузки					
															Активные Р <sub>см</sub> , кВт			Реактивные Q <sub>см</sub> , кВАр		
				ab	bc	ca	a	b	c	a	b	c			a	b	c	a	b	c
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21



## Примеры расчета однофазных нагрузок

1. Количество ЭП  $n \leq 3$ , ЭП включены на фазное напряжение.

Один сварочный трансформатор включен на фазное напряжение:

$$S_{ПВ} = 25 \text{ кВА}; \quad ПВ = 0,5; \\ \cos\varphi \quad U_{\phi} = 220 \text{ В}$$

Определить расчетную нагрузку, приведенную к трехфазной:

$$P_p = P_{ну} = 3P_{нмф}.$$

Номинальная мощность ЭП, приведенная к ПВ = 1:

$$P_{н1} = S_{ПВ} \cdot \sqrt{ПВ} \cdot \cos\varphi = 25 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,5 = 8,7 \text{ кВт.}$$

В данном случае  $P_{н1} = P_{нмф}$ , следовательно,  $P_p = P_{ну} = 3 \cdot 8,7 = 26,1 \text{ кВт.}$

2. Два сварочных трансформатора включены в разные плечи трехфазной системы 380 В:

первый	$S_{ПВ} = 80 \text{ кВА};$	$ПВ = 0,5;$
	$\cos\varphi = 0,5$	$U_{н1} = 380 \text{ В}$
второй	$S_{ПВ} = 30 \text{ кВА};$	$ПВ = 0,65;$
	$\cos\varphi = 0,53$	$U_{н2} = 380 \text{ В}$

Определить расчетную нагрузку от этих ЭП:

$$P_p = P_{ну} = 3P_{нмф}.$$

Определяем номинальные мощности трансформаторов, приведенные к ПВ = 1:

$$P_{н1} = S_{ПВ} \cdot \sqrt{ПВ} \cdot \cos\varphi_{н1} = 80 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 0,5 = 28 \text{ кВт};$$

$$P_{н2} = S_{ПВ} \cdot \sqrt{ПВ} \cdot \cos\varphi_{н2} = 30 \cdot \sqrt{0,65} \cdot 0,53 = 13 \text{ кВт.}$$

Определяем нагрузку наиболее загруженной фазы при  $P_{ab} = 28 \text{ кВт}$  и  $P_{bc} = 13 \text{ кВт}$ :

$$P_a = \frac{28}{2} = 14 \text{ кВт}; \quad P_b = \frac{28+13}{2} = 20,5 \text{ кВт}; \quad P_c = \frac{13}{2} = 6,5 \text{ кВт}$$

Наиболее загружена фаза b:  $P_{нмф} = 20,5 \text{ кВт.}$

Расчетная мощность:  $P_p = 3 \cdot 20,5 = 61,5 \text{ кВт.}$

3. ЭП включены на фазное напряжение и на линейное напряжения (смешанная система включения).

К силовому шкафу присоединены два однофазных ЭП:

$$P_{н1} = 40 \text{ кВт}; \quad U_{н1} = 220 \text{ В}; \\ P_{н2} = 50 \text{ кВт} \quad U_{н2} = 380 \text{ В.}$$

Определить расчетную нагрузку ЭП.

Определим значения величин:

$$P_{нуф} = 3 \cdot 40 = 120 \text{ кВт};$$

$$P_{нул} = 3 \cdot 50 = 86,5 \text{ кВт}.$$

Так как  $P_{нуф} > P_{нул}$ , в основу расчета следует принять  $P_p = P_{нуф} = 120 \text{ кВт}$ .

4. Определить расчетную нагрузку силового шкафа (ШС), создаваемую однофазными ЭП, включенными на фазное и линейное напряжения сети 380/220 В.

На фазное напряжение включены две регулируемые нагревательные печи мощностью  $P_n = 20 \text{ кВт}$ ;  $\cos\varphi = 1$ ;  $K_u = 0,5$ ;  $n = 2$ .

На линейное напряжение включены:

– три сварочные машины типа МРМ-11, 380 В с тремя однофазными сварочными трансформаторами:  $S_n = 500 \text{ кВА}$ ;  $ПВ = 1,5\%$ ;  $\cos\varphi = 0,4$ ;  $\tan\varphi = 2,29$ ;  $K_u = 0,35$ ;  $n=3$ ;

– сварочные аппараты МТП-75, 380 В,  $S_n = 75 \text{ кВА}$ ;  $ПВ = 40\%$ ;  $\cos\varphi = 0,5$ ;  $\tan\varphi = 1,73$ ;  $K_u = 0,25$ ;  $n = 2$ ;

– сварочные аппараты МТП-100, 380 В,  $S_n = 100 \text{ кВА}$ ;  $ПВ = 40\%$ ;  $\cos\varphi = 0,4$ ;  $\tan\varphi = 2,29$ ;  $K_u = 0,4$ ;  $n=2$ .

Расчет выполняется по форме Ф-636-92 (Таблица Ж1, Приложение Ж).

Узел питания – силовой шкаф ШС (графа 1).

В графу 1 заносим все ЭП, присоединенные к данному силовому шкафу, по характерным группам (с одинаковыми  $\cos\varphi$  и  $K_u$ ), в графы 2–4 соответствующие ЭП и их номинальные мощности.

В графы 5 и 6 заносим  $K_u$ , а также  $\cos\varphi/\tan\varphi$  для каждой характерной группы.

$$\text{МРМ-11} - p_n = S_{нПВ} \cdot \sqrt{ПВ} \cdot \cos\varphi = 500 \cdot \sqrt{0,015} \cdot 0,4 = 25 \text{ кВт};$$

$$\text{МТП-75} - p_n = S_{нПВ} \cdot \sqrt{ПВ} \cdot \cos\varphi = 75 \cdot \sqrt{0,4} \cdot 0,5 = 24 \text{ кВт};$$

$$\text{МТП-100} - p_n = S_{нПВ} \cdot \sqrt{ПВ} \cdot \cos\varphi = 100 \cdot \sqrt{0,4} \cdot 0,4 = 25 \text{ кВт}.$$

Для создания по возможности равномерной нагрузки по фазам присоединяем ЭП, включенные на фазное напряжение 220 В:

– на фазу b: одну нагревательную печь  $p_{b0} = 1 \cdot 20 \text{ кВт}$ ;

– на фазу c: одну нагревательную печь  $p_{c0} = 1 \cdot 20 \text{ кВт}$ .

ЭП, включенные на линейное напряжение 380 В, распределяем между фазами а и b:

$$(1\text{МРМ-11}+1\text{МТП-75}+1\text{МТП-100})$$

$$p_{ab} = 1 \cdot 25 + 1 \cdot 24 + 1 \cdot 25 = 74 \text{ кВт};$$

между фазами bc:

$$(1\text{МРМ-11}+1\text{МТП-75})$$

$$p_{ab} = 1 \cdot 25 + 1 \cdot 24 = 49 \text{ кВт};$$

между фазами са:

$$(1\text{МРМ-11}+1\text{МТП-100})$$

$$p_{ab} = 1 \cdot 25 + 1 \cdot 25 = 50 \text{ кВт}.$$

Приводим номинальные мощности ЭП, включенных на линейные напряжения, к нагрузкам одной фазы и фазному напряжению. Коэффициенты приведения  $p$  и  $q$  взяты из таблицы Л1 (Приложение Л).

При  $\cos\varphi = 0,4$ :

$$p_{(ab)a}, p_{(bc)b}, p_{(ac)c} = 1,17; p_{(ab)b}, p_{(bc)c}, p_{(ac)a} = -0,17;$$

$$q_{(ab)a}, q_{(bc)b}, q_{(ac)c} = 0,86; q_{(ab)b}, q_{(bc)c}, q_{(ac)a} = 1,44.$$

Для Эп, присоединенных между теми же фазами, но при  $\cos\varphi = 0,5$ :

$$p_{(ab)a}, p_{(bc)b}, p_{(ac)c} = 1; p_{(ab)b}, p_{(bc)c}, p_{(ac)a} = 0;$$

$$q_{(ab)a}, q_{(bc)b}, q_{(ac)c} = 0,58; q_{(ab)b}, q_{(bc)c}, q_{(ac)a} = 1,16.$$

Номинальные мощности ЭП, приведенные к соответствующим фазам, для ЭП первой группы ( $p_{lab}$ ), присоединенных между фазами а и b ( $\cos\varphi = 0,4$ ):

$$P'_{la} = P_{lab} \cdot p_{ab(a)} = 25 \cdot 1,17 = 29 \text{ кВт};$$

$$Q'_{la} = Q_{lab} \cdot q_{ab(a)} = 25 \cdot 0,86 = 21 \text{ кВАр};$$

$$P'_{lb} = P_{lab} \cdot p_{ab(b)} = 25 \cdot (-0,17) = -4 \text{ кВт};$$

$$Q'_{lb} = Q_{lab} \cdot q_{ab(b)} = 25 \cdot 1,44 = 36 \text{ кВАр}.$$

Аналогично для ЭП той же группы, присоединенных между фазами b и c ( $\cos\varphi = 0,4$ ):

$$P''_{lb} = 25 \cdot 1,17 = 29 \text{ кВт} \quad Q''_{lb} = 25 \cdot 0,86 = 21 \text{ кВАр};$$

$$P''_{lc} = 25 \cdot (-0,17) = -4 \text{ кВт}; \quad Q''_{lc} = 25 \cdot 1,44 = 36 \text{ кВАр};$$

Аналогично для ЭП той же группы, присоединенных между фазами b и c ( $\cos\varphi = 0,4$ ):

$$P'''_{lc} = 29 \text{ кВт}; \quad Q'''_{lc} = 21 \text{ кВАр};$$

$$P'''_{la} = -4 \text{ кВт}; \quad Q'''_{la} = 36 \text{ кВАр}.$$

Для ЭП второй группы, присоединенных между фазами а и b ( $\cos\varphi = 0,5$ ):

$$P'_{2a} = 24 \cdot 1 = 24 \text{ кВт}; \quad Q'_{2a} = 24 \cdot 0,58 = 14 \text{ кВАр};$$

$$P'_{2b} = 24 \cdot 0 = 0 \text{ кВт}; \quad Q'_{2b} = 24 \cdot 1,16 = 28 \text{ кВАр}.$$

Аналогично для ЭП той же группы, присоединенных между фазами b и c ( $\cos\varphi = 0,5$ ):

$$P''_{2b} = 24 \text{ кВт}; \quad Q''_{2b} = 14 \text{ кВАр};$$

$$P''_{2c} = 0 \text{ кВт}; \quad Q''_{2c} = 28 \text{ кВАр}.$$

Для ЭП третьей группы ( $p_{lab}$ ), присоединенных между фазами а и b ( $\cos\varphi = 0,4$ ):

$$P'_{3a} = 29 \text{ кВт}; \quad Q'_{3a} = 21 \text{ кВАр};$$

$$P'_{3b} = -4 \text{ кВт}; \quad Q'_{3b} = 36 \text{ кВАр};$$

и между фазами а и c ( $\cos\varphi = 0,4$ ):

$$P'''_{3c} = 29 \text{ кВт}; \quad Q'''_{3c} = 21 \text{ кВАр};$$

$$P'''_{3a} = -4 \text{ кВт}; \quad Q'''_{3a} = 36 \text{ кВАр}.$$

Средняя активная нагрузка за наиболее нагруженную смену для ЭП, включенных на фазные напряжения:

$$P_{cmb0} = K_u \cdot p_{b0} = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ кВт};$$

$$P_{cmc0} = K_u \cdot p_{c0} = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ кВт}.$$

Реактивные нагрузки этих ЭП равны 0 ( $\cos\varphi = 0$ ).

Для ЭП, включенных на линейные напряжения:

активная нагрузка по фазам:

$$P_{cm(a)} = K_{u1} \cdot (P'_{1a} + P'''_{1a}) + K_{u2} \cdot P'_{2a} + K_{u3} \cdot (P'_{3a} + P'''_{3a}) =$$

$$= 0,35 \cdot [29 + (-4)] + 0,25 \cdot 24 + 0,4 \cdot (-4 + 29) = 25 \text{ кВт};$$

$$P_{cm(b)} = K_{u1} \cdot (P'_{1b} + P''_{1b}) + K_{u2} \cdot (P'_{2a} + P''_{2a}) + K_{u3} \cdot P'_{3b} =$$

$$= 0,35 \cdot [-4 + 29] + 0,25 \cdot (0 + 24) + 0,4 \cdot (-4) = 13 \text{ кВт};$$

$$P_{cm(c)} = K_{u1} \cdot (P''_{1c} + P'_{1c}) + K_{u2} \cdot P'_{2c} + K_{u3} \cdot P'_{3c} =$$

$$= 0,35 \cdot [-4 + 29] + 0,25 \cdot 3 + 0,4 \cdot 29 = 21 \text{ кВт};$$

средняя реактивная нагрузка:

$$Q_{cm(a)} = K_{u1} \cdot (Q'_{1a} + Q'''_{1a}) + K_{u2} \cdot Q'_{2a} + K_{u3} \cdot (Q'_{3a} + Q'''_{3a}) =$$

$$= 0,35 \cdot (21 + 36) + 0,25 \cdot 14 + 0,4 \cdot (21 + 36) = 46 \text{ кВАр};$$

$$Q_{cm(b)} = 44 \text{ кВАр};$$

$$Q_{cm(c)} = 36 \text{ кВАр}.$$

суммарная нагрузка однофазных ЭП, включенных на фазные и линейные напряжения:

$$\begin{aligned}P_{сма} &= P_{сма0} + P_{см(a)} = 0 + 25 = 25 \text{ кВт}; \\P_{сmb} &= P_{сmb0} + P_{см(b)} = 10 + 13 = 23 \text{ кВт}; \\P_{смс} &= P_{смс0} + P_{см(c)} = 10 + 21 = 31 \text{ кВт};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{сма} &= 46 \text{ кВАр}; \\Q_{сmb} &= 44 \text{ кВАр}; \\Q_{смс} &= 36 \text{ кВАр}.\end{aligned}$$

Результаты расчета вносим в таблицу Л2 (Приложение Л).

Находим групповой коэффициент использования для наиболее загруженной фазы (с):

$$K_{из} = \frac{P_{смс}}{\frac{P_{нбс} + P_{нас}}{2} + P_{нс0}} = \frac{31}{\frac{49+50}{2} + 20} = 0,44;$$

вносим  $K_{из}$  в графу 6 итоговой строкой.

Определяем:

$$n_3 = \frac{2 \sum P_{н0}}{3 P_{ноmax}} = \frac{2(25 \cdot 3 + 24 \cdot 2 + 25 \cdot 2 + 20 \cdot 2)}{3 \cdot 25} = 5,68;$$

принимаем  $n_3 = 5$ , вносим результат в графу 10.

По таблице Ж2 (Приложение Ж) находим коэффициент расчетной нагрузки  $K_p = 1,16$  в зависимости от  $n_3$  и  $K_{из}$ , заносим значение в графу 11.

Находим расчетную активную нагрузку ( $n_3 > 10$ ):

$$P_p = K_p \cdot 3 P_{см} = 1,16 \cdot 3 \cdot 31 = 107,88 \text{ кВт}.$$

Находим расчетную реактивную нагрузку ( $n_3 < 10$ ):

$$Q_p = 1,1 \cdot 3 Q_{см} = 1,1 \cdot 3 \cdot 36 = 118,8 \text{ кВАр}.$$

Определяем полную расчетную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{107,88^2 + 118,8^2} = 160,47 \text{ кВА}$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3 \cdot U_n}} = \frac{160,47}{\sqrt{3 \cdot 0,38}} = 244 \text{ А}$$