

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра электроснабжения**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЭЛЕКТРОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Учебно-методическое пособие*

**Минск  
2008**

УДК 621.31.004.67(075.8)  
ББК 31.26я73  
П 37

Рекомендовано научно-методическим советом агроэнергетического факультета БГАТУ  
Протокол № 4 от 12 декабря 2007 г.

Составители: канд. техн. наук, проф. *А.П. Сердешнов*;  
инженер *Т.Г. Базулина*

Рецензенты: канд. техн. наук, проф. кафедры электроснабжения БГАТУ *Г.И. Янукович*;  
канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой электрооборудования *В.А. Дайнеко*

**Проектирование** электроремонтных предприятий : учеб.-метод. пособие /  
П 37 А.П. Сердешнов, Т.Г. Базулина. – Минск : БГАТУ, 2008. – 140 с.  
ISBN 978-985-519-018-0

Издание предназначено для учащихся высших и средних специальных учебных заведений, колледжей, слушателей курсов повышения квалификации.

УДК 621.31.004.67(075.8)  
ББК 31.26я73

ISBN 978-985-519-018-0

© БГАТУ, 2008

## ВВЕДЕНИЕ

Большинство стационарных сельскохозяйственных процессов выполняется с использованием электрической энергии. В них широкое применение получили электропривод машин и механизмов, электрическое освещение помещений, облучение и инфракрасный обогрев животных, электротермические, электротехнологические и другие установки. До 60% потребляемой электроэнергии в сельском хозяйстве приходится на электропривод. Причем, так как чаще всего в сельскохозяйственных процессах используются простые нерегулируемые механизмы, например, вентиляторы, насосы, транспортеры, измельчители, дробилки кормов и др. В состав таких машин, как правило, входят асинхронные двигатели.

Вместе с тем в современных сложных условиях рыночной экономики, когда в хозяйствах Республики Беларусь резко сократилось количество резервных электродвигателей и другого электрооборудования, а парк их продолжает стареть, отказы электрических машин и как следствие остановка технологических процессов приносит большие убытки, особенно в сельском хозяйстве. Вот почему своевременный ремонт отказавших электромашин и аппаратов так необходим производству.

Квалификационная характеристика специальности 1-74 06 05 01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика)» всех специализаций предусматривает достаточную подготовку инженеров-электриков для решения вопросов ремонта электрооборудования и в частности ее организацию. Однако разделы проектирования ремонтных предприятий разбросаны по большому количеству литературных источников, сведения носят отрывочный характер, а объем далеко не полный.

Предлагаемое учебно-методическое пособие предназначено для восполнения указанных пробелов. В нем собран, переработан и согласован материал по основным вопросам проектирования ре-

монтажных предприятий. Рекомендован порядок выполнения проектов, их объем и содержание, даны методики расчетов: анализа фонда предприятия, его уровня, выбора оборудования и определения силовых нагрузок, освещения, определения нагрузки на вводе в помещение, проектирования внутренних электрических сетей (силовых и осветительных), обеспечения внешнего электроснабжения, по экономии электрической энергии, по охране труда и т.п. Указанные расчеты связаны с большим числом факторов, влияющих на качество выполнения ремонта и его себестоимость, которые, следовательно, следует учитывать при проектировании ремонтных предприятий.

В издание включены в достаточном объеме теоретические, справочные и нормативные материалы, что позволяет выполнять проектирование без привлечения дополнительной литературы, если она отсутствует. Однако при наличии сведений по новому оборудованию и материалам ими не следует пренебрегать.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов специальности «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства», учащихся колледжей той же специальности, слушателей повышения квалификации. Оно может быть полезным и для инженерно-технического персонала, занимающегося ремонтом и эксплуатацией электрооборудования в сельскохозяйственном производстве.

# Глава 1

## Проектирование электроремонтных предприятий и методики их расчетов

### 1.1 Общая часть

Цель проектирования ремонтной базы для восстановления работоспособности электрооборудования состоит в разработке такого предприятия, которое способно, при минимальных затратах на его строительство и эксплуатацию, обеспечить ремонт электрических машин и аппаратов в короткий срок с высоким качеством и низкой себестоимостью.

Капитальный ремонт электрического оборудования выполняется специализированными предприятиями. Для ремонта электрооборудования сельского хозяйства Республики Беларусь используются три типа таких предприятий: электроремонтный завод, электроремонтный цех, электроремонтная мастерская.

Электроремонтный завод располагает соответствующим станочным парком, комплектами дорогостоящих приборов, большим числом специальных приспособлений и прочим сложным оборудованием. Технологический процесс капитального ремонта электрических машин и аппаратов в них выполняется в полном объеме. Для узловых ремонтных работ (изолировочно-обмоточных, слесарно-механических и др.) на заводе делаются отдельные цеха. Он способен обеспечить восстановление работоспособности электрического оборудования с полным ресурсом, отвечающим новым машинам или, во всяком случае, близким к ним. Электроремонтные заводы строятся для ремонта сельскохозяйственного электрооборудования в масштабах, как минимум, области (Минский опытный электроремонтный завод, Могилевский электроремонтный завод и др.).

Электроремонтный цех имеет меньшие возможности в приобретении станков и приспособлений, как в количественном, так и в

качественном отношении. Схема технологического процесса носит адаптированный характер, т.е. целый ряд ремонтных работ, по сравнению с заводом, в них часто не делается. Методы выполнения ремонта не редко упрощены и удешевлены. Для узловых ремонтных работ выделяются отделения, которые на площади цеха отделяются или капитальной стеной (например, пропиточное, окрасочное и т.п.), или легкими переборками, или стенами не полной высоты. Восстановленный ресурс, отремонтированного электрооборудования, в них, чаще всего ниже, чем у новых машин. Электроремонтные цеха широкое применение получили в предприятиях «райагропромэнерго».

Электроремонтные мастерские, как правило, располагают только самым необходимым станочным парком, специальными приспособлениями и приборами, без которых ремонт не возможен. Схема технологического процесса приведена в соответствии с требуемым уровнем. Для выполнения узловых ремонтных работ выделены, в основном, участки. Ресурс, отремонтированных в этих условиях машин, за редким исключением всегда ниже, чем у новых. Электроремонтные мастерские, в настоящее время, созданы почти всеми крупными хозяйствами республики, причем ремонт в них иногда выполняют буквально два-три работника, естественно, со всеми вытекающими последствиями в отношении качества. Не смотря на сказанное, такие мастерские имеют в республике широкое применение. На это, правда, имеются объективные причины: высокая стоимость транспортировки отказавшего оборудования, достаточно большая длительность ремонта, между тем, как многие виды сельскохозяйственной продукции являются скоропортящимися и задержка ведет к повышенным экономическим потерям, значительная цена ремонта и пр.

Выбор типа ремонтного предприятия, в основном, зависит от объема ремфонда электрического оборудования. При этом наиболее целесообразное решение должно учитывать: рациональное со-

гласование технических средств и функций предприятия, возможность качественного выполнения ремонта в максимально короткие сроки, полное использование технических средств при наиболее разумной методике проведения ремонтных операций, минимальный расход средств на строительство ремонтной базы и ремонт электрооборудования.

Проектными организациями к настоящему времени, на основании накопленного богатого опыта ремонта, разработаны типовые проекты для строительства таких предприятий с дифференциацией по типам электрооборудования и числу условных единиц ремонта.

## **1.2 Порядок выполнения, объемы разделов и методики их расчетов**

При дипломном проектировании электроремонтных предприятий, отвечающих реальным производственным задачам, можно рекомендовать включение в проект следующих разделов, выполняемых в ниже приведенном порядке и в объеме:

- 1 Анализ ремфонда предприятия.
  - 1.1 Основные показатели хозяйства (или ряда хозяйств).
  - 1.2 Общие сведения об энергетике хозяйств.
  - 1.3 Общая характеристика электрооборудования хозяйств.
- 2 Разработка ремонтного предприятия.
  - 2.1 Расчет ремфонда ремонтной базы.
  - 2.2 Расчет условных единиц электрооборудования.
  - 2.3 Расчет годовой трудоемкости работ на ремонт электрооборудования и численности персонала ремонтной базы, схема организации работы.
  - 2.4 Выбор типа ремонтного предприятия, схем технологических процессов ремонта электрических машин и аппаратов.
  - 2.5 Расчет площадей, проектирование отделений и участков.
  - 2.6 Выбор технологического оборудования.
- 3 Расчет и выбор силового электрооборудования.

- 3.1 Расчет и выбор электрических машин и аппаратов для технологического оборудования.
- 3.2 Расчеты нагревательных приборов.
- 4 Расчеты освещения помещений и выбор его оборудования.
  - 4.1 Конструирование освещения помещений предприятия и определение мощностей ламп, выбор их типов.
  - 4.2 Выбор осветительного оборудования.
- 5 Расчет нагрузки на вводе ремонтного предприятия.
  - 5.1 Графический метод определения нагрузки.
  - 5.2 Аналитический способ определения нагрузки.
- 6 Проектирование внутренних электрических сетей.
  - 6.1 Внутренние сети силового электрооборудования.
    - 6.1.1 Выбор марок проводов и расчеты их сечений, прокладка.
    - 6.1.2 Выбор и расчет пуско-защитной аппаратуры.
    - 6.1.3 Выбор щитов распределительной сети и их размещение.
  - 6.2 Внутренние осветительные сети.
    - 6.2.1. Выбор марок проводов и расчеты их сечений, их прокладка.
    - 6.2.2 Выбор и расчет пуско-защитной аппаратуры.
    - 6.2.3 Выбор щитов распределительной сети и их размещение.

В дипломные работы проектирования электроремонтных предприятий с более полным объемом целесообразно включение дополнительных разделов:

- 7. Проектирование внешнего электроснабжения.
  - 7.1 Составление таблицы потерь и отклонений напряжения у потребителей.
  - 7.2 Выбор и расчет электропитания предприятия от подстанции.
  - 7.3 Расчет суммарной нагрузки на трансформатор подстанции.
  - 7.4 Решение о реконструкции или строительства подстанции.
  - 7.5 Проверка электропитания подстанции.
  - 7.6 Расчет токов короткого замыкания.

- 7.7 Проверка или выбор оборудования подстанции.
- 8 Охрана труда.
  - 8.1 Техника безопасности на предприятии.
  - 8.2 Расчет и конструирование контура заземления.
  - 8.3 Молниезащита предприятия.
  - 8.4 Пожаробезопасность.
- 9 Мероприятия по экономии электрической энергии.
  - 9.1 Естественные методы.
  - 9.2 Искусственные методы.
- 10 Экономическая часть.
  - 10.1 Расчет стоимости капитального ремонта электромашин хозяйств на ремонтных предприятиях района (области).
  - 10.2 Расчет стоимости капитального ремонта для хозяйств на проектируемом ремонтном предприятии.

## Глава 2

### Анализ ремфонда предприятия

Исходными данными для проектирования предприятия служат материалы обследования хозяйства или хозяйств, если оно проектируется как межхозяйственное. При этом четко должна быть сформулирована цель: ремонтная база должна обеспечить ремонт одного какого-то вида оборудования (например – капитальный ремонт электрических машин), или капитальный ремонт всех видов электрического оборудования хозяйства.

Сбор материалов выполняется студентом (учащимися) в период производственной или преддипломной практики, при этом все собираемые сведения должны быть подчинены основной цели проектирования. В необходимый объем материалов входят:

- генплан (или карта) хозяйства, с размещением на нем производственных построек и указанием количества электродвигателей, а также другого основного электрооборудования, подлежащих ремонту на проектируемой базе. Для межхозяйственной базы – карта с географическим размещением хозяйств;
- сведения о дорогах и транспортных средствах, которые связывают объекты хозяйства с местом предполагаемого расположения ремпредприятия;
- климатические и почвенные условия;
- энергетический паспорт хозяйства (или паспорта хозяйств);
- состав и структура энергетической службы, их техническая оснащенность и организация обслуживания электрооборудования;
- сведения об отказавших электрических машинах и аппаратах (количество с дифференциацией по типам и мощностям);
- данные для привязки проектируемого ремонтного предприятия: схема электрических сетей населенного пункта, сведения о питающей подстанции, мощность к.з. в месте подключения объекта к сети и пр.

За получением вышеуказанных сведений, студенту во-первых необходимо обратиться в соответствующие организации района (райисполком, РЭС, службу погоды и пр.). Во-вторых он должен изучить годовые отчеты хозяйства (или хозяйств), журналы учета электроприемников с пускорегулирующей и осветительной аппаратурой, журналы учета работ по техническому обслуживанию за ближайшие 4-5 лет. Ознакомиться, а если его нет составить энергетический паспорт хозяйства (примерная форма его приведена в приложении 1). Провести опрос электриков, обслуживающих электрооборудование. Собранный материал следует обобщить и, для наглядности, целесообразно свести в таблицы, формы которых произвольны, от них лишь требуется отвечать поставленным целям.

Например, при проектировании межхозяйственного предприятия, предназначенного для перемотки обмоток электрических машин, в первую очередь необходимы сведения о наличии ремфонда. В этом случае потребуются данные только о количестве в хозяйствах отказавших (но ремонтпригодных) электромашин с разделением по мощностям. Если их нет, то собираются сведения о машинном парке хозяйств и суммарном числе отказавших машин. Сведения об электромашинках, используемых в хозяйствах, можно свести в рекомендуемую форму таблицы 1, о машинах, подлежащих ремонту с перемоткой обмоток, в таблице 2.

Таблица 1 – Электродвигатели хозяйств на 20.. г

Наименование хозяйств	Количество электродвигателей, по мощностям, кВт, шт.					
	Всего	до 1	1.1-3.0	3.1-5.0	5.1-10	>10
Свинокомплекс «Восточный»	2241	261	704	945	290	41
Итого	32999	3407	7619	17570	3140	1263

**Ремонтный цикл** – это время работы оборудования между двумя капитальными ремонтами или от ввода его в эксплуатацию до первого капремонта.

Таблица 2 – Сведения об электромашинах, требовавших перемотки в 20.. г по хозяйствам.

Наименование хозяйства	Всего электродвигателей в хозяйстве	Число машин, подлежащих перемотке	Примечание
Свинокомплекс "Восточный"	2241	202	
Колхоз "17 сентября"	951	114	
Итого	32999	3656	

Данные в таблицах, здесь и далее, носят условный характер.

В случае если имеется возможность получить данные о количестве машин, требующих капитального ремонта, по мощностям для заполнения используется форма таблицы 1. В дополнение к табличным данным собираются сведения о типах машин, используемых хозяйствами (хозяйством), и их процентное соотношение в общем количестве.

Аналогичные таблицы составляются за 3-4 года, для выяснения характера изменений в электромашинном парке и отказавшим оборудовании, в частности, для определения количественных тенденций с отказами – нахождения ремонтного цикла.

Структурой ремонтного цикла называют порядок чередования видов ремонтных работ в ремонтном цикле. Для примера, схема структуры ремонтного цикла может быть такой:

**КР – ТО – ТО – ТО – ТР – ТО – ТО – ТО – ТР – ТО – ТО – ТО – КР,**

где **КР, ТР** – соответственно, капитальный, текущий ремонты;

**ТО** – техническое обслуживание.

Далее выясняются причины отказов. Причем, в этом отношении важна организация электротехнических служб хозяйств и главное – соответствие численности электромонтеров числу условных единиц эксплуатации электрооборудования.

Условной единицей эксплуатации (у.е.э.) электрооборудования называется отношение усредненных годовых трудоемкостей технического обслуживания и ремонта различных видов электрооборудования к годовой трудоемкости технического обслуживания

и ремонта базовой электроустановки, принятой за эталон. Трудоемкость одной у.е.э. составляет 18,6 чел-ч.

Следовательно, определение условных единиц электротехнического оборудования хозяйства представляет собой грубый расчет трудоемкости работ по его эксплуатации. Перевод оборудования энергетического паспорта хозяйства в условные единицы выполняется с помощью переводных коэффициентов, приведенных в книге Система ППРЭСх [3]. Отсюда, требуемое по действующим нормам число электромонтеров  $N$  равно, чел.

$$N = \frac{\sum \text{у.е.э.}}{100}, \quad (1)$$

где  $\sum \text{у.е.э.}$  – суммарное число условных единиц эксплуатации всего электрооборудования хозяйства;

100 – число условных единиц эксплуатации, по нормам, на одного электромонтера.

Естественно, если число электромонтеров хозяйства ниже нормы, число отказавшего оборудования, как правило, будет повышенным и в дальнейшем следует ожидать дальнейшего роста, если парк электрооборудования хозяйства имеет высокий процент новых серий машин и аппаратов, следует ожидать меньшее количество его отказов, это должно учитываться при расчете ремфонда проектируемого предприятия. Практика показывает, что чем всестороннее и глубже проведен анализ объема и состояния электрооборудования хозяйства, тем рациональнее организован его ремонт с хорошим качеством при минимальной себестоимости.

## Глава 3

### Разработка ремонтного предприятия

Тип предприятия, его оборудование, численность производственного персонала в основном определяется ремонтным фондом.

#### 3.1 Расчет ремфонда ремонтной базы

Под ремфондом, в данном случае, понимается дефектное электрооборудование, работоспособность которых может быть восстановлена путем капитального ремонта.

Расчет объема ремфонда выполняется исходя из целей и задач ремонтного предприятия. Методики расчетов зависят от собранного при обследовании хозяйств материала. Наиболее желателен вариант, когда сведения позволяют составить таблицу 3. Ремфонд –  $N_i$ , для каждого ( $i$ -го) вида оборудования в нем (с учетом показательного интервала), найден по формуле:

$$N_i = \frac{N_{iy}}{T_{\text{ц}}}, \quad (2)$$

где  $N_{iy}$  – число установленного оборудования  $i$ -го вида, шт;

$T_{\text{ц}}$  – ремонтный цикл, лет.

Ремфонд  $N_i$  подсчитывается для каждого вида оборудования в установленных интервалах. Например, ремфонд двигателей в интервале от 3,1-5,0 кВт –  $N_{\text{дз-5}}$  и ремфонд сварочных трансформаторов в интервале до 300 А –  $N_{\text{ст}<300}$  будут равны

$$N_{\text{дз-5}} = \frac{200}{4,5} = 44 \text{ шт}$$

$$N_{\text{ст}<300} = \frac{50}{4,0} = 12 \text{ шт.}$$

Аналогично проводится расчет и другого ремфонда, данные сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчет ремфонда предприятия

Наименование электрооборудования, их группировка	Тц, ремонтный цикл, лет	Число, шт.	
		Установлено	Ремфонд
Электродвигатели, шт из них по мощностям, кВт:	-	100	201
до 1,0	5,0	100	20
1,1-3,0	6,0	200	33
3,1-5,0	4,5	200	44
5,1-10,0	5,0	400	80
более 10,0	4,2	100	24
Сварочные трансформаторы, шт. в том числе по току сварки, А	-	100	25
до 300	4	50	12
более 300	4	50	13
Силовые трансформаторы	и т. д.		

$T_{ц}$  – определяются, по данным обследования, для каждого вида оборудования с учетом показательных интервалов.

\* Если данные обследования хозяйства не дает возможности для определения ремонтного цикла,  $T_{ц}$  берутся по действующим нормам (срок службы, установленный ГОСТом, для данной машины или аппарата). Однако, как показывает практика, в последнем случае ремфонд получается значительно заниженным, так как фактический  $T_{ц}$  оборудования в сельском хозяйстве много меньше (в среднем до 50-60%), чем нормативный, следовательно, его необходимо скорректировать по формуле, лет

$$T_{ц} = K_{к} \cdot T_{ц(н)}, \quad (3)$$

где  $K_{к}$  – коэффициент коррекции,  $K_{к} = 0,5-0,75$  – чем лучше эксплуатация, чем больше новых машин в парке, тем  $K_{к}$  выше;

$T_{ц(н)}$  – нормативный ремонтный цикл, лет.

\* Если при обследовании хозяйства возможно получение достаточно полных сведений об оборудовании (о типах, мощностях по интервалу), требующем капитального ремонта, таблица 3 – расчет ремфонда – обычно не делается.

По данным таблицы 3 (или таблицы 2, если в ней есть все необходимые данные) ремфонд, для удобства проектирования, переводится в условные единицы ремонта.

### 3.2 Расчет условных единиц ремонта электрооборудования

Условной единицей ремонта ( $Z_{yc}$ ) называется ремонт одного условного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, защищенного исполнения, с номинальным напряжением 380/220 В, частотой вращения  $1500 \text{ мин}^{-1}$ , мощностью 5 кВт. В условные единицы можно перевести весь ремфонд предприятия пользуясь понятием категории сложности ремонта.

Категорией сложности ремонта  $R$  называют отношение трудозатрат на ремонт любого электрооборудования  $T_n$  в чел-ч к трудозатратам на ремонт одной условной единицы  $T_{yc}$  (чел-ч). Категория сложности для любого вида ремонта (капитального или текущего) одна и та же.

$$R = \frac{T_n}{T_{yc}}, \quad (4)$$

Категории сложности ремонта для основных видов электрооборудования приведены в таблице 4.

С помощью таблицы 4 все дефектное электрооборудование таблицы 3 переводится в условные единицы ремонта по формуле

$$Z_{iyc} = N_i \cdot R, \quad (5)$$

Результаты расчетов ремфонда по каждой позиции сводится в таблицу 5.

Суммарное число условных единиц ремонтного предприятия определяется из выражения, шт:

$$\Sigma Z_{yc} = K_p (Z_{д<1} + Z_{д1-3} + \dots + Z_{ст<300} + \dots + Z_{т100-250} + Z_A), \quad (6)$$

где  $K_p$  – коэффициент, учитывающий рост ремфонда за счет перспективного увеличения объема оборудования хозяйств, изменения в количественном соотношении в парке машин новых и давно эксплуатируемых и т.п. В расчетах, в настоящее время,  $K_p$  принимают равным 1,15–1,3.

$Z_{Д<1}$  – число условных единиц двигателей в интервале мощности до 1 кВт;

$Z_{Д1-3}$  – число условных единиц двигателей в интервале мощности от 1,1 до 3,0 кВт;

$Z_{СТ<300}$  – число условных единиц сварочных трансформаторов в интервале до 300 А;

$Z_{Т100-250}$  – число условных единиц силовых трансформаторов в интервале мощностей от 101 до 250 кВ.А;

$Z_A$  – число условных единиц автоматических выключателей.

Таблица 4 – Категории сложности ремонта электрооборудования

Наименование оборудования с разбивкой по интервалам	Категория сложности $R$	Наименование оборудования с разбивкой по интервалам	Категория сложности $R$
Асинхронные двигатели с к.з. ротором $U_n$ до 500 В с интервалами по мощностям, кВт		Сварочные трансформаторы, шт. в том числе по току сварки, А	
		до 300	3,0
		более 300	5,0
до 1,0	0,8	Трансформаторы силовые с интервалами по мощностям, кВ·А	
1,1-3,0	0,9		
1,1-5,0	1,0	до 100	11,0
5,1-10,0	1,5	101-250	13,0
10,0-15,0	3,5	251-630	20,0
15,1-30,0	6,0	более 630	25,0

Таблица 5 – Расчет условных единиц ремонта предприятия

Наименование электрооборудования, их группировка	Категория сложности $R$	Ремфонд, шт.	Число условных единиц
Электродвигатели, шт., из них по мощностям, кВт:			
до 1,0	0,8	20	16,0
1,1-3,0	0,9	33	29,7
3,1-5,0	1,0	44	44,0

### Окончание таблицы 5

Наименование электрооборудования, их группировка	Категория сложности R	Ремфонд, шт.	Число условных единиц
5,1-10,0	1,5	80	120,0
более 10,0	2,0	24	48,0
Сварочные трансформаторы, шт., в том числе по току сварки, А до 300	-	100	25
	3,0	12	36,0
	5,0	13	65,0
Силовые трансформаторы	и т. д.		

### 3.3 Расчет годовой трудоемкости работ на ремонт электрооборудования и численности рабочих ремонтной базы

#### 3.3.1 Суммарные годовые трудовозатраты предприятия

Рассчитываются по восстановлению работоспособности ремфонда по выражению, чел-ч

$$\Sigma T_{yc} = \Sigma Z_{yc} \cdot t_k, \quad (7)$$

где  $t_k$  – нормативная трудоемкость капитального ремонта на одну условную единицу, чел.-ч, ( $t_k = 12,5$  чел.-ч).

Нормативная трудоемкость на одну условную единицу установлена, исходя из условий нормальной доступности, ремонтируемых узлов и деталей электромашин, и усредненной обеспеченности рабочих техническими средствами при ремонте.

#### 3.3.2 Численность рабочих ремонтного предприятия

Определяется по формуле, чел.:

$$N_p = \frac{\Sigma T_{yc}}{\Phi}, \quad (8)$$

где  $\Phi$  – действительный годовой фонд рабочего времени одного человека, час. Он определяется по выражению:

$$\Phi = (d_k - d_B - d_{II} - d_O) \cdot t \cdot h, \quad (9)$$

где  $d_k$  – количество календарных дней в году;

$d_B$  – количество выходных дней в году;

$d_{\Pi}$  – количество праздничных дней в году;

$d_{\text{O}}$  – количество отпускных дней в году;

$t$  – продолжительность рабочей смены, ч, при двух выходных днях в неделю  $t = 8,24$  ч ;

$h$  – коэффициент выхода электромонтера на работу,  $h = 0,95 - 0,96$ .

Из опыта ремонтной практики республики, с учетом вида ремпредприятия, наиболее рациональным распределением производственных рабочих ( $N_{\text{P}}$ ) по специальностям является: обмотчиков – 35-40%, электрослесарей – 18-20%, электромонтеров – 10-15%, станочников – 12-15%, остальное для других специальностей.

В соответствии с действующими нормативами, руководящий и обслуживающий персонал базы рассчитывается от числа рабочих ( $N_{\text{P}}$ ), инженерно-технический персонал и должен составлять  $N_{\text{ИТР}} = 8\%$ , счетно-конторский персонал  $N_{\text{Б}} = 4\%$ , обслуживающий  $N_{\text{ОБ}} = 3\%$ . Отсюда, чел:

$$N_{\text{ИТР}} = 0,08 \cdot N_{\text{P}} + x, \quad N_{\text{Б}} = 0,04 \cdot N_{\text{P}} + x, \quad N_{\text{ОБ}} = 0,03 \cdot N_{\text{P}} + x. \quad (10)$$

где  $x$  - любое число, доводящее  $N_{\text{ИТР}}$ ,  $N_{\text{Б}}$ ,  $N_{\text{ОБ}}$  до целого значения.

Суммарное число работающих на ремпредприятии, чел.

$$N = N_{\text{P}} + N_{\text{ИТР}} + N_{\text{Б}} + N_{\text{ОБ}} \quad (11)$$

Завершается пункт составлением структурной схемы организации ремонтной базы.

## **3.4 Выбор типа ремонтного предприятия и схемы технологического процесса капитального ремонта электрических машин**

### **3.4.1 Выбор типа ремонтного предприятия**

Выбор типа ремонтного предприятия делается исходя, в первую очередь, из объема годового ремфонда (обычно он оценивается в условных единицах ремонта –  $\Sigma Z_{yc}$ ) и перспективы дальнейшего развития ремонтной базы. Вместе с тем учитываются назначение предприятия – многоплановое или узкоспециализированное, т.е. предназначена она для ремонта различных видов электрических машин и аппаратов или только для капитального ремонта одного какого то вида (например, для перемотки обмоток асинхронных двигателей, а также другие соображения о которых говорилось в начале раздела.

Сравнивая с данными типовых проектов Строительного каталога, часть 2 – "Типовые проекты предприятий, зданий и сооружений", объем годового ремфонда  $\Sigma Z_{yc}$  (условных единиц ремонта), проектируемого предприятия, подбирают наиболее подходящий типовой проект. Обычно при  $\Sigma Z_{yc}$  до 2000 (включительно) выбирается соответствующая электроремонтная мастерская, при  $\Sigma Z_{yc}$  от 2500 до 14000 – электроремонтный цех, при  $\Sigma Z_{yc}$  более 15000 – электроремонтный завод.

Наличие типовых проектов ремонтных предприятий не исключает возможности как перепланировки и приспособления их к конкретным задачам хозяйства, так и использование для рембазы существующих помещений, если по своим параметрам они отвечают требованиям расчетов (площади и пр.). В последнем случае, чаще всего, проводится соответствующая перестройка. Наконец, возможно строительство ремпредприятия по собственным разработкам.

### 3.4.2 Выбор схемы технологического процесса

Типовая схема технологического процесса ремонта электрических машин хорошо известна, она приведена на рисунке 1. Однако, условия и возможности конкретных хозяйств, конечно потребуют внесения в нее необходимых изменений, иногда весьма существенных. При многоплановом ремонте электрооборудования, схемы технологических процессов принимаются для каждого вида оборудования. Могут также разрабатываться совмещенные схемы для нескольких или всех ремонтируемых видов электрических машин и аппаратов. Исходные данные для выбора или разработки схем технологических процессов те же, что и при выборе типа ремонтного предприятия.

## 3.5 Расчет площадей, проектирование отделений и участков

### 3.5.1 Расчет площадей

Для привязки типового проекта ремонтного предприятия или существующего помещения, уточнения и модернизации их к конкретным условиям хозяйства проводится расчет требуемой производственной площади, м<sup>2</sup>:

$$Q = q_y \cdot N_p, \quad (12)$$

где  $q_y$  – удельная площадь на одного рабочего, м<sup>2</sup>.

$N_p$  – численность производственного персонала, чел.

Удельная площадь на одного рабочего  $q_y$  принимают в зависимости от величины ремонтного предприятия в пределах от 10 до 20 м<sup>2</sup> в обратной пропорциональности, т.е. чем меньше рембаза, тем больше  $q_y$  (например, для электроремонтных мастерских на 2-3 рабочих  $q_y = 20$  м<sup>2</sup>).

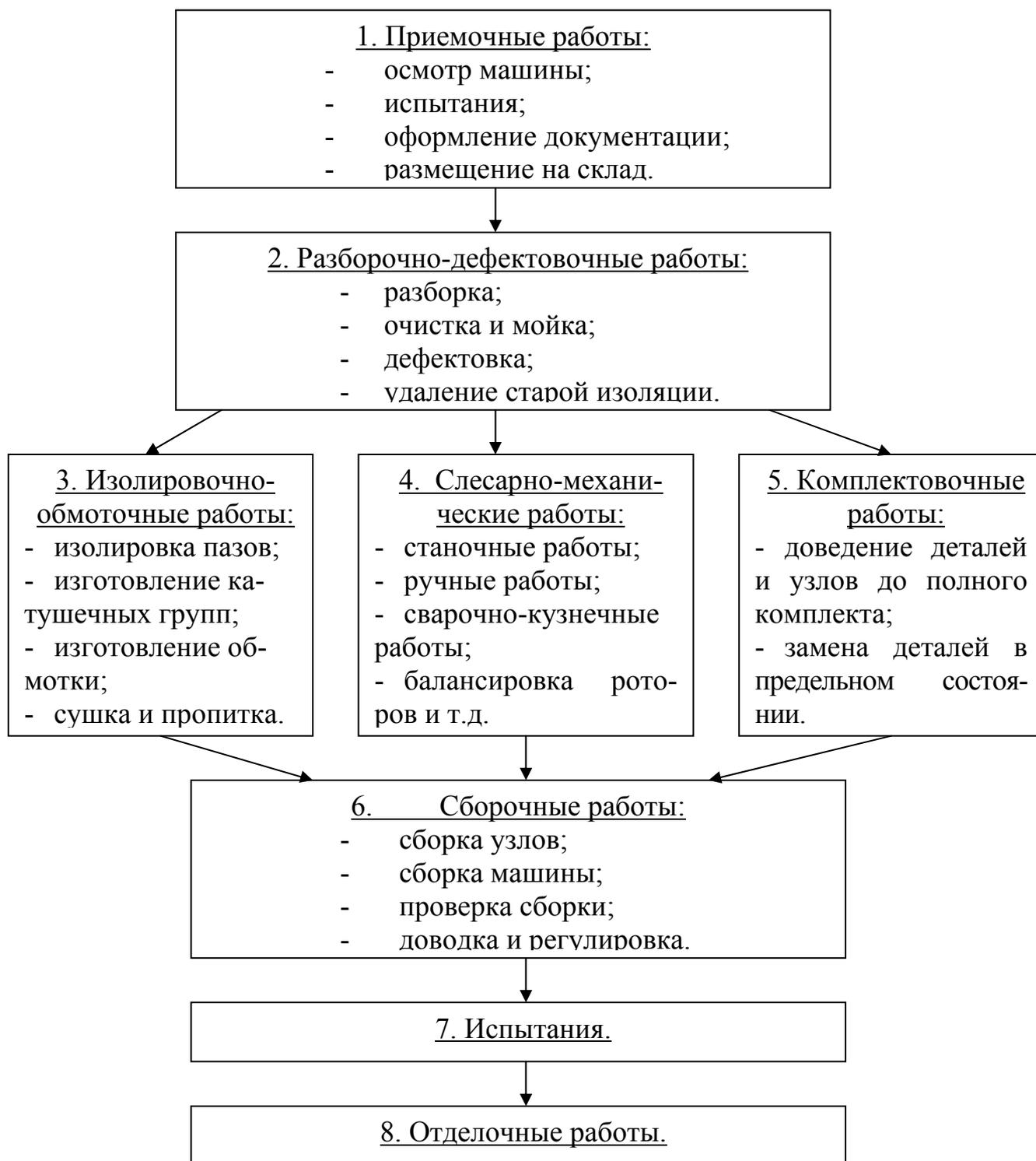


Рисунок 1 – Типовая схема технологического процесса ремонта электрических машин

Полученную площадь  $Q$  делят на отделения, участки и т.д. Отделениями называется часть производственной площади на которой выполняется группа связанных между собой однотипных ре-

монтажных работ технологического процесса (разборочно-дефектовочные работы, изолировочно-обмоточные и пр.), чаще всего отделяется от общей площади капитальной стеной или перегородкой. Участком принято называть часть отделения, предназначенная для выполнения конкретной работы (операции). Иногда они также, могут отделяться от общей площади стеной или перегородкой (сварочный участок, пропиточный участок и пр.).

Расчет площадей и участков можно выполнить по формуле, м<sup>2</sup>:

$$Q_N = K_r \cdot \Sigma Q_N, \quad (13)$$

где  $Q_N$  – площадь участка, м<sup>2</sup>;

$K_r$  – коэффициент распределения производственной площади, м<sup>2</sup>, принимается по таблице 6.

Таблица 6 – Коэффициенты распределения производственной площади.

Наименование отделений и участков	$K_r$	Примечания
Склад ремфонда и участок приемки	0,10-0,15	Отделения и участки, в зависимости от конкретных условий, могут объединяться на одной площади
Разборочно-дефектовочное	0,15-0,20	
Слесарно-механическое	0,07-0,10	
Изолировочно-обмоточное	0,10-0,30	
Участок пропитки и сушки	0,04-0,06	
Участок окраски	0,03-0,04	
Сборочное	0,10-0,20	
Испытательный участок	0,04-0,08	
Склад готовой продукции	0,04-0,05	

Площади остальных помещений ремпредприятия подсчитываются по следующим нормам:

комната отдыха – 0,5 м<sup>2</sup> на одного человека,

комната для инженерно-технического персонала – 5 м<sup>2</sup> на одного человека,

комната для бухгалтерии – 3 м<sup>2</sup> на одного работника,

гардеробная – 0,2 м<sup>2</sup> на одного работника,

комната для умывальников  $0,05 \text{ м}^2$  на одного человека,  
душевая комната  $1 \text{ м}^2$  на 15 человек,  
туалет –  $2,5 \text{ м}^2$  на 25 человек.

Из изложенного, суммарная площадь помещения ремпредприятия  $\Sigma Q$  может быть выражена формулой,  $\text{м}^2$ :

$$\Sigma Q = Q + 0,5 \cdot N + 5,0 \cdot N_{\text{ИТР}} + 3,0 \cdot N_{\text{Б}} + 0,2 \cdot N + 0,05 \cdot N + N/15 + 2,5 \cdot N/25, \quad (14)$$

где  $N$  – суммарное число работающих на ремпредприятии, чел.

### **3.5.2 Компоновка ремонтного предприятия**

В случае строительства ремонтной базы по индивидуальному проекту, при проектировании помещения для нее, требуется соблюдение строительных норм. Тогда, размер ширины здания ( $U$ ) должен быть кратным 3 или 6, а отношение его длины ( $L$ ) к ширине ( $L:U$ ) не более чем 3:1.

В соответствии со схемой технологического процесса ремонта, принятые отделения и участки размещаются на производственной площади в соответствии с принципом поступательного (без возврата) перемещения ремонтируемого объекта, с прямым или замкнутым циклом выполнения операций. В первом случае вход и выход находятся с противоположных сторон здания, во втором с одной. Как показывает практика, в основном, мастерские принимаются с перемещением ремоборудования по замкнутым циклам.

Отделения, связанные общим грузопотоком, целесообразно не разделять капитальными стенами. Это дает возможность более полно использовать возможности подъемно-транспортных средств. В случаях необходимости, можно установить невысокие перегородки. При этом участки, которые по действующим нормам, должны быть обязательно отделены капитальной стеной (пропитки, окраски и т.п.) выделяются и размещаются в непосредственной близости от связанных с ними отделений.

Расстановка оборудования выполняется в соответствии с требованиями строительных норм и техники безопасности: проезды в

помещениях должны быть не менее 1,5-2,0 м, проходы – 0,7 м, расстояние от стен до оборудования 0,5 м. По завершении размещения оборудования проводится уточнение размеров площадей отделений и участков.

После этого выполняется размещение бытовых и других помещений, которые отделяются от производственных капитальными стенами. В заключение проводится окончательное определение размеров здания. Примерная компоновка электроремонтной мастерской по типовому проекту приведена на рисунок 2 и для электроремонтного цеха на рисунок 3.

### **3.5.3 Место размещения ремонтной базы**

Целесообразное место размещения ремонтной базы определяет:

Минимальный расход трудозатрат и времени на транспортировку ремонтнопригодных электрических машин на ремонтную базу.

Местоположение питающей подстанции возможности экономической прокладки питающей линии.

Согласование (минимизация) оборудования базы с возможностями оборудования других цехов или мастерских хозяйства.

Выполнение условий охраны окружающей среды.

Экономические показатели. При всех равных условиях предпочтение должно отдаваться наиболее дешевому варианту.

Для выполнения первого условия, используется метод аналогии нахождения центра массы фигуры, и определения центра распределения электрооборудования по территории хозяйства (хозяйств). Исходя из этого территория хозяйства помещается в оси координат  $X$  и  $Y$ . У каждого его производственного объекта указывается количество основного электрооборудования (выраженного в числе условных единиц ремонта) и находятся проекции их положения на осях  $X$  и  $Y$ .

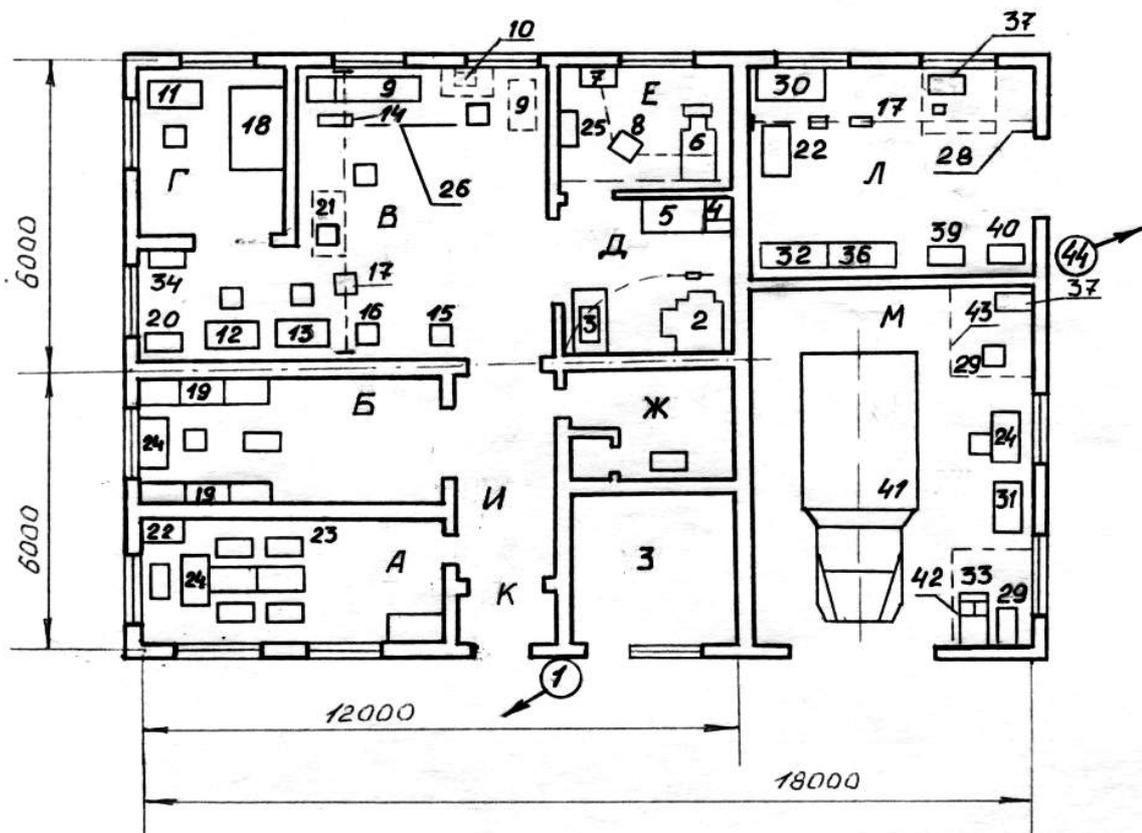


Рисунок 2 – Компоновка типового пункта технического обслуживания и ремонта электрооборудования:

А – помещение для персонала; Б – склад; В – участок ремонта электрооборудования; Г – участок ремонта средств связи, Д – участок пропитки и сушки; Е – участок окраски; Ж и З – вспомогательные помещения; И и К –тамбуры; Л – монтажный цех; М – гараж (заготовительный участок).  
 1 и 44 – консольные краны, 2 и 4 – сушильные шкафы, 3 – пропиточный бак, 5, 24, 30 и 31 – столы, 6 – камера для окраски, 7 – стол-верстак, 8 – передвижной компрессор, 9 – рабочее место ремонта двигателей, 10 – щит силовой, 11 – стенд измерительный, 12 – рабочее место для ремонта электроосветительных установок, 13 – рабочее место для ремонта пускозащитной аппаратуры, 14 и 36 – сварочные трансформаторы, 15 и 40 – электроточила, 16 и 39 – настольно-сверлильные станки, 17 – таль, 18, 19, 20, 31, 32 и 33 – стеллажи, 21 – тележка, 22 и 25 – шкафы, 23 – стул, 29 и 37 – испытательные установки, 28, 42 и 43 – ограждения, 41 – передвижная лаборатория

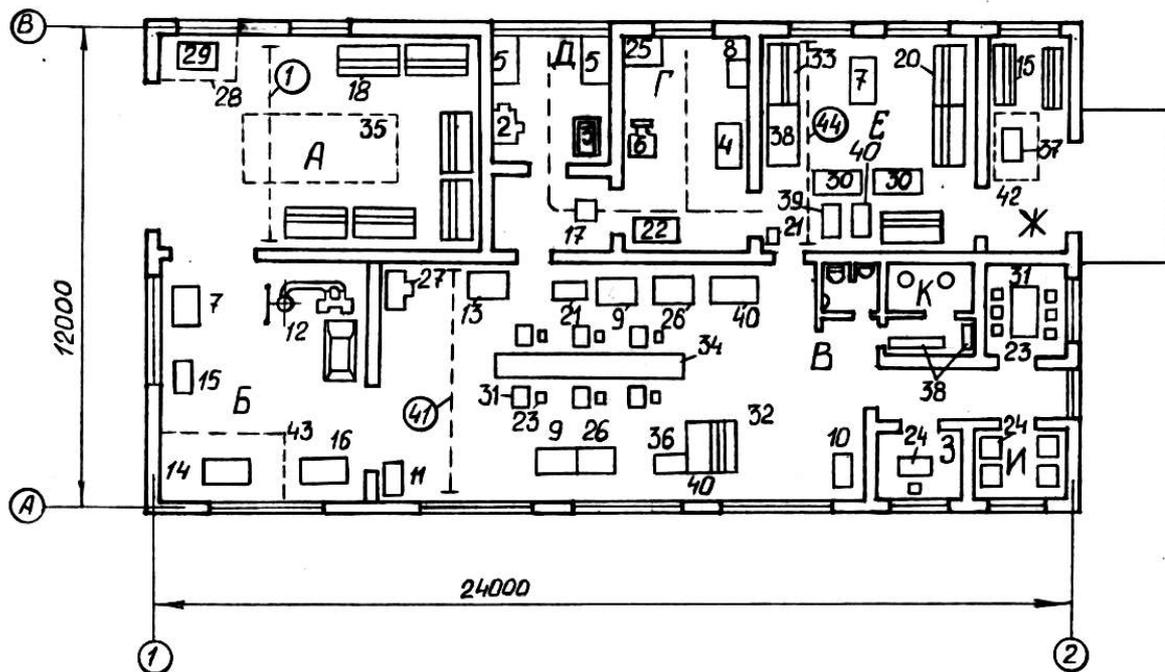


Рисунок 3 – Компановка типового (с уточнениями) электроремонтного цеха для ремонта электрических машин:

А – склад ремфонда с приемочным участком; Б – разборочно-дефектовочное отделение; В – изолировочно-обмоточное отделение; Г – пропиточно-сушильный участок; Д – окрасочный участок; Е – сборочное отделение; Ж – склад готовой продукции с участком испытания; З – кабинет мастера; И – комната инженерно-технического и счетного персонала; К – бытовые помещения.

1, 41 и 44 – кран-балки, 2 и 4 – сушильные шкафы, 3 – пропиточный бак, 5, 24, 30 и 31 – столы, 6 – камера для окраски, 7 – столы-верстаки, 8 – передвижной компрессор, 9 – намоточный станок, 10 – щит силовой, 11 – щит электроосветительный, 12 – рабочее место для чистки и мойки деталей, 13 – балансировочный станок, 14 и 36 – сварочные трансформаторы, 15 и 40 – электроточила, 16 и 39 – настольно-сверлильные станки, 17 – тельфер, 18, 19, 20, 32 и 33 – стеллажи, 21 – тележка, 22, 25, 38 и 40 – шкафы, 23 – стул, 29 и 37 – испытательные установки, 26 – рабочее место для изготовления пазовой изоляции, 27 – бандажировочный станок, 28, 42 и 43 – ограждения, 34 – конвейер укладки обмоток, 35 – полигон для крупногабаритных машин

Координаты расчетного центра –  $X_p$  и  $Y_p$ , размещения машин, определяются по формулам:

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{yci} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n Z_{yc}} \quad \text{и} \quad Y_p = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{yci} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n Z_{yc}}, \quad (15)$$

где  $Z_{yc}$  – число условных единиц ремонта объекта, шт.;

$X_i, Y_i$  – проекции  $Z_{yci}$  на оси, соответственно,  $X$  и  $Y$ , м;

$\Sigma Z_{yc}$  – суммарное число условных единиц ремонта оборудования всех объектов хозяйства, шт.

По найденному центру размещения электрооборудования в хозяйстве, с учетом ранее изложенных соображений, проводится уточнение места рационального расположения электроремонтной базы.

### **3.5.4 Выбор технологического оборудования ремонтного предприятия**

Выполняется исходя из необходимости выполнения операций технологического процесса, полной его загрузки, максимально допустимой для данного предприятия механизации трудоемких процессов, экономичности.

Выбор типового оборудования, а также, частично, нетипового (моечные машины, пропиточные ванны и т.д.) производится по каталогам, проспектам, информационным данным и справочникам. Специальные приспособления (устройства: для индукционного нагрева подшипников, выема роторов, удаления старых обмоток, продоразивания коллекторов и пр.), инвентарь (стеллажи, тележки, столы, шкафы и т.п.) выполняются, в основном, по индивидуальным заказам. Инструменты (обмотчика, электромонтерские, слесарные и пр.) выбирают по каталогам. Нередко оборудование для иных целей может использоваться для механизации труда в электроремонтном предприятии. Необходимое количество оборудования в основном должно соответствовать типовой номенклатуре. В целях обеспечения ритмичной работы ремонтного предприятия, в заключение проводится согласование производительности выбранного оборудования.

## Глава 4

### Расчет и выбор силового электрооборудования

Выбор, а следовательно и расчеты, электрооборудования ремонтных предприятий выполняется в строгом соответствии с положениями правил устройства электроустановок, технической эксплуатации потребителей и техники безопасности (ПУЭ, ПТЭ, ПТБ).

Вместе с тем, выбираемое оборудование, должно быть экономичным. Поэтому в электроприводе, получили такое широкое применение асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором: в производстве самые дешевые (так как несложны по конструкции, требуют наименьшего расхода электротехнических материалов и пр.), в эксплуатации самые простые и самые надежные.

На выбор электрических изделий существенное влияние оказывает окружающая среда: климатические условия и условия размещения.

По макроклиматическим условиям районы, делят: с умеренным климатом (У), с холодным (ХЛ), с тропическим влажным (ТВ), с тропическим сухим (ТС). Указанные в скобках буквы, соответственно, ставятся конце условных обозначений электрооборудования, для указания его предназначения. В том случае, если в конце стоит буква О – то, это изделие общеклиматического исполнения, т.е. для всех микроклиматических районов на суше, если Т – то, для микроклиматических районов как с сухим, так и с влажным тропическим климатом.

Помещения ремпредприятий, в основном, относятся к категориям: сухим (относительная влажность не превышает 60%) – слесарномеханические, изолировочно-обмоточные, сборочные отделения, бытовые и другие подобные помещения; влажным (пары и конденсирующаяся влага выделяются лишь временно и притом в небольших количествах, относительная влажность не превышает 75%) – неотапливаемые склады и т.п.; сырым – (относительная влажность длительно выше 75%) – например, душевая. Категории размещения электроизделий указываются в конце условных обо-

значений цифрами: 1 – для работы на открытом воздухе, 2 – для работы в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеются сравнительно свободный доступ наружного воздуха (в палатках, металлических помещениях без теплоизоляции и т.п.), 3 – для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе (каменных, бетонных, деревянных и металлических с теплоизоляцией помещениях), 4 – для работы в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями (в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых помещениях и т.п.), 5 – для работы в помещениях с повышенной влажностью.

При выборе обращается внимание и на степень защиты обслуживающего персонала и оборудования. Согласно ГОСТ она в условных обозначениях показывается буквами IP и двумя цифрами (например, IP54 и т.п.). Первая цифра его показывает степень защиты от соприкосновения персонала с токоведущими или движущимися частями электрического оборудования и попадания внутрь изделий твердых посторонних тел:

0 – отсутствует защита от возможности соприкосновения персонала с токоведущими и движущимися частями внутри оболочки и от попадания под корпус посторонних твердых тел;

1 – защита от случайного соприкосновения большого участка поверхности человеческого тела с токоведущими и движущимися частями внутри оболочки. Отсутствует защита от преднамеренного доступа к этим частям. Защита оборудования от попадания крупных твердых посторонних тел диаметром не менее 52,5 мм;

2 – защита от возможности соприкосновения пальцев человека с токоведущими и движущимися частями внутри оболочки. Защита

оборудования от попадания твердых посторонних тел среднего размера диаметром не менее 12,5 мм;

3 – защита от соприкосновения инструмента, проволоки или других подобных предметов, толщина которых превышает 2,5 мм, с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки. Защита оборудования от попадания мелких твердых посторонних тел диаметром не менее 2,5 мм;

4 – защита от соприкосновения инструмента, проволоки или других подобных предметов, толщина которых превышает 1,0 мм, с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки. Защита оборудования от попадания мелких твердых посторонних тел толщиной не менее 1,0 мм;

5 – полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки. Защита оборудования от вредных отложений пыли;

6 – полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки, и полная защита оборудования от попадания пыли.

Вторая цифра обозначения показывает степень защиты оборудования от проникновения внутрь оболочки воды:

0 – защита оборудования от проникновения воды внутрь оболочки отсутствует;

1 – защита от капель сконденсировавшейся воды. Капли ее, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку;

2 – защита от капель воды. Капли воды, падающие на оболочку, наклонную под углом не более  $15^\circ$  к вертикали, не должны оказывать вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку;

3 – защита от дождя. Дождь, падающий на оболочку, наклонную под углом не более  $60^\circ$  к вертикали, не должны оказывать вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку;

4 – защита от брызг. Брызги воды любого направления, падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку;

5 – защита от водяных струй. Вода, выбрасываемая через наконечник на оборудование в любом направлении при условиях, указанных в стандартах на отдельные виды электрооборудования, не должна оказывать вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку;

6 – защита от воздействий, характерных для палубы корабля;

7 – защита от погружения в воду. Вода не должна проникать в оболочку при давлении и в течении времени, указанного в стандартах на отдельные виды электрооборудования.

#### **4.1 Расчет и выбор электродвигателей для привода технологического оборудования**

Как правило, технологическое оборудование поставляется заводами-изготовителями с уже установленными электродвигателями и учащимся требуется лишь проверить их соответствие конкретным условиям работы: по рассмотренным условиям окружающей среды и требованиям защиты, по условиям эксплуатации, по возможности пуска и нормального функционирования в данной питающей сети и пр.

Условия эксплуатации электромашин (таблица 7) могут быть как легкими и нормальными (в закрытых, отапливаемых помещениях), так жесткими и особо жесткими (в пропиточном и окрасочном участках и т.п.).

Вместе с тем, в случаях, когда коэффициент загрузки установленного двигателя ниже 0,7, может быть целесообразным замена его на другой более экономичный, что требует соответствующего расчета. При учебном проектировании, расчеты для выбора электродвигателя могут выполняются также с целью углубленной проработки материала по заданию руководителя.

Таблица 7 – Условия эксплуатации электродвигателей.

Характеристики	Условия эксплуатации			
	легкие	нормальные	жесткие	особо жесткие
Количество пусков в час	0,2	2 ... 10	>10	много более 10
Продолжительность пусков, с	меньше 1	1 ... 3	3 ... 10	более 10
Коэффициент загрузки	меньше 1	1	>1	много более 1
Уровень вибрации, мм/с	меньше 10	10	>10	много более 10
Среда:				
• место размещения	Закрытое помещение с искусственным регулированием климата	Закрытое помещение с естественной вентиляцией	Открытый воздух, под навесом, помещения с повышенной влажностью	Сырые помещения с химически активной средой
• запыленность, мг/м <sup>3</sup>	менее 16	16 ... 60	60	более 60
• загазованность по аммиаку, г/м <sup>3</sup>	менее 0,03	0,03	более 0,03	много более 0,03
Режим работы	S1	S2	S2	S4, S5, S6 и S7

#### 4.1.1 Расчет и выбор электродвигателей по максимальной мощности рабочей машины

Расчет потребной мощности электродвигателя выполняется по формуле, кВт:

$$P_d = \frac{P_{\text{мрм}}}{\eta_{\text{пер}}}, \quad (16)$$

где  $P_{\text{мрм}}$  – максимальная мощность рабочей машины (нагрузка), кВт;  
 $\eta_{\text{пер}}$  – коэффициент полезного действия передачи.

КПД передачи ( $\eta_{\text{пер}}$ ) принимается: для непосредственного соединения 1,0; для цепной – 0,96...0,97; для зубчатой в масляной ванне – 0,95 ... 0,98, для зубчатой сухой – 0,93 ... 0,95, для клиноременной – 0,95 ... 0,98.

Выбор же номинальных мощностей электродвигателей выполняются с учетом режимов их работы.

В ремонтных предприятиях электродвигатели в основном работают в следующих режимах (рисунок 4): *продолжительном* (S1) – когда за период работы, все части машины нагреваются до установившейся температуры ( $t^{\circ}_y$ ), *кратковременном* (S2) – когда за период работы они не успевают нагреться до  $t^{\circ}_y$ , а за период остановки охлаждаются до температуры окружающей среды ( $t^{\circ}_{oc}$ ) и *повторно-кратковременном* (S3) – когда за период работы они не успевают нагреться до  $t^{\circ}_y$ , а за период остановки не успевают остыть до  $t^{\circ}_{oc}$ .

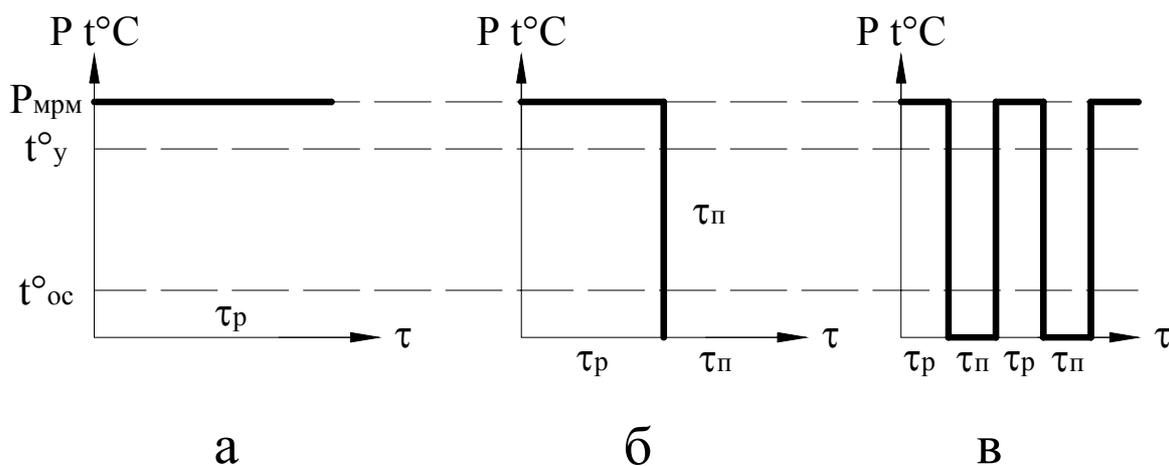


Рисунок 4 – Графики нагрузок и нагрева электродвигателей в режимах: а) продолжительном, б) кратковременном, г) повторно-кратковременном

Максимальная мощность рабочей машины при продолжительном режиме работы, в общем случае, берется равной номинальной мощности на ее валу  $P_{\text{мрм}} = P_{\text{нм}}$ . Однако, продолжительный режим может носить и переменный характер, рисунок 5. Тогда  $P_{\text{мрм}} = P_{\text{эм}}$ , где  $P_{\text{эм}}$  – эквивалентная, по износу изоляции, нагрузка работы машины по конкретному графику. Находится из выражения, кВт:

$$P_{эм} = \sqrt{\frac{P_1^2 \tau_1 + P_2^2 \tau_2 + P_3^2 \tau_3 + \dots + P_n^2 \tau_n}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots + \tau_n}} \quad (17)$$

где  $P_1, P_2, P_3 \dots P_n$  – нагрузки рабочей машины (кВт), соответственно, за время  $\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots \tau_n$  графика работы машины (ч).

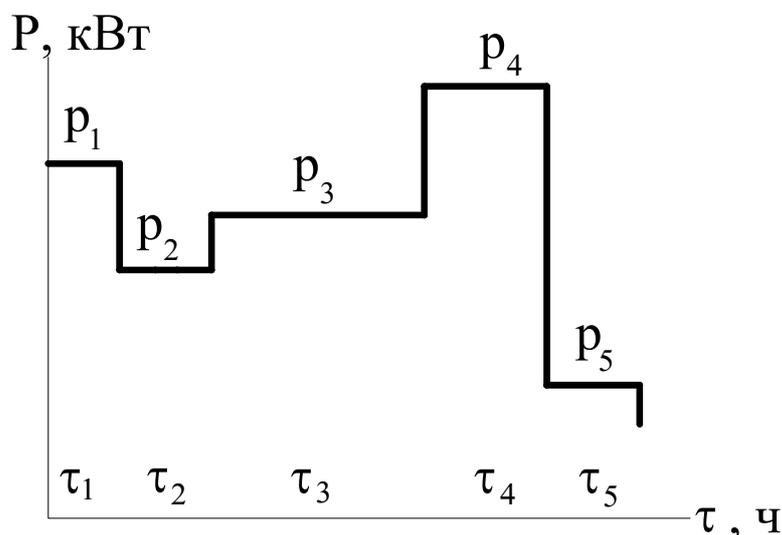


Рисунок 5 – График продолжительной переменной нагрузки электродвигателя

Подставив  $P_{эм}$  в формулу (17), находят  $P_д$ . В каталоге (справочнике), для рассчитанной  $P_д$ , подбирается ближайший стандартный электродвигатель ( $P_н$ ), кВт:

$$P_н \geq P_д \quad (18)$$

В заключение, если нагрузка носит резкопеременный характер, выбранный электродвигатель с номинальной мощностью  $P_н$  проверяют на перегрузочную способность по выражению, кВт:

$$P_н \geq P_{пер} = \frac{1,33 \cdot P_{мак}}{\lambda_{мак}} \quad (19)$$

где  $P_{пер}$  – перегрузочная способность электродвигателя, кВт;

$P_{мак}$  – максимальная нагрузка двигателя по графику, кВт;

$\lambda_{мак}$  – кратность максимального момента электродвигателя.

В случае, если машина запускается под нагрузкой,  $P_н$  должна удовлетворять еще одному условию:

$$P_H \geq \frac{1,25 \cdot P_{\max}}{\lambda_{\min} U^2}, \quad (20)$$

где  $\lambda_{\min}$  – кратность минимального момента электродвигателя;

$U$  – напряжение на зажимах двигателя при пуске, в относительных единицах (к  $U_H$ ), В;  $\lambda_{\min}$  и  $\lambda_{\max}$  берутся по справочнику или каталогу для соответствующего электродвигателя с номинальной мощностью  $P_H$ .

При использовании электродвигателя для длительного режима работы в кратковременном режиме, рисунок 4б, расчет требуемой мощности выполняется в соответствии с формулой (16), т.е также по максимальной мощности рабочей машины ( $P_{\text{МРМ}} = P_{\text{НМ}}$ ). Но при выборе по каталогу ( $P_H \geq P_D$ ), номинальная мощность электродвигателя берется на ступень ниже, чем для продолжительного режима.

Вместе с тем, для машин малой, а также средней мощности  $P_D$  может рассчитываться и по формуле, кВт:

$$P_D = P_{\text{МРМ}} \frac{\sqrt{1 - 2,72^{-(\tau_p/T)}}}{\eta_{\text{пер}}}, \quad (21)$$

где  $P_{\text{МРМ}}$  – максимальная мощность рабочей машины, кВт;

$\tau_p$  – время работы, мин;

$T$  – постоянная времени нагрева электродвигателя, мин, (для серии 4А и АИР с  $P_H =$  до 4 кВт  $T = 15 \dots 20$  мин,  $P_H = 5,5 \dots 11$  кВт  $T = 25 \dots 30$  мин,  $P_H = 15 \dots 37$  кВт  $T = 35 \dots 40$  мин).

В каталоге берется ближайшая номинальная мощность двигателя. После чего, независимо от способа расчета  $P_D$ , обязательна проверка возможности его пуска под нагрузкой по формуле (19).

Кроме того, промышленностью, для кратковременного режима работы, выпускаются специальные электродвигатели с продолжительностью рабочего периода 15, 30, 60 и 90 минут. В этом случае, после расчета  $P_D$  по формуле (16), при выборе  $P_H$  занижение мощности не требуется.

При повторно-кратковременном режиме работы, рисунок 4в, расчет потребной мощности электродвигателя ( $P_D$ ) для рабочей

машины выполняется все по той же формуле (16), однако выбор номинальной мощности ( $P_H$ ) выполняется с учетом относительной продолжительности включения (ПВ):

$$\text{ПВ} = \frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_{\text{п}}} \cdot 100 \%, \quad (22)$$

где  $\tau_p$  – время работы машины, мин;

$\tau_{\text{п}}$  – время паузы, мин.

Период времени  $\tau_p + \tau_{\text{п}}$  называют рабочим циклом, мин. Промышленность выпускает электродвигатели для повторно-кратковременного режима работы с относительной продолжительностью включения ПВ: 15, 25, 40 и 60%, при продолжительности рабочего цикла не более 10 мин. В том случае, если расчетное ПВ значительно отличается от каталожных, производится пересчет мощности двигателя к ближайшему стандартному по формуле, кВт:

$$P_{\text{д(кат)}} = P_{\text{д}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}_x}{\text{ПВ}_{(\text{кат})}}}, \quad (23)$$

где  $\text{ПВ}_x$  и  $\text{ПВ}_{(\text{кат})}$  – относительные продолжительности включения, соответственно, по расчету (21) и по каталогу.

Проверка выбранного электродвигателя на возможность пуска под нагрузкой не требуется.

При использовании электродвигателя, предназначенного для длительного режима работы, в повторно-кратковременном, его требуемая мощность ( $P_{\text{д}}^*$ ) уточняется по выражению, кВт:

$$P_{\text{д}}^* = P_{\text{д}} \sqrt{\text{ПВ}}, \quad (24)$$

где ПВ – относительная продолжительность включения подставляется относительных единицах (при 25% – ПВ = 0,25).

По каталогу берется ближайшая стандартная машина, проверка возможности пуска под нагрузкой обязательна.

#### 4.1.2 Расчет и выбор электродвигателей кран-балки

Она используется для подъема, опускания и транспортировки грузов. Для этого на кран-балках устанавливаются три электродвигателя.

Мощность электродвигателя механизма подъема и опускания груза  $P_{д(п)}$  определяется по формуле, кВт,

$$P_{д(п)} = \frac{g \cdot (m + m_0) \cdot v_{п}}{1000 \cdot \eta_{п} \cdot \eta_{пер}}, \quad (25)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $м/с^2$  ( $g \approx 9,807 м/с^2$ );

$m$  – масса груза, кг;

$m_0$  – масса подвески (захватывающего приспособления), кг;

$v_{п}$  – скорость подъема груза, м/с;

$\eta_{п}$  – КПД механизма подъема;

$\eta_{пер}$  – КПД передачи.

Двигатель подъемного механизма кран-балки работает в повторно-кратковременном режиме с ПВ = 25%. В случае использования двигателя продолжительного режима работы, необходимая мощность  $P_{д(п)}$  уточняется по формуле (24).

Мощности электродвигателей для механизмов перемещения груза вдоль кран-балки  $P_{д(п)1}$  и балки по помещению  $P_{д(п)2}$  рассчитываются по формуле, кВт:

$$P_{д(п)1,2} = \frac{gK_1 \cdot (m + m_1)(K_2 \cdot r + K_3) \cdot v_{п}}{1000 \cdot R \cdot \eta_{п} \cdot \eta_{пер}}, \quad (26)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий трение ребер колес о рельсы, (принимают  $K_1 = 1,25-1,35$ );

$m_1$  – масса механизма перемещения, кг;

$K_2$  – коэффициент трения подшипников (для подшипников скольжения 0,07-0,1, – качения 0,005-0,01);

$r$  – радиус шейки вала, м;

$K_3$  – коэффициент трения качения, ( $K_3 \approx 0,001$ );

$v_{п}$  – скорость перемещения тележки, м/с, можно принять  $v_{п} = 0,33 м/с$ ;

$R$  – радиус ходового колеса, м;

$\eta_{п}$  – КПД механизма перемещения, (можно принять  $\eta_{п} \approx 0,7$ );

$\eta_{\text{пер}}$  – КПД передачи.

Оба электродвигателя перемещения груза работают в повторно-кратковременном режиме ( $PВ = 25\%$ ), как и выше, это следует учесть при выборе их номинальных мощностей ( $P_H$ ).

#### 4.1.3 Расчет и выбор электродвигателей для металлорежущих станков (токарного, токарно-винторезного, строгального, карусельного)

Потребная мощность электродвигателей, указанных в скобках и подобных станков, определяется по формуле, кВт

$$P_d = \frac{F_p \cdot g_c \cdot v_p}{1000 \cdot \eta_{\text{ст}} \cdot \eta_{\text{пер}}}, \quad (27)$$

где  $F_p$  – удельное сопротивление резанию, Н/мм<sup>2</sup>;

$g_c$  – площадь сечения стружки, мм<sup>2</sup>;

$v_p$  – скорость резания, м/с;

$\eta_{\text{ст}}$  – КПД станка ( $\eta_{\text{ст}} = 0,65 \dots 0,7$ , но для строгальных станков  $\eta_{\text{ст}} = 0,6 \dots 0,65$ );

$\eta_{\text{пер}}$  – КПД передачи.

Скорость резания определяется по формуле, м/с:

$$v_p = \frac{C_{vp}}{t^{xvp} \cdot s^{yvp}}, \quad (28)$$

где  $C_{VP}$  – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала, м·мм<sup>2</sup>/с, от мягких к твердым  $C_{VP} \approx 0,65 \dots 4,36$  м·мм<sup>2</sup>/с;

$t$  – глубина резания, мм;

$s$  – подача резца на один оборот шпинделя, мм;

$xvp$  и  $yvp$  – показатели степени, зависящие от качеств обрабатываемого материала, резца и т. д.  $xvp \approx 0,15 \dots 0,2$ ;  $yvp \approx 0,35 \dots 0,8$ .

Удельное сопротивление резанию  $F_p$  равно, Н/мм<sup>2</sup>:

$$F_p = c \cdot F_{\text{раз}}, \quad (29)$$

где  $F_{\text{раз}}$  – сопротивление разрыву, Н/мм<sup>2</sup>.

Величины  $c$  и  $F_{\text{раз}}$  зависят от материала обработки и могут быть взяты по таблице 8.

Таблица 8 – Значения коэффициентов  $c$  и  $F_{\text{раз}}$

Наименование величины	Материал			
	сталь	чугун	бронза	латунь
$c$ – коэффициент	2,5...3,5	4,0...5,5	4,0...5,5	4,0...5,5
$F_{\text{РАЗ}}$ – сопротивление разрыву	300...1200	120...240	150...200	150...200

Данные таблицы зависят от марок указанных материалов и более точные их значения имеются в справочниках.

Выбор стандартного двигателя выполняется по формуле (19).

#### 4.1.4 Расчет и выбор электродвигателя для сверлильного станка

Мощность электродвигателя сверлильного станка находится по выражению, кВт:

$$P_{\text{д}} = \frac{M_{\text{св}} \cdot n_{\text{св}}}{9550 \cdot \eta_{\text{ст}} \cdot \eta_{\text{пер}}}, \quad (30)$$

где  $M_{\text{св}}$  – вращающий момент сверла, Н·м;

$n_{\text{св}}$  – скорость вращения сверла,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$\eta_{\text{ст}}$  – КПД станка,  $\eta_{\text{ст}}=0,7...0,85$ ;

$\eta_{\text{пер}}$  – КПД передачи.

Момент на сверле можно определить по формуле, Н·м:

$$M_{\text{св}} = 10 \cdot C_{\text{М}} \cdot d_m \cdot s_n, \quad (31)$$

где  $C_{\text{М}}$  – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала,  $\text{Н.м/мм}^2$ , (приблизительно,  $C_{\text{М}}=21,0...34,5$ );

$d$  – диаметр сверла, мм;

$s$  – подача сверла за один оборот, мм, (зависит от материала,  $s \approx 0,1...0,3$ );

$m, n$  – показатели степени, зависящие от свойств материала и размера сверла, в среднем  $m = 1,4...1,9$ ;  $n = 0,7...1,2$ .

Электродвигатель сверлильного станка работает в повторно-кратковременном режиме, следовательно потребная мощность  $P_D$  уточняется по формуле (24).

#### 4.1.5 Расчет и выбор электродвигателя для шлифовального станка

Мощность электродвигателя для шлифовального станка определяется по формуле, кВт:

$$P_D = \frac{P_K + P_{дет}}{\eta_{ст} \cdot \eta_{пер}}, \quad (32)$$

где  $P_K$  – мощность, потребляемая на вращение круга, кВт;  
 $P_{дет}$  – мощность, потребляемая на вращение детали, кВт;  
 $\eta_{ст}$  – КПД станка, (обычно 0,7...0,83);  
 $\eta_{пер}$  – КПД передачи.

Потребляемые мощности на вращение круга и детали находятся из выражений, кВт:

$$P_K = \frac{F_{ш} \cdot v_K}{1000 \cdot 60}, \quad (33) \quad P_{дет} = \frac{F_{ш} \cdot v_{дет}}{1000 \cdot 60}, \quad (34)$$

где  $F_{ш}$  – усилие резания при шлифовании, Н;  
 $v_K$  и  $v_{дет}$  – линейные скорости, соответственно, круга и детали, м/мин (при круглом наружном шлифовании  $v_K \approx 20...35$  м/мин,  $v_{дет} \approx 12...55$  м/мин).

Усилие резания при шлифовании определяется по следующей зависимости, Н:

$$F_{ш} = C_{ш} \cdot v_{дет}^{0,7} S^{0,7} t^{0,6}, \quad (35)$$

где  $C_{ш}$  – коэффициент, определяемый свойствами обрабатываемого материала, Н·мин/м·мм<sup>2</sup>, можно принять 19,6...21,6;

$S$  – продольная подача, мм, принимают равной (0,2-0,7) $B$  – толщины круга, мм;

$t$  – глубина шлифовки, мм, обычно 0,005...1,0 мм.

#### **4.1.6 Расчет и выбор электродвигателя для точильного станка**

Выполняется по формулам (32) и (33) с учетом, что он работает в кратковременном режиме.

### **4.2 Выбор системы вентиляции и ее расчет**

Системой вентиляции называют совокупность устройств, обеспечивающих регулируемый воздухообмен для поддержания в допустимых пределах содержание вредных газов, влажности и температуры.

#### **4.2.1 Выбор системы вентиляции**

Чаще всего в ремонтных предприятиях, для вентиляции помещений, используют приточно-вытяжные системы с искусственным побуждением. Бывает, что из экономических соображений целесообразно применять в одном помещении вентиляцию с искусственным и естественным побуждением. При этом предусматривается компенсация удаляемого воздуха организованным механическим или естественным притоком наружного воздуха.

Так как во многих случаях источники вредных выделений сосредоточены по территории предприятия, для общей вентиляции его помещений применяют общеобменную систему, а для удаления загрязненного воздуха, непосредственно из мест его наибольшего загрязнения: сжигание старой изоляции, окраска, пропитка, и пр., используют местную вентиляцию. При этом системы местных отсосов вредных или горючих газов и паров проектируются отдельно от систем общеобменной вентиляции. Вместе с тем, воздухообмен выполняют так, чтобы подаваемый приточный воздух поступал из воздухораспределителей непосредственно в рабочую зону помещения (не редко еще и в ее верхнюю часть). Не допустимо поступление воздуха в менее загрязненную зону через более загрязненную. При выделении на рабочих местах вредных газов и паров, имеющих плотность, больше плотности воздуха в рабочей зоне и если в

зоне отсутствуют устойчивые воздушно-тепловые потоки, 2/3 расчетного расхода воздуха должно удаляться из рабочей зоны и остальная часть расхода – из верхней зоны помещения. На пропиточном или окрасочном участках, где растворители лаков и красок имеют плотность меньше воздуха, 1/3 расчетного расхода воздуха удаляется из рабочей зоны и остальная часть из ее верхней части.

Приемные отверстия воздухораспределителей для удаления воздуха размещают: в рабочей зоне на уровне до 0,3 м от пола, до низа отверстий, в верхней зоне – не ниже 2 м от пола до низа отверстий, если удаляются влага, избыток тепла, вредные газы, пары, или 0,4 м от потолка до верха отверстий если удаляются взрывоопасные смеси газов и т.п.

#### 4.2.2 Расчет расхода приточного воздуха

Для ремонтных предприятий расход приточного воздуха допустимо находить по кратности или норме воздухообмена из выражения, м<sup>3</sup>/ч:

$$L = K \cdot V, \quad (36)$$

где:  $K$  – кратность воздухообмена (число раз смены воздуха в помещении за единицу времени), ч<sup>-1</sup> ;

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

$$V = l \cdot b \cdot h, \quad (37)$$

где  $l, b, h$  – соответственно длина, ширина и высота помещения, м.

Кратность воздухообмена или нормируемый расход приточного воздуха можно взять по таблице 9.

В производственных помещениях проектируется подача наружного воздуха на одного работающего не менее 30 м<sup>3</sup>/ч при объеме помещения на одного работающего менее 20 м<sup>3</sup> и не менее 20 м<sup>3</sup>/ч при объеме на одного работающего более 20 м<sup>3</sup>. При выделении вредных веществ обязательно предусматривается превышение вытяжки над притоком воздуха.

$$L = \beta \cdot N, \quad (38)$$

где  $\beta$  – нормируемый расход приточного воздуха на 1 человека или на 1 животное, или на 1 рабочее место и т.п., м<sup>3</sup>/ч;

$N$  – число людей, животных, рабочих мест и т.п.

Расход приточного воздуха определяется по обеим приведенным формулам, за расчетный принимается наибольший из полученных величин.

Таблица 9 – Нормы воздухообмена

Помещения	Кратность воздухообмена $K$ , ч <sup>-1</sup> , нормируемый расход $\beta$ , м <sup>3</sup> /ч	
	приток	вытяжка
Вестибюль	2	-
Гардероб	5	5
Душевая	-	75 м <sup>3</sup> /ч на 1 сетку
Курительная	-	10
Помещение для отдыха	5	4
Пропитки, сушки, окраски	10	12

#### 4.2.3 Расчет воздухораспределительных устройств

Воздухораспределителями называют устройства для подачи и забора воздуха, конструктивные исполнения их приведены на рисунке 6.

В ремпредприятиях получили широкое применение следующие типы воздухораспределителей:

- прямоструйный – ВСП;
- приколонный веерный – НРВ;
- приточная регулирующая решетка – РР;
- пристенный ВП.

Расчет воздухораспределения включает:

- выбор схемы воздухораспределения,
- выбор типоразмеров,
- определение количества воздухораспределителей.

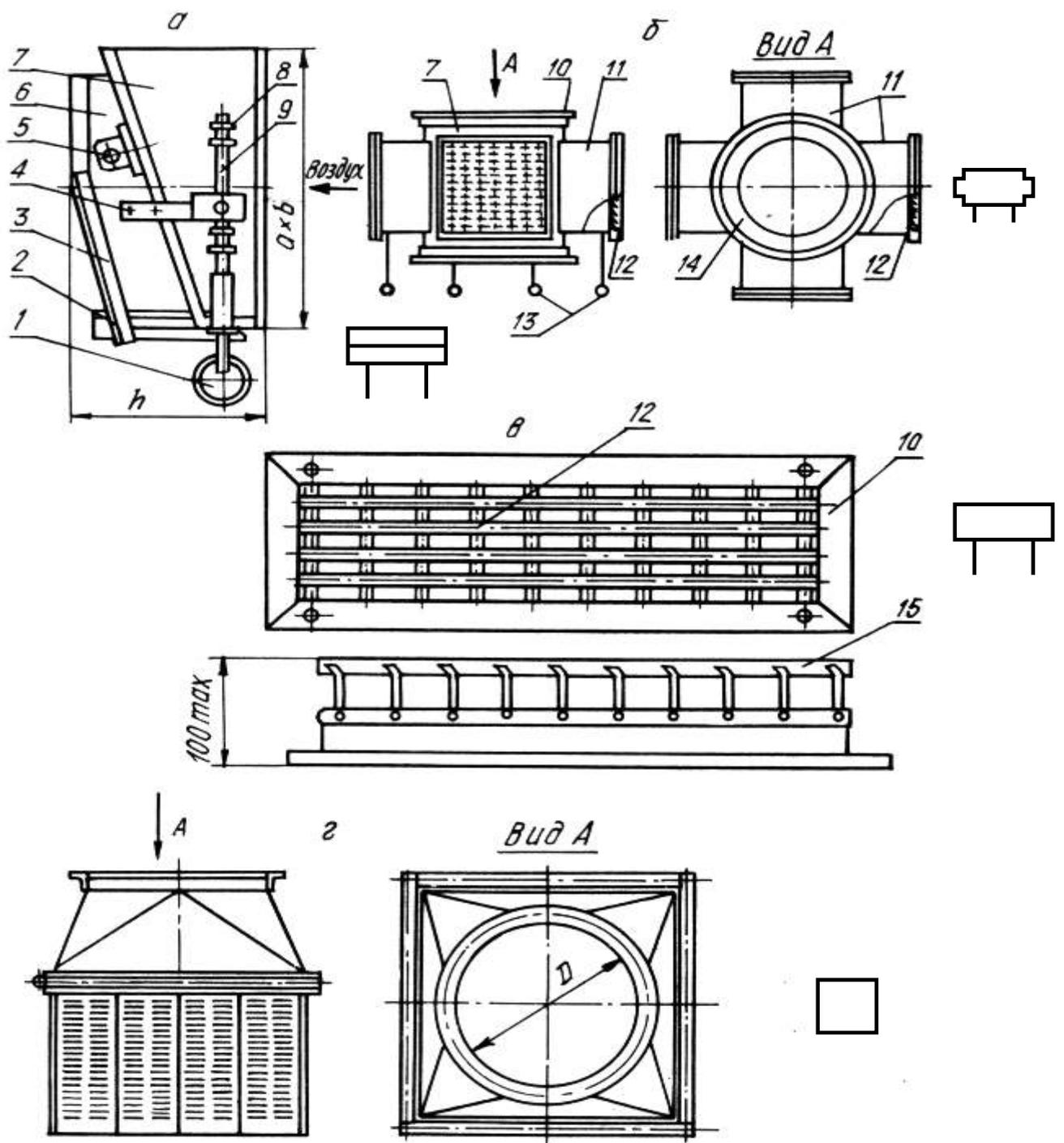


Рисунок 6 – Воздухораспределители и их условные обозначения:  
 а – прямоструйный типа ВСП; б – приколонный веерный типа НРВ; в – при-  
 точная регулирующая решетка РР; г – пристенный типа ВП; 1 – кольца для  
 штанги; 2 – ось заслонки; 3 – заслонка; 4 – рычаг; 5 – шарнир; 6 – поворот-  
 ный патрубок; 7 – корпус; 8 – упор; 9 – винт; 10 – фланец; 11 – патрубки;  
 12 – жалюзийная решетка; 13 – тяги; 14 – диафрагма; 15 – регулятор расхода.

Выбор схемы воздухораспределения выполняется с учетом положений. На план помещений предприятия наносятся места расположения воздухораспределительных устройств, проводя разделение их между общеобменной системой вентиляции и местными, которые предназначаются для удаления вредных выделений, отдельно планируются воздухозаборы вытяжных шахт естественной вентиляции (например, для удаления газов, образующихся при сжигания старой изоляции электромашин электромагнитным методом).

После размещения воздухораспределителей выбирают их типоразмер и определяют требуемое число воздухораспределителей –  $n$ , по расходу приточного воздуха помещения  $L_{\text{п}}$  (36), (38) и расходу приточного воздуха на один воздухораспределитель  $L_{\text{вр}}$ , таблица 10, из выражения, шт.:

$$n = \frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{вр}}}, \quad (39)$$

Таблица 10 – Технические данные воздухораспределителей

Типоразмер	Расход приточного воздуха, $L_{\text{пр}}$ , м <sup>3</sup> /ч	Расчетная площадь, м <sup>2</sup>
Воздухораспределитель ВСП		
ВСП-1	3600-10800	0,25
Воздухораспределитель НРВ*		
двухструйный		
1ВД, 1НД	2500	0,028
2ВД, 2НД	5000	0,056
3ВД, 3НД	10000	0,112
4ВД, 4НД	15000	0,168
5ВД, 5НД	22000	0,252
четырёхструйный		
7ВЧ, 7НЧ	5000	0,028
8ВЧ, 8НЧ	10000	0,056
9ВЧ, 9НЧ	22000	0,112
10ВЧ, 10НЧ	30000	0,168
Воздухораспределитель РР		
100X200	250- 800	0,02

## Окончание таблицы 10

Типоразмер	Расход приточного воздуха, $L_{пр}$ , м <sup>3</sup> /ч	Расчетная площадь, м <sup>2</sup>
100X400	500-1600	0,04
200X200	500-1600	0,04
200X400	1000-3200	0,08
200X600	1500-5000	0,12
Воздухораспределитель ВП		
ВП-2	1400- 4500	0,1
ВП-3	2500- 7500	0,17
ВП-4	4000-12000	0,29
ВП-5	6000-18000	0,41
* Расчетная площадь указана для одного воздуховыпускающего патрубка.		

### 4.2.4 Расчет воздуховодов

Целью расчета является определение:

- размеров поперечного сечения воздуховодов;
- потерь давления на отдельных участках системы;
- потерь давления на всей системе воздуховодов.

Для экономичного раскроя листовой стали и облегчения механизированной заготовки деталей и фасонных частей, в ремонтных предприятиях в основном используют металлические воздуховоды круглого сечения следующих диаметров  $d$ : 100, 125, 160, 200, 250, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000 мм.

В случаях замены их, на воздуховоды прямоугольного сечения, можно воспользоваться формулой эквивалентного диаметра –  $d_э$ , мм:

$$d_э = \frac{2 a b}{a + b}, \quad (40)$$

где  $a$  и  $b$  – размеры прямоугольного сечения, мм.

Начинается расчет с графического изображения воздуховодов, соединяющих воздухораспределительные устройства с приточными и вытяжными установками, на плане здания ремонтной базы.

Системам вентиляции присваиваются обозначения:

приточные системы:

- с механическим побуждением - П
- с естественным побуждением - ПЕ

вытяжные системы:

- с механическим побуждением - В
- с естественным побуждением - ВЕ

#### **Примечание**

Установки систем вентиляции имеют те же обозначения, что и системы, в которые они входят.

В соответствии с оформлением конструкторской документации, составляются расчетные аксонометрические схемы воздуховодов. Однако для учебных целей достаточно выполнить эти схемы в однолинейном варианте, показав горизонтальные воздуховоды сплошной линией, вертикальные и наклонные пунктирной с указанием на выносной линии угла наклона к полу, рисунок 7. За основное магистральное расчетное направление принимается воздуховод наибольшей протяженности, который делится на отдельные расчетные участки. Границами участков являются крестовины и тройники воздуховодов (условные обозначения которых приведены на рисунке 8). Наносится нумерация участков, начиная с периферийного. После чего аналогично нумеруются участки ответвлений. Для каждого расчетного участка показывается выносная линия, над которой указывается: расчетный расход воздуха  $L$ , м<sup>3</sup>/ч и под линией - длина участка  $l$ , м. В кружке у линии приводится номер участка.

Приведенная на рисунке 7 схема воздуховодов на пропиточном и окрасочном участках, учитывая общность условий и в целях экономии средств, объединены в одну систему.

Для продолжения расчета системы вентиляции по рекомендуемой форме составляется таблица 11.

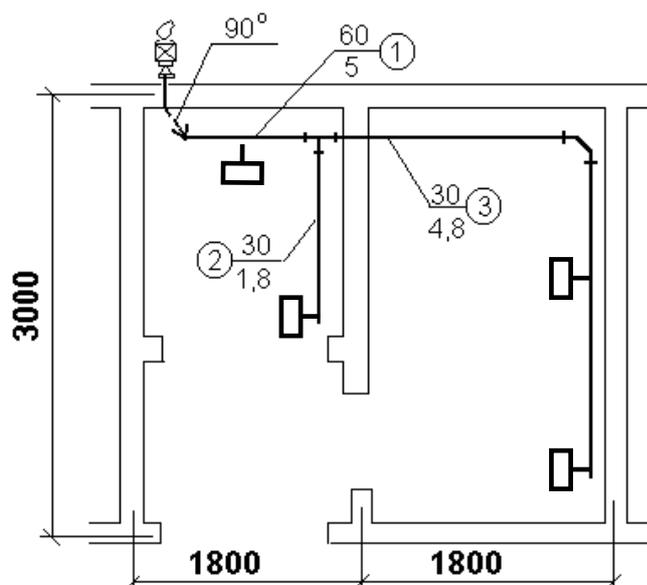


Рисунок 7 – Схема воздуховодов на пропиточном и окрасочном участках

Таблица 11 – Расчетная таблица воздуховодов предприятия

Номер участка	Длина участка $l$	Расход воздуха $L$ , м <sup>3</sup> /с	Скорость воздуха $V$ , м/с	Диаметр круглого сечения $d$ , мм	Площадь поперечного сечения $F$ , м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6

Продолжение таблицы 11

Удельные потери давления $R$ , Па/м	Потери давления на трение, $\Delta P_t$ , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \xi$	Динамическое давление воздуха $P_d$ , Па	Потери давления в местных сопротивлениях, $\Delta P_m$ , Па	Общие потери давления $\Sigma \Delta P$ , Па
7	8	9	10	11	12

где графа 3 – Расход воздуха  $L$  определяется по формулам (36) и (38), с учетом рекомендаций 4.2.1.

графа 4 – Рекомендуемые скорости воздуха  $V$ : в жалюзийных решетках – 4...6 м/с, в приточных шахтах – 3...6 м/с, в вертикальных воздуховодах – 5...8 м/с, в горизонтальных воздуховодах – 6...12 м/с. Следует уменьшать скорость воздуха по мере приближения к конечным участкам.

графа 5 – Диаметры круглого сечения воздуховодов  $d$  мм определяются по номограмме (рисунок 9), исходя из  $L$  и  $V$ .

графа 6 – Площадь поперечного сечения,  $m^2$  ( $F = \pi d^2/4$ ).

графа 7 – Удельные потери давления на единицу длины воздуховода  $R$ , Па/м, определяются по номограмме (рисунок 9), исходя из  $L$  и  $V$  по шкале потерь.

графа 8 – Потери давления на трение по длине участка  $\Delta P_T$  рассчитываются по выражению, Па:

$$\Delta P_T = R \cdot l, \quad (41)$$

графа 9 – Суммарный коэффициент местных сопротивлений  $\Sigma \xi$  находится в таблица 12 в зависимости от вида местного сопротивления, под которыми понимаются регулирующие устройства, вход и выход воздуха, повороты тройника, жалюзийные решетки и т.п.

графа 10 – Динамическое давление воздуха  $P_d$ , определяется из формулы, Па:

$$P_d = \frac{\rho \cdot V^2}{2}, \quad (42)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха,  $kg/m^3$ , (принимают 1,2  $kg/m^3$ ),

$V$  – скорость воздуха на расчетном участке, м/с.

графа 11 – Потери давления в местных сопротивлениях,  $\Delta P_M$ , Па:

$$\Delta P_M = \Sigma \xi \cdot P_d, \quad (43)$$

графа 12 – Общие потери давления на участках  $\Sigma \Delta P$  определяются как сумма потерь давления в результате трения и в местных сопротивлениях.

#### **Примечание**

При прямоугольных воздуховодах в расчетах используются их эквивалентные диаметры  $d_э$  (40).

При характеристике местных сопротивлений использованы следующие обозначения:

$f$  – площадь меньшего сечения,  $m^2$ ;

$f_0$  – площадь поперечного сечения ответвления,  $m^2$ ;

$F$  – площадь наибольшего поперечного сечения,  $m^2$ ;

$R$  – радиус поворота, м;

$d$  – диаметр воздуховода, мм;

$v_0$  и  $L_0$  – скорость и расход воздуха в ответвлении, м/с и м<sup>3</sup>/с;  
 $v_c$  и  $L_c$  – скорость и расход воздуха перед тройником, м/с и м<sup>3</sup>/с.

Полученные на каждом ответвлении потери давления ( $\Sigma\Delta P$ ) должны быть равны потерям давления на участках магистрали от узла, к которому присоединено данное ответвление, до конца магистрального направления.

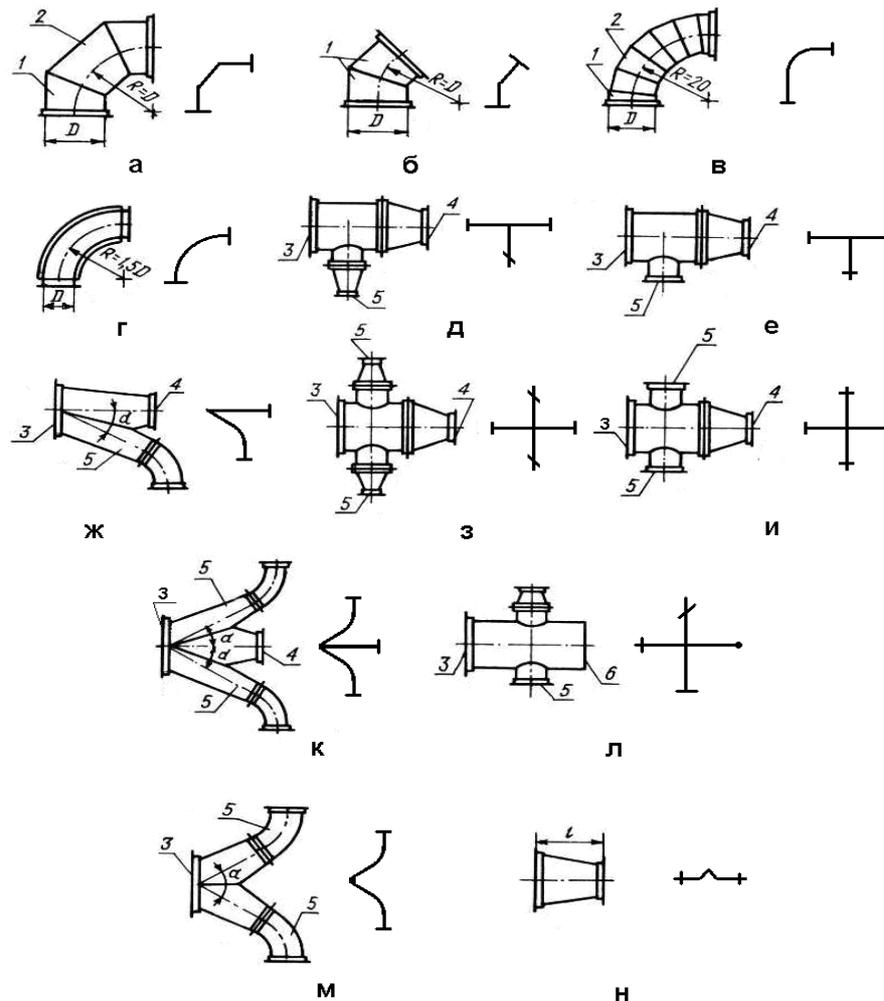


Рисунок 8 – Фасонные части воздуховодов круглого сечения и их условные обозначения:

а, б – отводы с центральным углом 90 и 45°; в – отвод для систем аспирации и пневмотранспорта; г – штампованный отвод; д – узел с переходом на ответвление; е – узел с прямой врезкой ответвления; ж – прямой тройник для для систем аспирации и пневмотранспорта; з- крестовина с переходом на ответвление; и – крестовина с прямыми врезками; к – крестовина для систем аспирации и пневмотранспорта; л – узел ответвления с заглушкой; м – штапнообразный тройник; н – унифицированный переход; 1 – стакан; 2 – звено; 3 – основание; 4 – переход; 5 – ответвление; 6 – заглушка

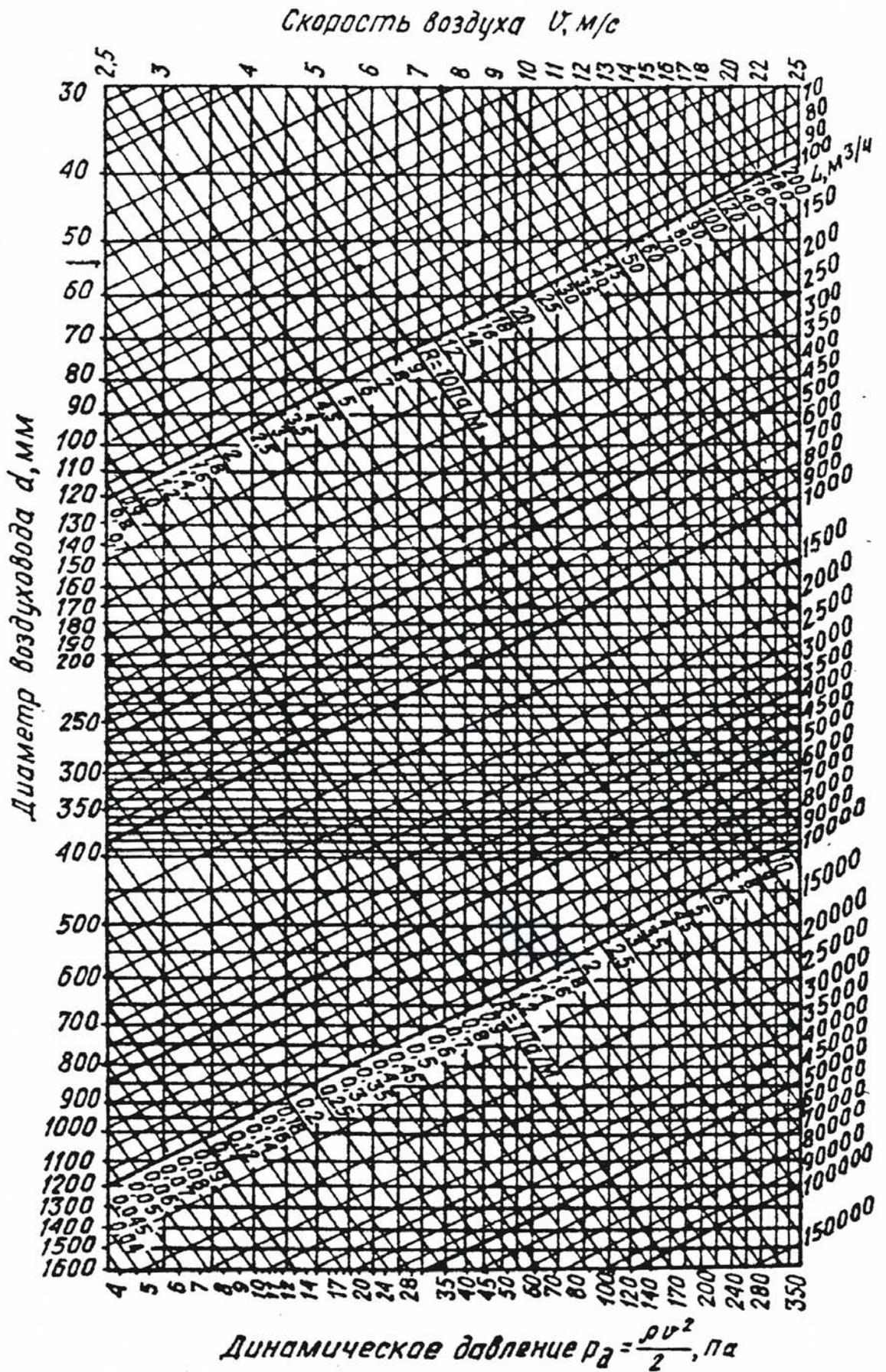


Рисунок 9 – Номограмма для расчета круглых воздуховодов

Если потери давления на них отличаются более, чем на 10%, необходимо изменением размеров сечения (диаметров воздуховодов), на соответствующих участках ответвлений, получить требуемую  $\Sigma \Delta P$ . Этим завершается расчет системы воздуховодов.

Таблица 12 – Значения коэффициентов местного сопротивления

Местное сопротивление	Коэффициенты местного сопротивления					
Жалюзийная решетка	2,0					
Вход в воздуховод, заделанный за подлицо	0,5					
Вход в вытяжную шахту	1,0					
Выход из вытяжной шахты с зондом	1,3					
Шибер, дроссель-клапан (в открытом положении)	0,05					
Сужение в сети	0,1					
Расширение за вентилятором $f/F$ от 0,4 до 0,6 (с учетом угла раскрытия $10^\circ-30^\circ$ )	0,14-0,58					
Сегментный отвод круглого сечения $R/d$ от 1,5 до 2,0 (с учетом угла поворота $30^\circ-90^\circ$ )	0,15-0,4					
Плавный отвод круглого сечения $R/d$ от 1,0 до 1,5 (с учетом угла поворота $30^\circ-90^\circ$ )	0,08-0,21					
Тройник прямой ответвление проход	при $v_0/v_c$					
	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	
	9,4	6,2	4,2	2,3	1,6	
Тройник при угле разделения потока $30^\circ$ и $45^\circ$	0,4					
	0					
а) ответвление	$L_0/L_c$	при $f_0/F$				
		0,8	0,65	0,5	0,4	0,3
		0,6	0,9	0,6	0,5	0,4
		0,5	1,3	0,8	0,6	0,5
	0,4	2,2	1,3	0,8	0,6	
			0,8	0,6	0,5	

## Окончание таблицы 12

Местное сопротивление	Коэффициенты местного сопротивления					
	а) ответвление	$L_0/L_c$	при $f_0/F$			
0,8			0,65	0,5	0,4	0,3
0,2		-	3,6	3,8	2,2	1,3
	0,1	-	-	19,1	11,5	6,8
б) проход	0,1-0,2					
<p>Коэффициенты местных сопротивлений при изменении поперечного сечения отнесены к скорости в меньшем сечении.</p> <p>Коэффициенты местных сопротивлений тройника отнесены к скорости воздуха в ответвлении и в проходном сечении (после тройника).</p>						

### 4.2.5 Расчет и выбор вентилятора

В системах вентиляции и воздушного отопления электроремонтных мастерских и цехов наибольшее применение получили центробежные вентиляторы марок: ВЦ 4-75, ВЦ 4-76,

ВЦ 14-46 и осевые вентиляторы марок: В-06-300 и ВО.

Центробежные вентиляторы используются для перемещения неагрессивных сред с температурой не более  $80^{\circ}\text{C}$ , при содержании пыли не свыше  $100 \text{ мг/м}^3$  и отсутствия в них липких веществ. Осевые вентиляторы используются для тех же целей, но при температуре от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ , не содержащих пыли более  $10 \text{ мг/м}^3$  и не содержащих липких веществ, а также волокнистых материалов.

Подбор вентиляторов производят по заданным величинам подачи воздуха  $K_{\Pi} \cdot L$  и требуемого полного давления  $P_V$ .

Коэффициент  $K_{\Pi}$  учитывает потери или подсос воздуха в воздуховоды. Для стальных, пластмассовых, асбоцементных воздуховодов, длиной до 50м –  $K_{\Pi} = 1,1$ , для для всех остальных случаев  $K_{\Pi} = 1,15$ .

Требуемое полное давление вентилятора  $P_V$  определяется по формуле, Па:

$$P_V = \Sigma \Delta P \frac{273+t}{293} \cdot \frac{B_0}{B}, \quad (44)$$

где  $\Sigma \Delta P$  – расчетные потери давления в системе воздуховодов, Па;  
 $t$  – температура воздуха, проходящего через вентилятор, °С;  
 $B$  – атмосферное давление в данной местности, Па;  
 $B_0$  – расчетное атмосферное давление (обычно  $B_0 = 101,3$  Па).

По полученным данным  $L, b, P_v$ , в сводных графиках характеристик вентиляторов в справочниках (или из рисунков 10-16), находится точка пересечения координат и определяется тип конкретного рационального вентилятора, в таблицах к ним находятся основные их параметры.

Установленная мощность электродвигателя  $P_{дв}$ , находится из выражения, кВт:

$$P_{дв} = K_3 \frac{K_{п} L \cdot P_v}{\eta_v \eta_{пер} \cdot 3600}, \quad (45)$$

где  $K_3$  и  $K_{п}$  – соответственно, коэффициенты запаса и подсоса;

$L$  – подача воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$P_v$  – полное давление, кПа;

$\eta_v$  и  $\eta_{пер}$  – соответственно, КПД вентилятора и передачи.

Коэффициент запаса  $K_3$  берется по таблица 13, в зависимости от номинальной мощности электродвигателя и типа вентилятора.

Таблица 13

Рдв	кВт	менее 0,5	0,51...1,0	1,01...2,0	2,01...5	более 5,0
Кз	-	1,5/1,2	1,3/1,15	1,2/1,1	1,15/1,05	1,1/1,05
В таблице 13 в числителе даны значения для радиальных (центробежных) вентиляторов, в знаменателе – осевых.						

В справочниках или каталогах подбирается стандартный электродвигатель с номинальной мощностью  $P_n \geq P_{дв}$ . Режим его работы – длительный.

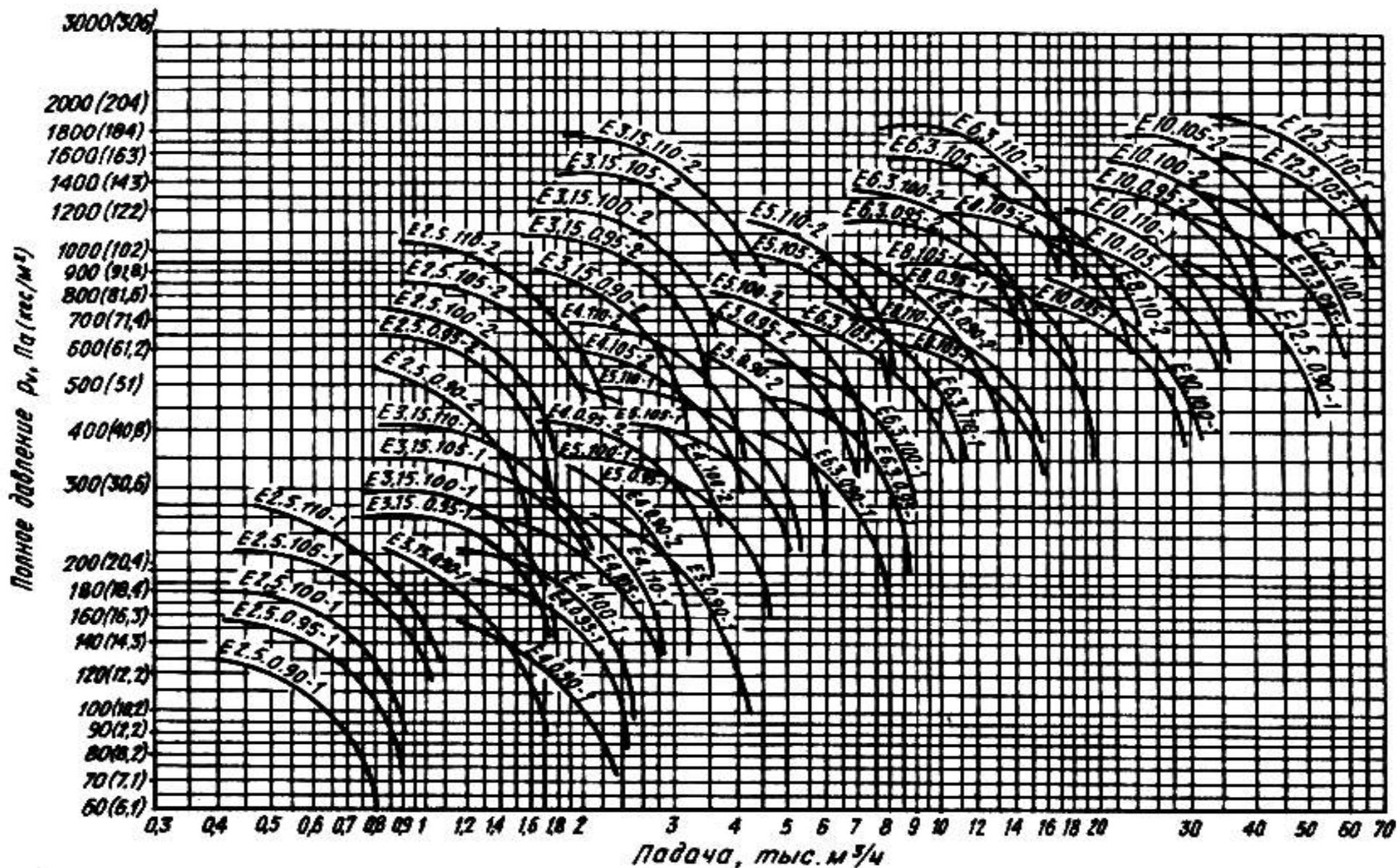


Рисунок 10 – Сводный график характеристик вентиляторов ВЦ 4-75 (исполнение 1)

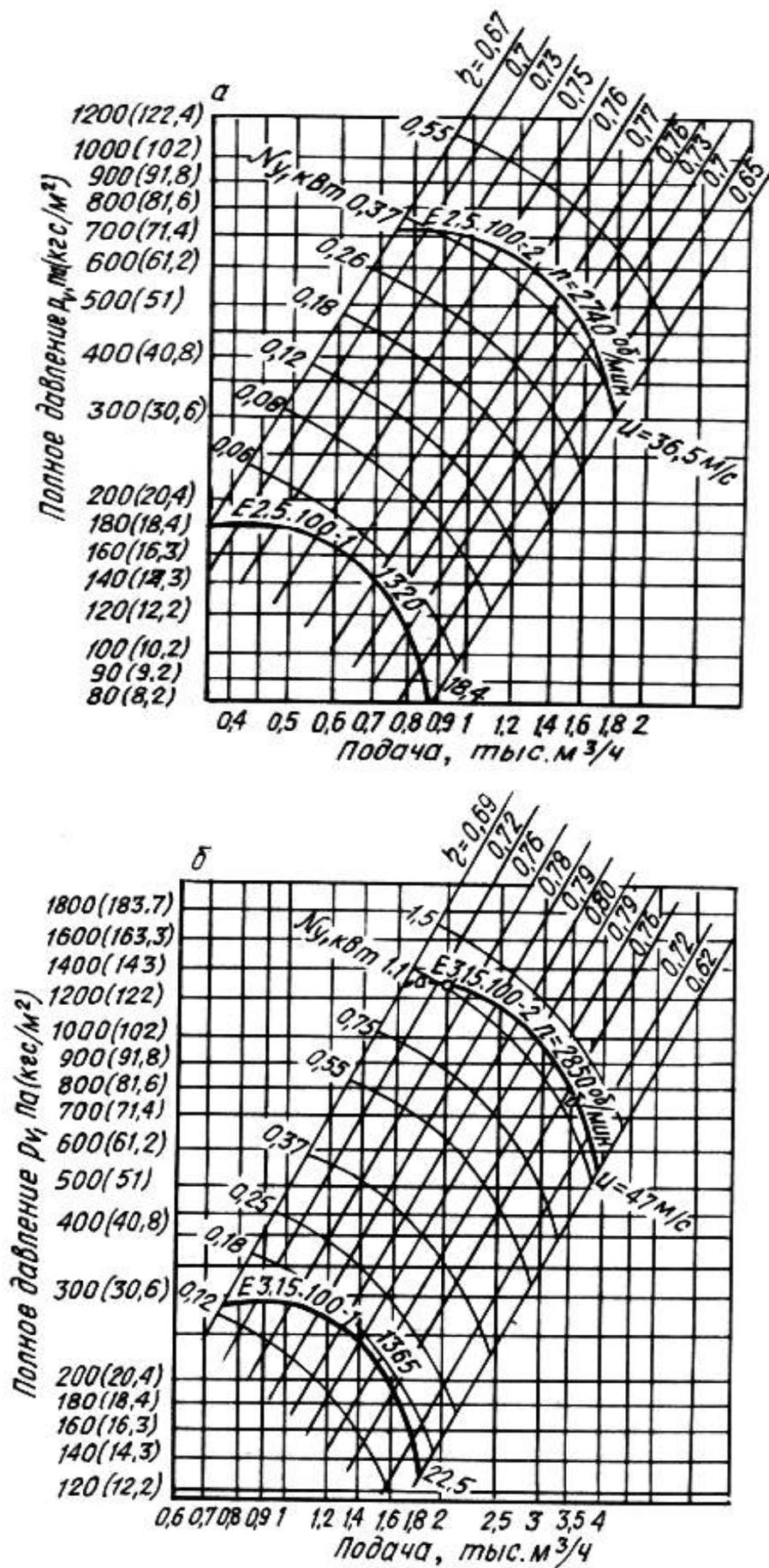


Рисунок 11 – Характеристики вентиляторов ВЦ4-75 с номинальным диаметром колеса: а – №2,5; б – №3,15

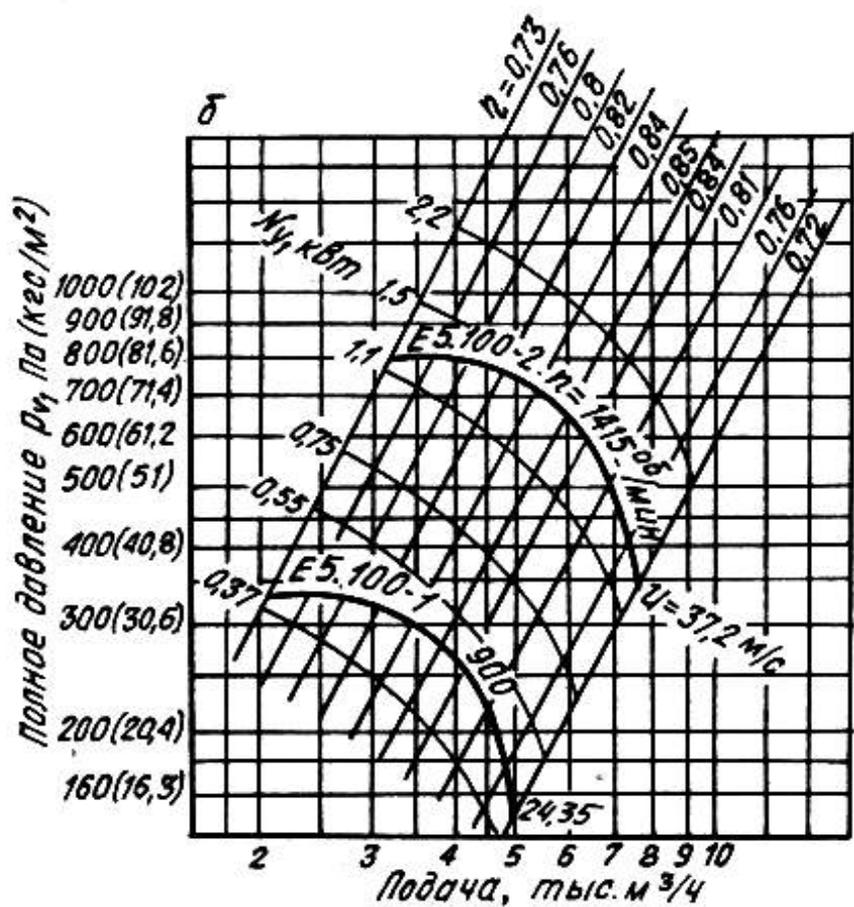
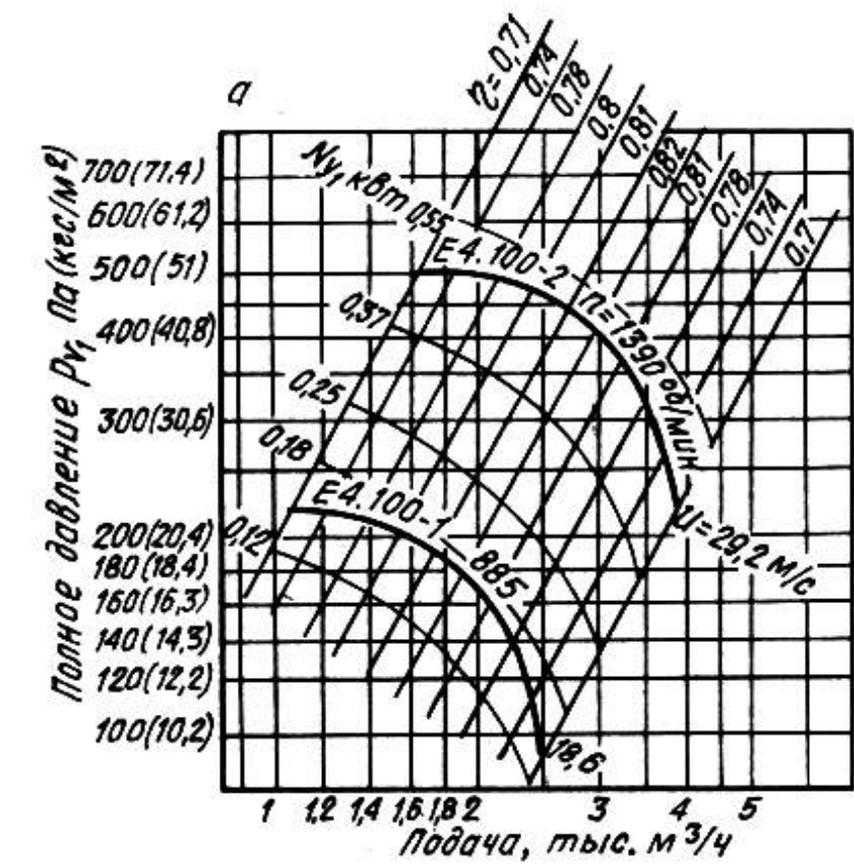


Рисунок 12 – Характеристики вентиляторов ВЦ4-75 с номинальным диаметром колеса: а – №4; б – №5

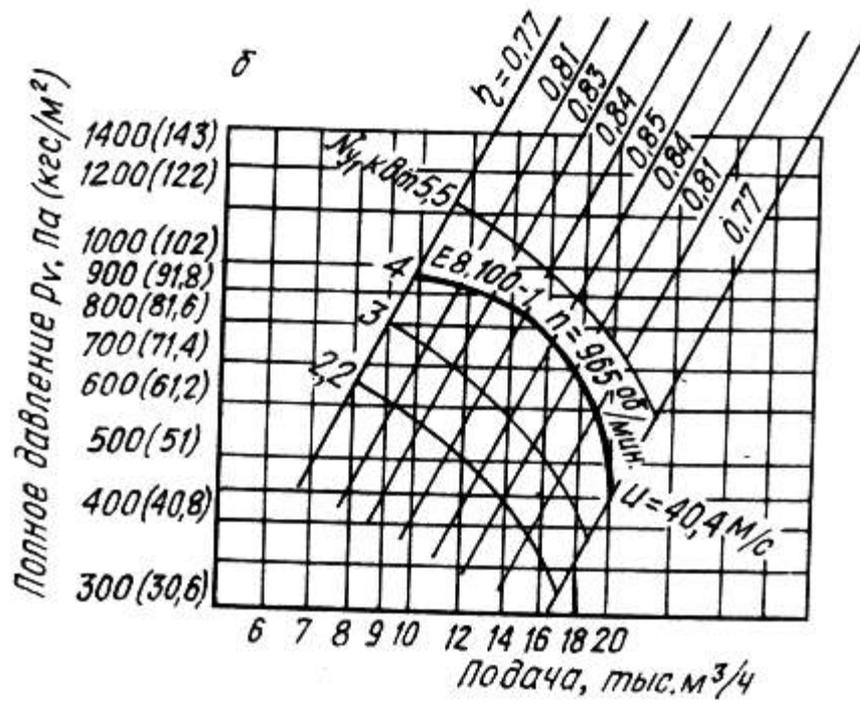
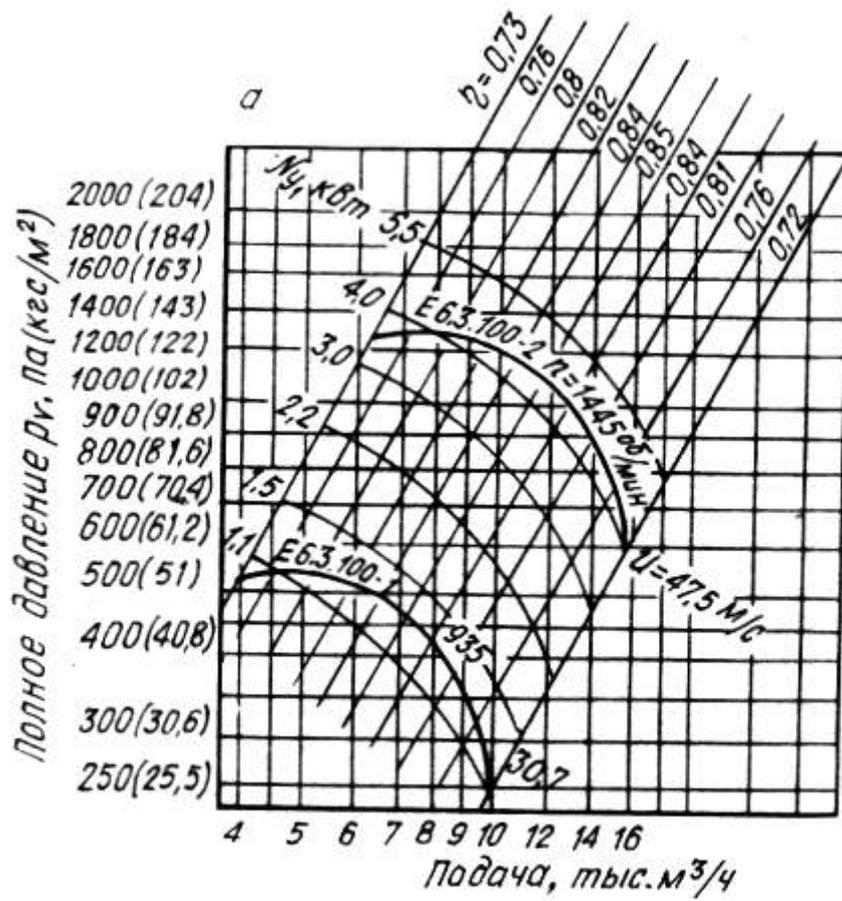


Рисунок 13 – Характеристики вентиляторов ВЦ4-75 с номинальным диаметром колеса: а – №6,3; б – №8

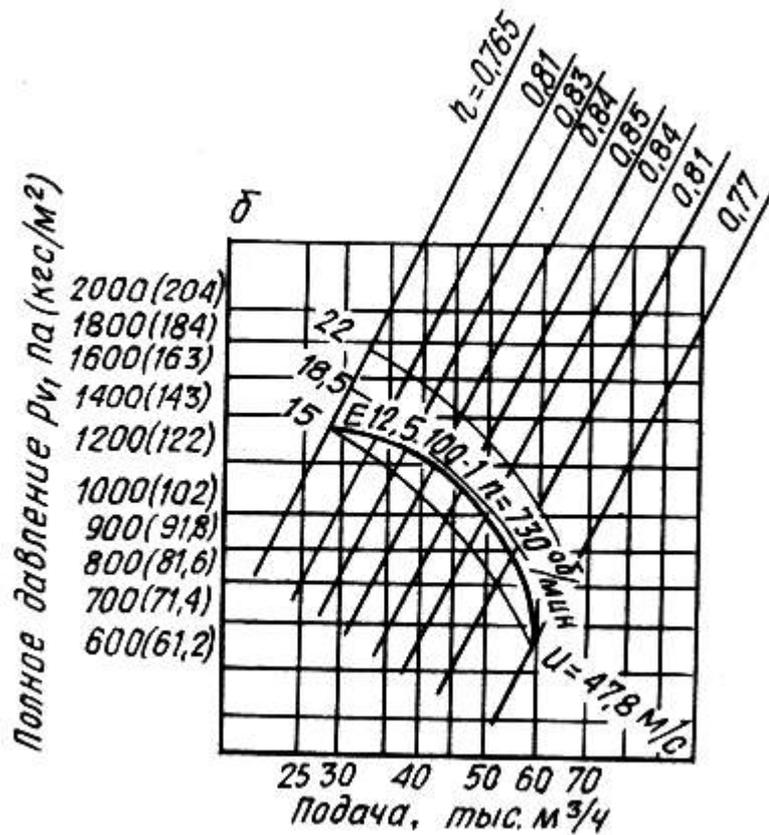
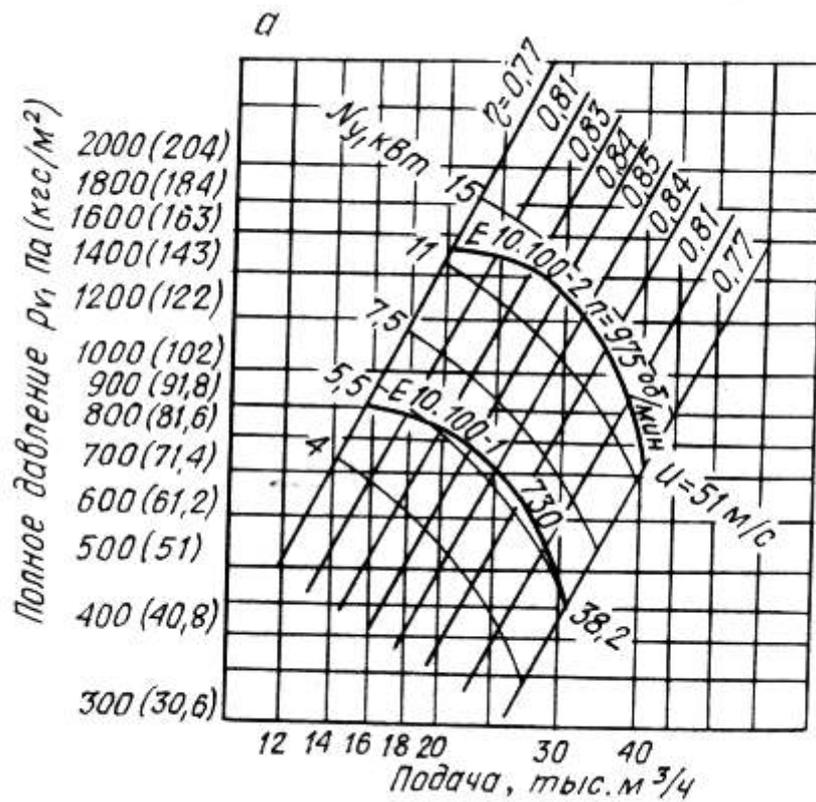


Рисунок 14 – Характеристики вентиляторов ВЦ4-75 с номинальным диаметром колеса: а – №10; б – №12,5

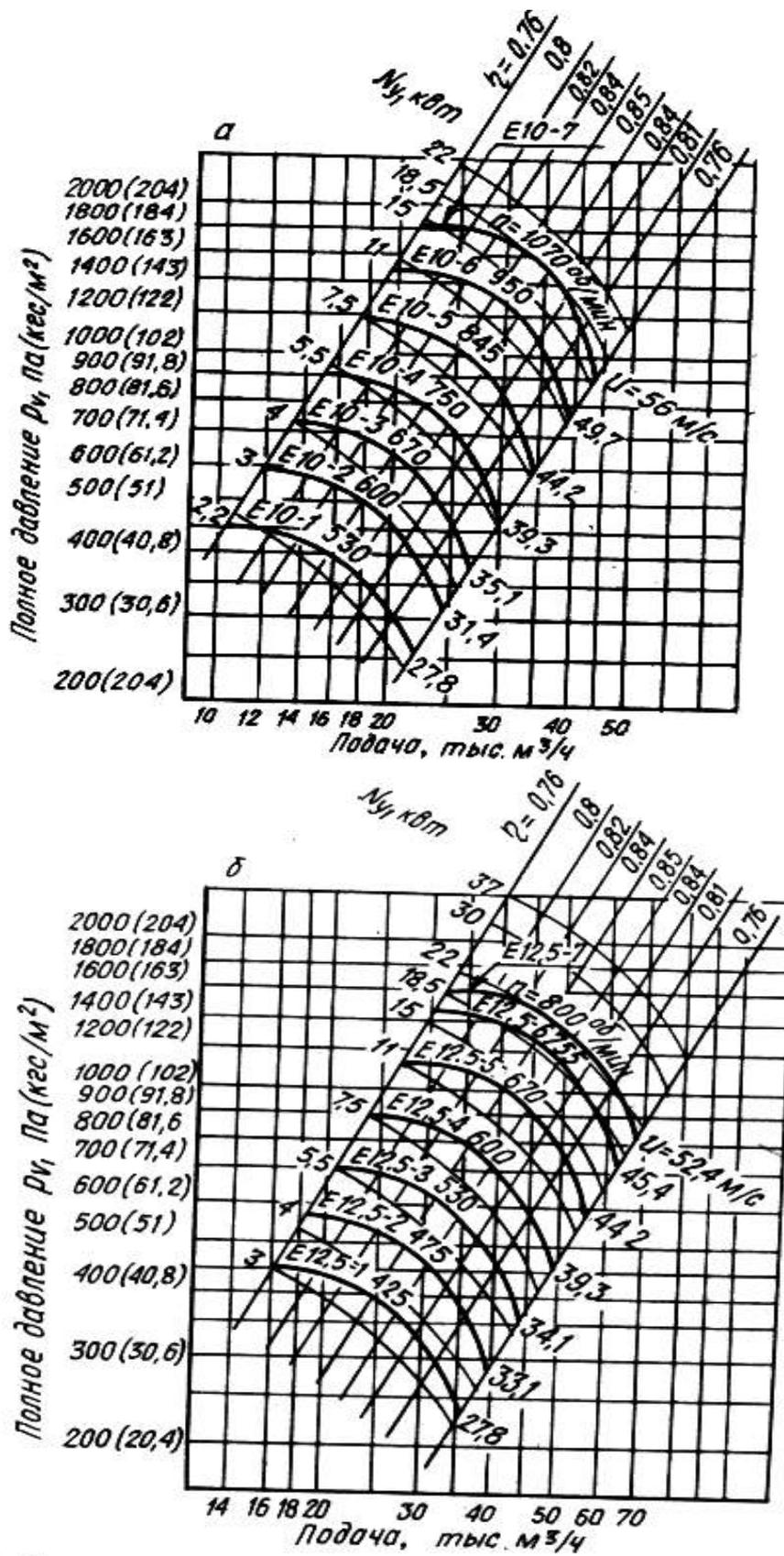


Рисунок 15 – Характеристики вентиляторов ВЦ4-75 (исполнение б) с номинальным диаметром колеса: а – №10; б – №12,5

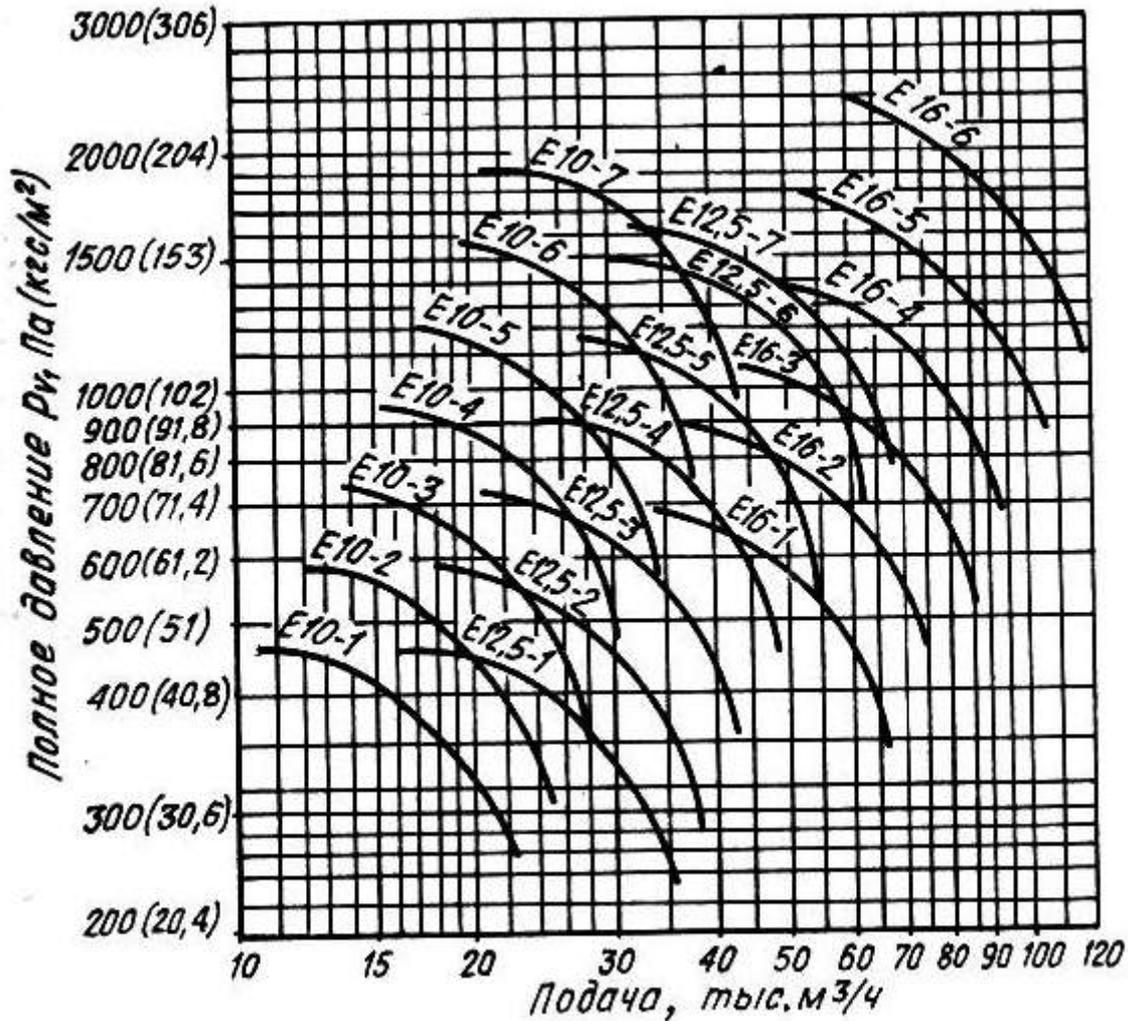


Рисунок 16 – Сводный график характеристик вентиляторов ВЦ4-75 (исполнение 6)

#### 4.2.6 Расчет вытяжных шахт естественной вентиляции

Расчет вытяжных шахт естественной вентиляции, например, над устройствами для сжигания старой изоляции обмоток электромашин, мойки деталей (при применении токсичных растворителей) и т.п., производится по расчетному расходу воздуха  $L$  (184) или (186) в холодный период года. Скорость воздуха  $v_B$  в поперечном сечении вытяжной шахты должна быть обеспечена в пределах 0,5...2,0 м/с.  $v_B$  рассчитывают по формуле, м/с:

$$v_B = 0,9 \sqrt{\frac{2gh \cdot (t_B - t_H)}{(0,02 \frac{h}{d} + \Sigma \xi)(t_H + 273)}}, \quad (46)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ , ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ );

$h$  – высота вытяжной шахты между плоскостью вытяжного отверстия и устьем шахты у заборного зонта над устройством, м;

$d$  – диаметр (эквивалентный диаметр при прямоугольном сечении) шахты, м;

$t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$  (для предприятий обычно  $17 \dots 20^{\circ}\text{C}$ , но не менее  $15^{\circ}\text{C}$ );

$t_{\text{н}}$  – расчетная наружная температура,  $^{\circ}\text{C}$  (принимается равной  $5^{\circ}\text{C}$ );

$\Sigma \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений (входа в шахту, утеплительного клапана, выхода из шахты и пр.).

Если расчетная  $v_{\text{в}}$  не удовлетворяет указанным нормам, меняются принятые размеры шахты.

Число шахт  $n_{\text{ш}}$  находится по заданному расходу воздуха  $L$  и скорости перемещения воздуха в шахте из выражения, шт:

$$n_{\text{ш}} = \frac{K_{\text{п}} L}{3600 \cdot F \cdot v_{\text{в}}}, \quad (47)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения шахты,  $\text{м}^2$ .

### 4.3. Расчет сушильного шкафа, тупикового с электрическим нагревом

Для такого расчета исходными данными служат: объект сушки, его размеры и масса, класс нагревостойкости изоляции,  $P_{\text{н}}$  – номинальная мощность, кВт,  $U$  – напряжение питающей сети, В, материал нагревателей.

Минимальный объем шкафа (камеры) определяется по формуле,  $\text{м}^2$ :

$$W = K_{\text{ш}} \cdot P_{\text{н}}, \quad (48)$$

где  $K_{\text{ш}}$  – коэффициент объема шкафа,  $\text{м}^2$  (можно принять  $0,02 \dots 0,04$ );

$P_{\text{н}}$  – максимальная номинальная мощность электрической машины, подвергаемой сушке в шкафу, кВт.

При одновременной сушке нескольких, разных по мощности, электромашин  $W$  может быть найдена по формуле,  $\text{м}^2$ :

$$W = n_1 K_{\text{ш}} P_{\text{н}1} + n_2 K_{\text{ш}} P_{\text{н}2} + \dots + n_i K_{\text{ш}} P_{\text{н}i}, \quad (49)$$

где  $n_1, n_2, n_i$  – число машин номинальной мощностью, соответственно,  $P_{H1}, P_{H2}, P_{ni}$ , шт.

Требуемая мощность нагревательных элементов сушильного шкафа, находится из выражения, кВт:

$$P_{СШ} = 5W, \quad (50)$$

При трехфазном питании нагревательных элементов сушильного шкафа, нагрузка одной фазы составит, кВт

$$P_{\Phi} = P_{СШ}/3, \quad (51)$$

Удельная поверхностная мощность идеального нагревателя, Вт/м<sup>2</sup>:

$$\Delta P_{\text{изд}} = C_{\text{пр}} \cdot \left[ \left( \frac{T_{\text{H}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{изд}}}{100} \right)^4 \right] \cdot 10^{-4} \quad (52)$$

где  $T_{\text{H}}$  – температура нагревателя, °К (обычно для нихрома  $T_{\text{H}} = 1100^{\circ}\text{C}$ , следовательно,  $T_{\text{H}} = 273 + T_{\text{H}} = 273 + 1100 = 1373^{\circ}\text{K}$ );

$T_{\text{изд}}$  – температура сушки изделия, °К, (например, обмотки электрической машины,  $T_{\text{изд}} = 273 + T_{\text{изд}} (^{\circ}\text{C})$ );

$C_{\text{пр}}$  – приведенный коэффициент излучения изделия, Вт/(м<sup>2</sup>·°К<sup>4</sup>), (для стали, нихрома, с достаточной степенью точности, можно принимать  $C_{\text{пр}} = 3,8$ ).

Реальная удельная поверхностная мощность  $\Delta P$  определяется по формуле, Вт/м<sup>2</sup>:

$$\Delta P = a_{\text{p}} \cdot a_{\text{эф}} \cdot a_{\text{ш}} \cdot a_{\text{с}} \cdot \Delta P_{\text{изд}}, \quad (53)$$

где  $a_{\text{p}}$  – коэффициент, учитывающий неполное использование мощности нагревательных элементов (для спиральных нагревателей из нихрома можно брать = 0,8);

$a_{\text{эф}}$  – коэффициент эффективности системы излучателя (для нагревателей в виде проволочных спиралей обычно = 0,32);

$a_{\text{ш}}$  – коэффициент шага (можно принять = 1,4);

$a_{\text{с}}$  – коэффициент, зависящий от приведенного коэффициента излучения  $C_{\text{пр}}$  (при  $C_{\text{пр}} = 3,8$   $a_{\text{с}} = 1$ ).

Диаметр проволоки нагревателя находится из выражения, мм:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 10^5 \cdot P_{\phi}^2 \cdot \rho}{\pi^2 \cdot U^2 \cdot \Delta P}} \cdot 10^6 \quad (54)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала нагревателя, Ом·мм<sup>2</sup>/м, (для нихрома = 1,21...1,338);

$P_{\phi}$  – мощность нагревательных элементов одной фазы сушильного шкафа, кВт;

$U$  – напряжение питающей сети, В (при соединении нагревательных элементов фаз в  $\Delta$  –  $U = 380$  В, в  $Y$  –  $U = 220$  В).

По справочнику, принимают стандартный  $d_{\text{ГОСТ}} \geq d$  для соответствующей марки сплава.

Сопротивление нагревателей одной фазы равно, Ом

$$R = \frac{U^2}{P_{\phi} \cdot 10^3}, \quad (55)$$

Длина нихромовой проволоки нагревателя на одну фазу находится по формуле, м:

$$L_{\phi} = \frac{S \cdot R_{\phi}}{\rho}, \quad (56)$$

где  $S$  – сечение нихромовой проволоки, мм<sup>2</sup> ( $S = \pi \cdot d_{\text{ГОСТ}}^2 / 4$ ).

Диаметр одного витка спирали, при  $d < 3$  мм, можно определить по формуле, мм

$$D = 10 d_{\text{ГОСТ}}, \quad (57)$$

Следовательно, длина витка будет равна, мм:

$$l_{\text{в}} = \pi \cdot D \quad (58)$$

Число витков нагревателя на одну фазу, шт

$$w_{\phi} = \frac{L_{\phi}}{l_{\text{в}}} \cdot 10^{-3}, \quad (59)$$

Шаг спирали определяется по выражению, мм:

$$h = 3 \cdot d_{\text{ГОСТ}}, \quad (60)$$

Длина спирали на одну фазу находится по формуле, м:

$$L_{\text{СП}} = h \cdot w_{\phi} \cdot 10^{-3}, \quad (61)$$

Полученные размеры нагревательных элементов позволяют произвести рациональное размещение их в сушильном шкафу.

#### **4.4 Расчет камеры тупикового типа с электронагревом для сжигания старой изоляции обмоток электромашин**

Расчет камеры тупикового типа с электронагревом для сжигания старой изоляции обмоток электромашин выполняется по тем же формулам, что и расчет сушильного шкафа. Только в выражении (50) коэффициент целесообразно увеличить до 7-8 и в формуле (52) температуру  $T_{изд}$  поднять до требуемой величины сжигания  $553^{\circ}\text{K} - 623^{\circ}\text{K}$ , в зависимости от класса нагревостойкости изоляции и конструкции машин. Следует также обращать особое внимание на материалы из которых изготовлены корпуса электромашин. Для алюминия и его сплавов температуру  $T_{изд}$  надо брать ближе к нижнему пределу.

#### **4.5 Расчет сварочного трансформатора**

Для выполнения сварки конкретных деталей требуется соответствующий сварочный ток, который в свою очередь определяет диаметр электродов, таблица 14.

Таблица 14 – Величина сварочного тока

Сварочный ток, $I_2$ , А	30...50	60...90	100...130
Диаметр электрода, мм	2,0	3,0	4,0

Естественно, что чем толще свариваемые детали, тем больше требуется величина сварочного тока.

Исходными данными расчета трансформатора являются:  $U_1$ - напряжение питающей сети, В;  $U_2$ - напряжение вторичной обмотки (на холостом ходу, обычно берется равной 50 – 70 В), В;  $I_2$ - величина сварочного (вторичного) тока, А;  $f$ - частота тока, 50 Гц; сварочный трансформатор работает в режиме короткого замыкания и повторно-кратковременного включения, поэтому необходимо

знание ПВ (22), длительность рабочего цикла, чаще всего составляет 5 мин.

Расчет может выполняться как для случая отсутствия в хозяйстве готового магнитопровода однофазного трансформатора, так и при его наличии.

В первом случае расчет следует начать с определения размеров магнитопровода (рисунок 17):

где  $a$  – толщины пакета стержня, мм;

$a'$  – ширины листа стали стержня, мм, (в сварочных трансформаторах обычно –  $a = a'$ );

$l_{ок}$  – высоты окна (стержня), мм.

Для упрощения изготовления магнитопровода рационально выполнять его из листов одного и того же размера.

Ширина листов стали магнитопровода определяется из выражения, мм:

$$a' = \sqrt{\frac{2I_1 \cdot W_1}{l_{ок}^* \cdot (l_{ок}^* - 0,41) K_3 \cdot \Delta}}, \quad (62)$$

где  $I_1$  – первичный ток трансформатора, определяется по формуле, А:

$$I_1 = I_2 \frac{W_2}{W_1}, \quad (63)$$

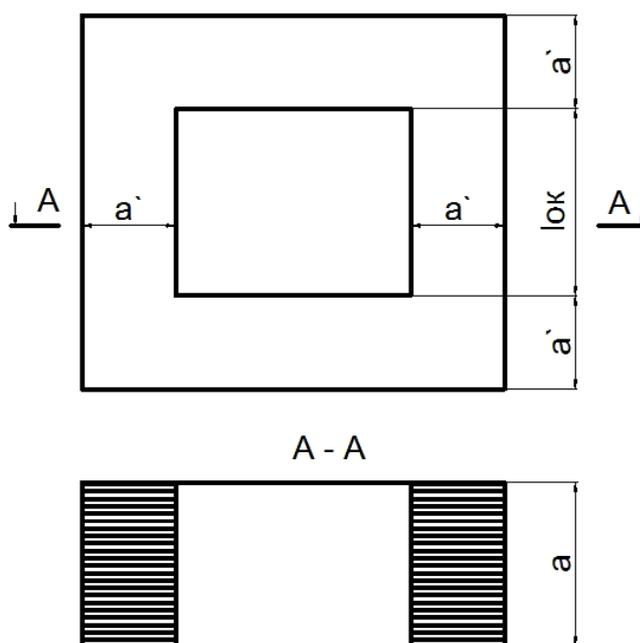


Рисунок 17 – Магнитопровод сварочного трансформатора

Числа витков первичной  $W_1$  и вторичной  $W_2$  обмоток трансформатора, находятся из выражений, шт.:

$$W_1 = 100 \cdot U_1 \sqrt{\frac{\Delta \cdot K_3 \cdot I_{\text{ок}}^* (I_{\text{ок}}^* - 0,41)}{4,44 \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot B}}, \quad (64)$$

$$W_2 = W_1 \cdot \frac{U_2}{U_1}, \quad (65)$$

где  $\Delta$  – максимальная плотность тока, рассчитывается по формуле, А/мм<sup>2</sup>:

$$\Delta = \frac{30}{\sqrt{\text{ПВ}}}, \quad (66)$$

$K_3$  – коэффициент заполнения окна магнитопровода трансформатора обмотками (обычно берется равным 0,38...0,43, большее значение для тонкой изоляции при большей толщине жилы);

$l_{\text{ок}}^*$  – отношение высоты окна стержня магнитопровода  $l_{\text{ок}}$  к ширине  $a$  ( $l_{\text{ок}}^* = l_{\text{ок}}/a$ ), допустимо принимать в пределах 1,5...2,0;

$B$  – магнитная индукция, Тл, (обычно 1,1...1,3; для хорошей трансформаторной стали с малыми зазорами в стыках можно брать и большую величину).

Длина листов стали определяется по формуле, мм:

$$L = l_{\text{ок}} + a, \quad (67)$$

Следовательно, размеры листов электротехнической стали, из которых шихтуется магнитопровод, имеет размеры  $L$  и  $a$ .

Число листов в одном стержне можно найти по формуле, шт.:

$$n = \frac{K_3 \cdot a}{\delta}, \quad (68)$$

где  $K_3$  – коэффициент заполнения стали, принимается в зависимости от толщины листа стали и рода изоляции, таблица 15;

$\delta$  – толщина листа стали, мм.

Сечения проводов первичной  $S_1$  и вторичной  $S_2$  обмоток трансформатора рассчитываются по выражениям, мм<sup>2</sup>:

$$S_1 = \frac{I_1}{\Delta} \quad (69)$$

$$S_2 = \frac{I_2}{\Delta} \quad (70)$$

Таблица 15 – Коэффициент заполнения стали

Толщина листов стали $\delta$ , мм	Род изоляции	
	лак	оксидная пленка
	Кс	Кс
0,5	0,93	0,95
0,35	0,9	0,93

По полученным сечениям в справочниках подбирают стандартные провода  $S_{1\text{ГОСТ}}$  и  $S_{2\text{ГОСТ}}$  с учетом толщины их изоляции. Марки проводов сварочных трансформаторов рационально принимать повышенного класса нагревостойкости (не ниже  $F$ ).

При круглых сечениях проводов (для первичной обмотки, как правило, для вторичной при отсутствии прямоугольного сечения) диаметры проводов находятся по формулам, мм:

$$d_{1\text{ГОСТ}} = \sqrt{1,27 S_1}, \quad (71) \quad d_{2\text{ГОСТ}} = \sqrt{1,27 S_2}, \quad (72)$$

Если  $d_{2\text{ГОСТ}}$  получается более 3 мм, необходимо разделить сечение  $S_2$  на несколько одинаковых по сечению параллельных проводов, тогда  $d_{2\text{ГОСТ}}$  будет равен, мм<sup>2</sup>:

$$d_{2\text{ГОСТ}} = \sqrt{\frac{1,27 S_2}{a'}}, \quad (73)$$

где  $a'$  – число параллельных проводов, шт.

Исходя из того, что от сварочных трансформаторов требуется крутопадающая характеристика (что получается за счет увеличения внутреннего индуктивного сопротивления), вторичная обмотка трансформатора размещается на одном стержне, тогда как первичная – на обоих.

С целью ступенчатого регулирования сварочного тока первичная обмотка секционируется. Число витков в секциях зависит от числа ступеней и находится из выражения, шт.:

$$W_{\text{ск}} = \frac{W_1}{2\beta}, \quad (74)$$

где  $\beta$  – число ступеней регулирования сварочного тока, шт.

При трех ступенях регулирования сварочного тока, размещение обмоток на стержнях трансформатора показано на рисунке 18. Для увеличения сварочного тока  $I_2$ , питающее напряжение  $U_1$  переключается с зажимов 1-1\* на 2-2\*, затем на 3-3\*. Такая регулировка не меняет напряжения зажигания дуги.

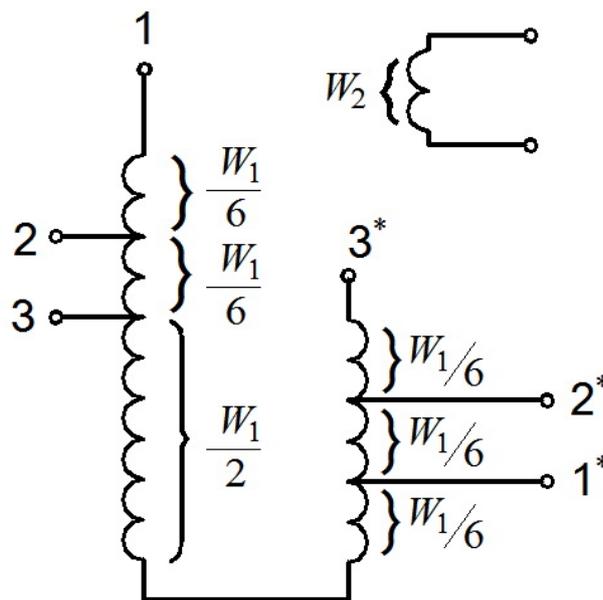


Рисунок 18 – Схема обмотки сварочного трансформатора с регулировочными ответвлениями

Обмотки сварочного трансформатора обычно выполняются цилиндрическими, причем первичная делается многослойной из круглого провода, вторичная в один или несколько слоев прямоугольного или круглого.

Для их конструирования находится число витков в одном слое обмотки, соответственно, первичной –  $W_{1c}$ , вторичной –  $W_{2c}$ , шт.:

$$W_{1c} = \frac{l_{ок} - 2(\delta_{из} + l_3)}{1,05 \cdot d_{1гост}} - 1, \quad (75)$$

$$W_{2c} = \frac{l_{ок} - 2(\delta_{из} + l_3)}{1,05 \cdot d_{2гост} \cdot a} - 1, \quad (76)$$

где  $\delta_{из}$  – толщина крышки изоляционного каркаса катушки, мм (можно принять 2...3 мм);

$l_3$  – воздушный зазор между каркасом и ярмом, мм (0,5-1 мм).

Число слоев в катушке части первичной обмотки, расположенной на стержне магнитопровода без вторичной обмотки, шт.:

$$n_1^* = W_1 \frac{2\beta - 1}{2\beta W_{1c}}, \quad (77)$$

Число слоев в катушке части первичной обмотки, расположенной на стержне вместе со вторичной обмоткой, шт.:

$$n_1^{**} = \frac{W_1}{2W_{1c}}, \quad (78)$$

Число слоев вторичной обмотки трансформатора определяется по формуле, шт.:

$$n_2 = \frac{W_2}{W_{2c}}, \quad (79)$$

Изоляционное расстояние  $b$  между обмотками на соседних стержнях в окне магнитопровода рассчитывается по формуле, мм:

$$b = a(l_{ок}^* - 0,41) - [\delta_{01} + \delta_{12} + 1,05(n_1^* + n_1^{**})(d_{гост} + \delta_k) + 1,05n_2(d_{гост} + \delta_9)], \quad (80)$$

где  $\delta_{01}$  – толщина изоляционного каркаса между стержнем и первичной обмоткой, мм (обычно 2...3 мм);

$\delta_{12}$  – толщина изоляционной прокладки (чаще всего из электрокартона марки ЭВ) между первичной и вторичной обмотками, мм (в среднем 1...2 мм);

$\delta_k$  – толщина изоляции между слоями обмотки высшего напряжения (делается из кабельной бумаги марки), мм (0,1...0,15);

$\delta_9$  – толщина изоляции между слоями вторичной обмотки, выполняется из тонкого электрокартона, мм (можно брать 0,15... 0,3 мм).

Номинально размер  $\delta$  должно быть в пределах 2-5 мм. В том случае, если величина  $\delta$  меньше нормы, а тем более отрицательная, размеры окна следует соответственно увеличить (меняя размер  $l_{ок}$ , а следовательно и  $L$ ), в противном случае обмотка в окне магнитопровода не разместится. Масса обмоточного провода первичной обмотки на стержне без вторичной обмотки  $G_1^*$  подсчитывается по выражению, кг:

$$G_1^* = \gamma \cdot S_{\text{ГОСТ}} l_{1\text{В}}^* W_1^* \cdot 10^{-6}, \quad (81)$$

где  $\gamma$  – плотность проводникового материала, кг/м<sup>3</sup>, (для меди – 8900 кг/м<sup>3</sup>, для алюминия – 2700 кг/м<sup>3</sup>);

$S_{\text{ГОСТ}}$  – принятое сечение жилы обмоточного провода первичной обмотки, мм<sup>2</sup>;

$l_{1\text{В}}^*$  – средняя длина витка обмотки может быть рассчитана по формуле, м:

$$l_{1\text{В}}^* = \frac{4(a' + 2\delta_{01}) + 4(a' + 2\delta_{01}) + 2 \cdot 1(\delta_{\text{ГОСТ}} n_1^* + \delta_k (n_1^* - 1)) \cdot 10^{-3}}{2}, \quad (82)$$

$W_1^*$  – число витков первичной обмотки на данном стержне равно, шт.:

$$W_1^* = W_1 \frac{2\beta - 1}{2\beta}, \quad (83)$$

Масса обмоточного провода первичной обмотки на стержне с вторичной обмоткой  $G_1^{**}$ , кг

$$G_1^{**} = \gamma \cdot S_{\text{ГОСТ}} l_{1\text{В}}^{**} W_1^{**} \cdot 10^{-6}, \quad (84)$$

где  $l_{1\text{В}}^{**}$  – средняя длина витка обмотки рассчитывается по формуле, м:

$$l_{1\text{В}}^{**} = \frac{4(a' + 2\delta_{01}) + 4(a' + 2\delta_{01}) + 2 \cdot 1(\delta_{\text{ГОСТ}} n_1^{**} + \delta_k (n_1^{**} - 1)) \cdot 10^{-3}}{2}, \quad (85)$$

где  $W_1^{**}$  – число витков первичной обмотки на стержне, находится из выражения, шт.

$$W_1^{**} = \frac{W_1}{2}, \quad (86)$$

Масса обмоточного провода первичной обмотки трансформатора равна, кг:

$$G_I = G_I^* + G_I^{**}, \quad (87)$$

Масса обмоточного провода вторичной обмотки сварочного трансформатора рассчитывается по формуле, кг:

$$G_2 = \gamma \cdot S_{\text{ГОСТ}} l_{2\text{В}} W_2 \cdot 10^{-6}, \quad (88)$$

где  $S_{\text{ГОСТ}}$  – принятое сечение жилы обмоточного провода вторичной обмотки, мм<sup>2</sup>;

$W_2$  – число витков вторичной обмотки (65), шт.;

$l_{2В}$  – средняя длина витка вторичной обмотки рассчитывается по формуле, м:

$$l_{1В}^* = \frac{4 \left[ (a' + 2\delta_{01}) + 2,1 \left( \delta_{1\text{ГОСТ}} n_1 + \delta_k (n_1 - 1) \right) + 2\delta_{12} \right]}{2} + \frac{4 \left[ \left( (a' + 2\delta_{01}) + 2,1 d_{1\text{ГОСТ}} n_1 + \delta_k (n_1 - 1) \right) + 2\delta_{12} + 2,1 \left( d_{2\text{ГОСТ}} n_2 + \delta_3 (n_2 - 1) \right) \right]}{2} \cdot 10^{-3} \quad (89)$$

Масса магнитопровода сварочного трансформатора находится из выражения, кг:

$$G_M = \gamma_{СТ} 4(a')^2 \cdot L \cdot 10^{-9} \quad (89)$$

где  $\gamma_{СТ}$  – плотность электротехнической стали, кг/м<sup>3</sup>;

$a'$  – ширина листа стали магнитопровода и толщина пакетов стержней и ярма, мм;

$L$  – длина листа стержней и ярм, мм.

При корректировке размера  $L$  формула (89) требует уточнения, так как длина листов стали в пакетах ярм и стержней будут разными, тогда

$$G_M = \gamma_{СТ} [2(a')^2 \cdot L_C + 2(a')^2 \cdot L_{Я}] \cdot 10^{-9} \quad (90)$$

где  $L_C$ ,  $L_{Я}$  – соответственно длина листов стали стержней и ярм, мм.

Во втором случае расчет сварочного трансформатора начинают с определения размеров, имеющегося в наличии, магнитопровода (рисунок 17):  $a$  – толщины пакета стержня, мм,  $a'$  – ширины листа стали стержня, мм,  $l_{ОК}$  – высоты окна (стержня), мм, устанавливают род изоляции листов стали. Расчет выполняется по тем же формулам. Методом подбора устанавливаются допустимый для данного магнитопровода сварочный ток  $I_2$  и все другие параметры.

Расчет и выбор силового электрооборудования ремонтного предприятия завершается составлением сводной ведомости в которой приводятся все основные характеристики принятых к установ-

ке электрических машин, аппаратов и устройств, рекомендуемая форма приведена в таблице 16.

Таблица 16 – Сводная ведомость силового электрооборудования предприятия

<i>N</i> п/п	Наименование оборудования	Тип	Мощность номинал. $P_H$ , кВт	Количество, шт.	Суммарная мощность $\Sigma P_H$ , кВт
	Итого:				

Окончание таблицы 16

<i>N</i> п/п	Напряжение $U_H$ , В	Ток $I_H$ , А	Частота вращения $n_H$ , мин <sup>-1</sup>	Коэф-нт мощ-ти $\cos\varphi_H$	КПД $\eta_H$	Кратнос. мак.мом. $\lambda_{\text{МАК}}$	Кратнос. мин.мом. $\lambda_{\text{МИН}}$	Кратнос. пуск.тока $K_{\text{ПУСК}}$
	Итого:							

где  $\lambda_{\text{МАК}}$  – кратность максимального момента электродвигателя,

$$\lambda_{\text{МАК}} = M_{\text{МАК}} / M_H;$$

$\lambda_{\text{МИН}}$  – кратность минимального момента электродвигателя,

$$\lambda_{\text{МИН}} = M_{\text{МИН}} / M_H;$$

$K_{\text{ПУСК}}$  – кратность пускового тока электродвигателя,  $K_{\text{ПУСК}} = I_{\text{ПУСК}} / I_H$ .

## **Глава 5**

### **Расчеты освещения помещений и выбор его оборудования**

Целью расчетов и выбора оборудования является обеспечение помещений ремонтного предприятия освещением, отвечающим всем директивным нормам (ПУЭ, СНиП и пр.) при соответствующем качестве и высокой экономичности.

В ремонтном предприятии СНиП-2-4-79 ("Строительные нормы и правила") делят искусственное освещение на рабочее (например, в разборочно-дефектовочном или изолировочно-обмоточном отделениях и т.п.), аварийное (на окрасочном, пропиточно-сушильном участках и всюду где возможен взрыв, пожар, отравление людей и пр.), охранное, если от щита предприятия запитывается освещение территории.

При расчетах аварийного освещения минимальная освещенность должна составлять не менее 5% от освещенности, предусмотренного для рабочего освещения, однако не менее 5 лк внутри зданий и 1 лк для территории ремпредприятия. Аварийное освещение всегда запитывается от независимого (от основного) источника.

Освещение в зависимости от назначения помещений выполняется или общее, при чем оно может быть: общее равномерное (например, комната отдыха, склады, тамбуры) и общее локализованное, спроектированное с учетом расположения оборудования (например, сборочное отделение), или комбинированное – в этом случае к общему освещению дополнительно делается еще местное (у столов в изолировочно-обмоточном отделении и пр.).

В зависимости от конкретных условий расчет освещения выполняется следующими способами: метод коэффициента использования светового потока – для расчета общего равномерного освещения закрытых помещений при отсутствии существенных затенителей, метод удельной мощности для тех же условий в не загроможденных помещениях, если от расчета не требуется повышенной

точности, точечный метод используется при расчетах общего равномерного и местного освещения, освещения вертикальных и наклонных плоскостей, открытых пространств.

В качестве основного источника света обычно применяются люминесцентные и газоразрядные лампы, как наиболее экономичные в эксплуатации, несмотря на необходимость дополнительной аппаратуры и высокую стоимость установки. Также следует учитывать, что люминесцентные и газоразрядные лампы имеют более мягкий спектр излучения, в 4-5 раз большую световую отдачу и больший срок службы по сравнению с лампами накаливания. Поэтому последние, как правило, используются там, где требуется низкая мощность ламп (тамбуры, туалеты и т.п.).

Наименьшая освещенность рабочих поверхностей должна соответствовать или отраслевым нормам, или СНиП, причем она различна для освещения люминесцентными лампами и лампами накаливания. Нормы освещенности люминесцентными лампами в 2-5 раз больше. Основные нормы осветительных установок для электроремонтных предприятий приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Нормы освещенности для помещений и участков ремонта электрооборудования, распределительных щитов и устройств

Наименование помещения или производственного участка	Расстояние от пола до рабочей поверхности $h_p$ , м	Освещенность $E_H$ от общего освещения, лк, при лампах	
		газоразрядных	накаливания
Щитовые в жилых и общественных зданиях	1,5	100	50
Помещения:			
- распредустройств	1,5	200	150
-статических конденсаторов	0,5	100	50
-для аккумуляторов	0,5	50	50

Окончание таблицы 17

Наименование помещения или производственного участка	Расстояние от пола до рабочей поверхно- сти $h_p$ , м	Освещенность $E_H$ от общего освещения, лк, при лампах	
		газоразряд- ных	накаливания
-изготовления изоляционных деталей	0,8	200	100
-намотки катушек групп об- мотки	0,8	300	200
-изоляции секций обмоток	0,8	200	150
-укладки обмоток	0,8	150	100
-пропитки и компаундирования	0,8	150	100
-узловой и генеральной сборки	0,8	300	200
-испытательной станции	0,8	300	200
-пропитки и сушки	0,8	150	75
-ремонта низковольтной аппа- ратуры	0,8	300	200
-ремонта аккумуляторов	0,8	200	150
-ремонта трансформаторов	0,0	200	150
-ремонта приборов	0,8	300	200
-складские	0,0	5	5
-душевая	0,0	75	50
-санузел, коридор, тамбур	0,0	-	10

Выбор типа светильников выполняется с учетом требований к характеру светораспределения и тип кривой силы света (КСС), условий окружающей среды, монтажа и эксплуатации, экономических соображений, таблицы 19, 20. Для общего равномерного освещения рекомендуемую типовую кривую силы света светильника с достаточной точностью можно определить [11] в зависимости от расчетной высоты его установки  $h$ , определяемую из выражения (238), по таблице 18.

Таблица 18 – Рекомендуемые кривые силы света в зависимости от высоты установки светильника

Расчетная высота $h$ , м	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
Типовая КСС	М	Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-3	К-1	К-2	К-3

Таблица 19 – Технические характеристики светильников

Тип	Кол-во ламп	Мощность лампы, Вт	КСС	КПД, %		Степень защиты	Габаритные размеры, мм, $L \cdot D, H$	
				общий	нижн. пол.			
Светильники с лампами накаливания, производственные помещения								
НСП03М-60	1	60	М	75	45	IP54	100	304
НСП11-100	1	100	Д-3	67	67	IP54	305	332
НСП11-100	1	100	М	77	47	IP54	200	362
НСП11-200	1	200	Д-3	67	67	IP54	410	362
НСП11-200	1	200	М	77	47	IP54	230	380
НСП20-500	1	500	Д-2	70	65	IP54	550	670
НСП20-500	1	500	Д-3	75	75	5`0	400	470
ПСХ60М	1	60	Д-1	65	50	IP54	200	136
Н4БН-150-П	1	150	М	70	30	ПНПВ	230	400
ВЗГ-200АМ	1	200	Д-1	75	55	В	398	520
Светильники с лампами накаливания, административные помещения								
НСО02-100	1	100	Д-1	75	55	IP20	230	530
НСО02-150	1	150	Д-2	75	55	IP20	230	550
НСО02-150	1	150	М	67	35	2`0	230	500
НПО 16-60	1	60	Д-1	75	35	IP54	265	205
Светильники с люминесцентными лампами, производственные помещения								
ЛСП02-2Х65	2	65	Д-2	70	65	IP20	1534	159
ЛСП06-2Х80	2	80	Д-2	75	70	IP20	1548	185
ЛСП13-2Х40	2	40	Г-1	75	70	IP20	1380	165
ЛСП16-2Х40	2	40	Д-1	60	60	IP54	1350	165

Окончание таблицы 19

Тип	Кол-во ламп	Мощность лампы, Вт	КСС	КПД, %		Степень защиты	Габаритные размеры, мм, $L \cdot D, H$	
				общий	нижн. пол.			
Н4Т5Л-2Х65	2	65	М	65	40	ПНПВ	1695	230
РВЛМ-40	1	40	М	75	45	В	1420	310
РВЛМ-65	1	65	М	75	45	В	1700	310
УСП36-2Х18*	2	18	Д-2	50	50	2`0	666	098
Светильники с люминесцентными лампами, административные помещения								
ЛПО02-Х20	2	20	Д-2	52	47	2`0	655	095
ЛПО03-40	1	40	М	80	60	IP20	1265	120
ЛПО03-40	1	40	Д-1	65	48	2`0	1265	120
ЛСО04-2Х40	2	40	Г-1	73	30	IP20	1270	265
ЛПО13-4Х40	4	40	Д-3	55	55	IP20	1380	100
ЛПО13-2Х65	2	65	Д-3	55	55	IP20	1680	100
ЛПО34-4Х36*	4	36	Д-3	70	45	IP20	1340	080
УСП36-2Х18*	2	18	Д-2	50	50	2`0	666	098
Светильники с лампами ДРЛ, производственные помещения								
РСР05-250	1	250	Г-1	80	80	IP20	398	472
НСГ05-250	1	250	К-1	80	80	IP20	398	552
РСР05-400	1	400	Д-3	71	71	IP20	492	535
РСР17-700	1	700	К-1	75	75	5`0	520	650
<p>где ниж.пол. – в нижней полусфере;  <math>L, D</math> – длина, диаметр;  <math>H</math> – высота;  * – светильники с люминесцентными (энергоэкономичными) лампами.</p>								

В ремонтных предприятиях для использования обычно рекомендуются следующие типы светильников, таблица 20.

Таблица 20 – Рекомендуемые светильники для ремпредприятий

Тип помещения (степень защиты светильников)	Светильники с люминесцентными лампами	Светильники с лампами накаливания
Производственные: сухие (IP20, 2`0), влажные (IP54)	УСП36-2x18; ЛСП02-2x65; ЛСП06-2x80; ЛСП16-2x40; РСП05-250	НСПО3М-60; НСП11-100; НСП20-500; НСП11-200
Взрывоопасные (В, ПНПВ)	РВЛМ-40; РВЛМ-65	Н4БН-150-2; ВЗГ- 200АМС
Общественные, административные: сухие (IP20, 2`0), влажные (IP54)	ЛПО02-2X20; ЛПО03-40; ЛПО13-2x65; УСП36-4x x18	НСО02-100; НСО02- -150; НПО16-60
Бытовые: влажные (IP54), сырые и особо сырые (IP54, ЛСП18-40 для люминесцентных ламп 5`4)	ЛСП16-2x40; ЛСП18-40	НСП11-100; ПСХ-60М

Размещение светильников в освещаемом помещении в основном зависит от типа источника и конфигурации помещения. При "точечных" источниках света, для равномерного распределения освещения на освещаемой поверхности, светильники располагают по вершинам квадрата со стороной  $L$  (м), рисунок 19а; или прямоугольника со сторонами  $L_a$  и  $L_b$  (м), рисунок 19б, где  $L_a$  – расстояние между светильниками в ряду,  $L_b$  – расстояние между рядами светильников. Рекомендуется принимать  $L_a:L_b < 1,5$ .

В узких помещениях светильники устанавливают в один ряд. Люминесцентные светильники обычно располагают рядами.

Расстояние между светильниками определяется из выражения, м:

$$L = \lambda \cdot h \quad , \quad (91)$$

где  $\lambda$  – оптимальное относительное расстояние между светильниками  $L/h$ ;

$h$  – расчетная высота подвеса светильника над расчетной поверхностью, м (рисунок 20).

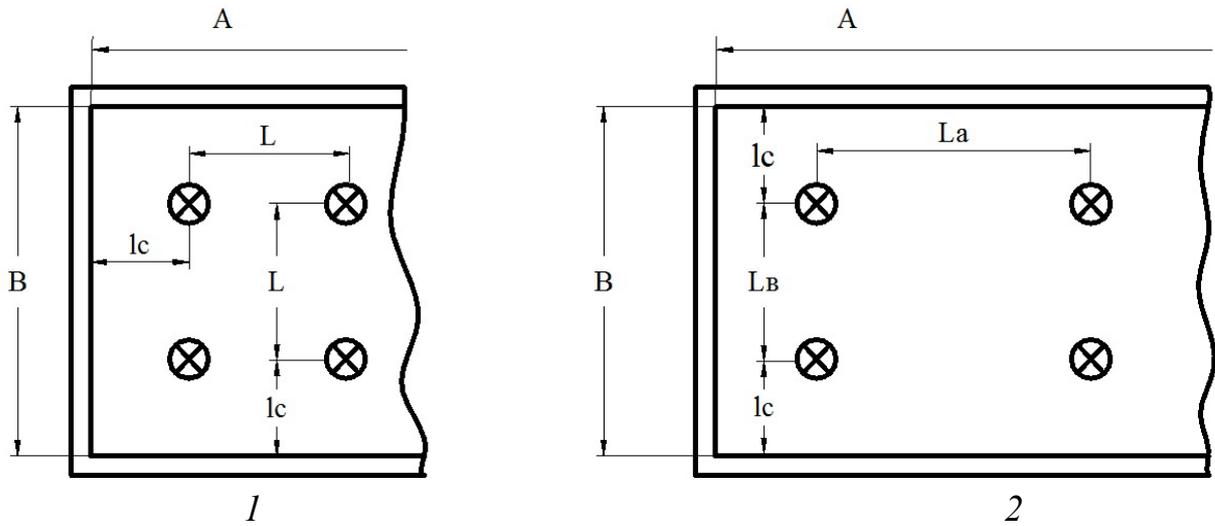


Рисунок 19 – Размещение светильников с точечными излучателями:  
1 – при квадратном, 2 – при прямоугольном

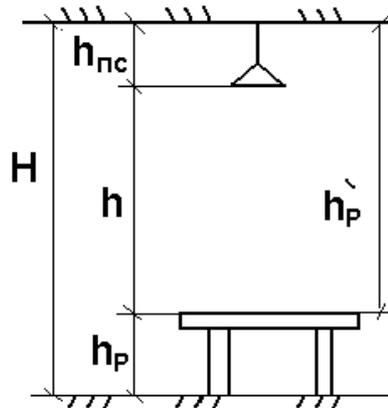


Рисунок 20 – Размещение светильников по высоте помещения

$$h = H - h_{\text{р}} - h_{\text{ПС}}, \quad (92)$$

где  $H$  – высота помещения, м;

$h_{\text{р}}$  – высота расчетной поверхности над полом, на которой нормируется освещенность, м (таблица 17);

$h_{\text{ПС}}$  – расстояние от потолка до светильника (свес), м:

$$h_{\text{ПС}} = k h_{\text{р}};$$

$h_p'$  – расстояние от потолка до расчетной поверхности, м:

$$h_p' = H - h_p;$$

$k$  – коэффициент, учитывающий создание равномерной яркости по потолку для светильников отраженного и рассеянного светораспределения, берется в пределах 0,2...0,25.

Минимально допустимая высота установки светильников указана в ПУЭ. Рациональную величину  $\lambda$  для типовых кривых силы света можно принять по таблице 21.

Таблица 21 – Рекомендуемые значения относительного наилучшего расстояния для светильников с типовыми кривыми силы света (ГОСТ 17677-82)

Типовые КСС	Концентрированная К	Глубокая Г	Косинусная Д	Полуширокая Ш	Равномерная М
$\lambda$	0,4...0,7	0,8...1,2	1,2...1,6	1,4...2,0	1,8...2,6

Расстояние от крайних рядов светильников до стен  $l_c$  (рисунок 19) принимается в зависимости от размещения рабочих поверхностей: при их установке вдоль стен помещения  $(0,25-0,3)L$ , в остальных случаях  $(0,4-0,5)L$ .

Исходя из известных  $L$  и размеров помещения, число светильников в одном ряду  $n_a$ , число рядов светильников  $n_b$  и общее их количество  $N$  можно определить по формулам:

$$n_a = \frac{a - 2l_c}{L} + 1, \quad (93)$$

$$n_b = \frac{b - 2l_c}{L} + 1, \quad (94)$$

$$N = n_a \cdot n_b \quad (95)$$

где  $l_c$  – расстояние от крайних светильников или их рядов до стены, м;

$N$  – общее число светильников, шт.;

$a, b$  – размеры помещения, соответственно, длина и ширина, м.

Полученные из выражений значения  $n_a, n_b$  и  $N$  округляются в сторону уменьшения до целого, проводится уточнение величин  $L, l_c$ .

При использовании для освещения люминесцентных ламп вначале находятся только число рядов ламп  $n_B$ , все остальные данные определяются светотехническим расчетом.

### 5.1 Расчет освещения методом коэффициента использования светового потока

В этом случае мощность лампы находится по ее расчетному световому потоку  $\Phi_p$ , лм:

$$\Phi_p = \frac{E_n K_3 S z}{n_c N \eta}, \quad (96)$$

где  $E_n$  – нормируемая освещенность, лк (таблица 17);

$K_3$  – коэффициент запаса (таблица 22);

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

$z$  – коэффициент минимальной освещенности;

$n_c$  – число ламп в светильнике, шт.;

$N$  – число светильников в освещаемом помещении, шт.;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока в долях единицы.

Коэффициент минимальной освещенности  $z$  предназначен для обеспечения нормируемой освещенности в любой точке помещения. Он зависит от многих параметров, но в наибольшей степени от  $\lambda$ . При рекомендованных значениях отношения  $L/h$  т.е.  $\lambda$  (таблица 21), с достаточной точностью  $z$  можно принимать равным:

1,15 – для светильников с лампами накаливания и ДРЛ;

1,1 – для светильников с люминесцентными лампами, при расположении светильников в виде светящейся линии;

1,0 – для всех светильников отраженного света.

Коэффициент использования светового потока  $\eta$ , зависит от большого числа факторов, характеризующих светильники, освещаемые помещения, высоту подвеса. Величина  $\eta$  определяется по выражению:

$$\eta = \eta' \eta_H + \eta'' \eta_B \quad (97)$$

где  $\eta'$  и  $\eta''$  – коэффициенты использования светового потока, направленных, соответственно, в нижнюю и верхнюю полусферы в долях единицы;

$\eta_H$  и  $\eta_B$  – коэффициенты полезного действия светильников, в нижнюю и верхнюю полусферы пространства в долях ед.

Таблица 22 – Значения коэффициента запаса

Освещаемые помещения	Коэффициент запаса Кз	
	для ламп накаливания	для газоразрядных ламп
Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне: а) свыше 5 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти (участки очистки деталей, окраски, кузницы, сварки и т.п.)	1,7	2,0
б) от 1 до 5 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти (склад ремфонда, разборочно-дефектовочное отделение и т.п.)	1,5	1,8
в) менее 1 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти (изолирующе-обмоточное, сборочные отделения и т.п. помещения)	1,3	1,5
Административные, общественные, жилые помещения и т.п. (комнаты отдыха, инженерно-технического, счетного персонала)	1,3	1,5

Коэффициенты использования светового потока  $\eta'$  и  $\eta''$  находят в справочной литературе [24, 25] по индексу помещения  $i$ :

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}, \quad (98)$$

и по коэффициентам отражения: рабочей поверхности  $\rho_p$ , потолка  $\rho_{\Pi}$ , стен  $\rho_C$ . Величина коэффициента отражения рабочей поверхности  $\rho_p$  принимается равной 10 или 30%. Значения  $\rho_{\Pi}$  и  $\rho_C$  принимаются по таблице 23.

Таблица 23 – Приблизительные значения коэффициентов отражения стен и потолка

Характер отражающей поверхности	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 светлой пыли; стены, сплошь оклеенные, без штор; красный кирпич неоштукатуренный; стены с темными обоями	10

Значения коэффициентов использования светового потока, направленного в нижнюю полусферу,  $\eta'$  для светильников с типовыми кривыми силы света приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Коэффициенты использования светового потока, направленного в нижнюю полусферу для светильников с типовыми кривыми силы света (КСС)

Индекс помещения $i$	Коэффициенты использования светового потока $\eta$ , %														
	Коэффициенты отражения стен, потолка и рабочей поверхности														
	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
	Типовые КСС														
	М					Д-1					Д-2				
0,50	28	27	19	18	11	32	31	25	24	17	37	36	29	28	21
0,60	35	34	24	23	16	40	39	31	30	23	45	44	35	34	28
0,70	42	40	30	27	22	48	46	37	35	30	53	51	43	41	36
0,80	49	46	37	31	28	56	53	44	39	37	62	58	51	46	44
0,90	52	48	39	33	30	59	55	46	41	39	65	60	53	48	46
1,00	54	50	41	34	31	62	57	49	43	41	68	63	55	50	48

Окончание таблицы 24

Индекс помещения $i$	Коэффициенты использования светового потока $\eta$ , %														
	Коэффициенты отражения стен, потолка и рабочей поверхности														
	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
Типовые КСС															
1,10	57	52	43	36	33	64	59	51	44	43	70	65	57	52	49
1,25	60	55	45	38	35	68	62	54	47	45	74	68	60	55	52
1,50	65	59	49	42	39	73	66	58	51	49	79	72	64	59	56
1,75	69	62	52	45	42	77	69	62	55	52	84	76	68	62	60
2,00	73	65	55	48	45	80	72	64	58	55	87	78	71	65	63
2,25	76	68	58	54	48	83	75	67	62	58	90	80	74	69	66
2,50	79	71	61	58	50	86	77	70	66	60	92	82	76	72	68
3,00	84	75	66	66	55	91	81	74	72	64	97	86	80	77	72
3,50	88	78	71	70	59	95	84	78	76	67	101	89	83	81	75
4,00	91	81	73	72	62	98	86	80	78	70	103	91	85	82	78
5,00	95	82	75	73	65	101	88	82	80	73	106	92	87	83	80
	Д-3					Г-1					К-1				
0,50	43	42	34	30	28	50	49	42	37	36	65	61	56	54	52
0,60	50	48	40	35	33	57	56	48	43	42	73	68	63	61	58
0,70	56	53	45	40	38	63	61	54	49	48	79	73	69	66	65
0,80	61	58	50	45	43	69	65	59	54	53	83	77	73	70	69
0,90	65	62	53	48	46	73	69	63	58	57	86	79	76	72	71
1,00	68	65	57	52	50	76	72	66	61	60	89	81	79	74	73
1,10	71	68	60	55	53	80	75	69	65	63	92	83	80	76	75
1,25	76	72	64	59	57	84	79	73	69	67	95	86	83	79	78
1,50	83	78	70	65	63	90	84	79	75	73	99	90	87	83	82
1,75	88	82	75	70	68	95	88	83	79	77	102	92	90	86	85
2,00	93	84	78	73	71	99	89	85	81	79	103	94	91	88	87
2,25	96	86	80	76	73	101	91	87	83	81	104	96	92	89	88
2,50	98	88	81	78	75	103	98	88	85	82	106	97	93	90	89
3,00	102	91	84	82	79	106	96	91	88	85	108	99	95	92	91
3,50	105	94	87	85	82	109	98	93	91	87	110	100	96	94	92
4,00	108	96	89	88	84	111	100	95	92	89	112	101	97	95	93
5,00	111	98	93	90	87	114	101	97	94	91	115	100	98	96	93

Значения коэффициентов использования светового потока, направленного в верхнюю полусферу,  $\eta''$  для светильников с типовыми кривыми силы света приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Коэффициенты использования светового потока осветительной установки, направленные в верхнюю полусферу

Индекс помещения $i$	Потолочными светильниками					Подвесными светильниками				
	Коэффициенты отражения стен, потолка и рабочей поверхности									
	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
0,50	26	25	13	6	0	19	18	9	4	0
0,60	30	28	16	8	0	24	22	11	5	0
0,70	34	32	19	10	0	27	26	13	6	0
0,80	38	36	21	11	0	31	29	16	7	0
0,90	40	38	23	12	0	34	32	18	8	0
1,00	43	41	25	13	0	37	35	20	9	0
1,10	46	43	26	14	0	40	37	21	11	0
1,25	49	46	28	15	0	43	41	24	12	0
1,50	54	49	31	17	0	48	44	26	14	0
1,75	57	52	33	18	0	52	48	29	15	0
2,00	60	54	35	19	0	55	50	31	16	0
2,25	62	56	37	20	0	58	52	33	17	0
2,50	65	58	38	21	0	60	54	34	18	0
3,00	68	60	40	22	0	64	57	36	20	0
3,50	70	62	41	23	0	67	60	39	21	0

**Примечание:** в том случае, если в справочнике или таблицах 24 и 25 для конкретного светильника отсутствуют величины коэффициентов использования светового потока  $\eta'$  и  $\eta''$ , можно подобрать в таблицах близкий по техническим характеристикам светильник и провести определение  $\eta'$  и  $\eta''$  по нему.

Для определения коэффициента использования светового потока  $\eta$  по формуле (97) требуются значения КПД светильников, в нижнюю и верхнюю полусферы пространства ( $\eta_{Н}$  и  $\eta_{В}$ ), они опре-

деляются по таблице 19, при этом  $\eta_B$  находится как арифметическая разность общего КПД и КПД в нижней полусфере  $\eta_H$ .

По расчетной величине светового потока лампы  $\Phi_p$  (96) подбирают по таблицам 40, 41, 42 стандартную лампу (мощностью  $P$ ) с ближайшей величиной светового потока  $\Phi_l$ , при этом  $\Phi_l$  должен быть в пределах:

$$0,9 \Phi_p \leq \Phi_l \leq 1,2 \Phi_p \quad (99)$$

В тех случаях, когда выбрать лампу, отвечающую указанному условию, не представляется возможным, берут ближайшую лампу с большим световым потоком, уменьшают общее число светильников

$$N = \frac{E_H K_3 S z}{n_c \Phi_l \eta}, \quad (100),$$

что ведет к увеличению расстояния  $L$  между ними. Однако последнее не должно значительно выходить за пределы наивыгоднейшего расстояния  $\lambda \cdot h$ .

В случае освещения помещения люминесцентными лампами известны: мощность, число и световой поток ламп в светильнике, требуется определить: число светильников в помещении –  $N$ , что делается по формуле (100) и число их в одном ряду –  $n_a$ , находится по формуле:

$$n_a = \frac{N}{n_b}, \quad (101)$$

где  $n_b$  – число рядов светильников, определяется по формуле (94).

Параметры наиболее широко используемых ламп приведены в таблицах 26, 27 и 28.

Таблица 26 – Параметры ламп накаливания общего назначения

Тип	Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лк	Тип	Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лк
В	225	15	105	Б	230-240	75	935
В	225	25	220	БК	215-225	75	1020
В	215-225	25	415	Б	215-225	75	1350
	220-230				220-230		

Окончание таблицы 26

Тип	Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лк	Тип	Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лк
Б	230-240	40	410	Б	230-240	75	1335
БК	215-225	40	460	Б	235-245	100	1330
	220-230			БК	215-225	100	1450
БК	230-240	40	450		220-230		
Б	215-225	40	415	БК	230-240	100	1430
	220-230			Б	215-225	150	2100
Б	230-240	60	705	Г	220-230	150	2090
Б	235-245	60	700		215-225		
БК	215-225	60	790	Б,Г	220-230	200	2920
	220-230			Г	215-225	300	4610
БК	230-240	60	775	Г	225	500	8300
БК	215-225	60	950	Г	225	750	13100
	220-230			Г	225	1000	18600

Таблица 27 – Параметры люминесцентных ламп общего назначения

Мощность Р, Вт	Напряжение, В	Световой поток после 100 ч горения, лм						Длина лампы со штырями
		ЛБ	ЛДЦ	ЛБР	ЛД	ЛЕ	ЛЕЦ	
18	127	1256	850	-	-	-	850	604
20	127	1200	850	-	700	-	865	604
30	220	2180	-	-	1800	1460	1400	909
36	220	3050	2200	-	-	-	2150	1214
40	220	3200	-	2500	2500	2100	2190	1214
58	220	4800	-	-	-	-	3330	1514
65	220	4800	3160	-	4000	3400	3400	1514
80	220	5400	3800	4350	4300	4100	-	1514

Таблица 28 – Параметры газоразрядных ламп высокого давления

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение, В	Номинальный ток лампы, А	Световой поток, клк	Длина, мм
ДРЛ250	250	130	2,15	12,0	227
ДРЛ400	400	135	3,25	22,0	292
ДРЛ700	700	140	5,45	37,0	368

## 5.2 Расчет освещения методом удельной мощности

Расчет выполняется по следующим этапам:

Проверяется возможность использования метода расчета.

Выбираются по таблице 17 для рассчитываемого помещения норма освещенности и по таблицам 19, 20 – тип светильника.

Так же, как было сделано ранее в пункте 5.1, выполняется размещение светильников с учетом габаритов помещения (при этом находятся: высота подвеса светильников  $h$ , расстояния между ними  $L$ , число светильников  $N$  и пр.).

С учетом таблицы 23, принимаются коэффициенты отражения рабочей поверхности  $\rho_p$ , потолка  $\rho_{\Pi}$  и стен  $\rho_c$ .

Дальнейший расчет выполняется в зависимости от выбранного типа светильника.

### 5.2.1 Расчет светильников точечного излучения

Определяется расчетная мощность лампы, Вт:

$$P_p = \frac{P_{уд} S \eta}{N \cdot n_c}, \quad (102)$$

где  $N$  – общее число светильников в освещаемом помещении, шт.;

$n_c$  – количество ламп в светильнике, шт.;

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

$\eta$  – КПД светильника в относительных единицах;

$P_{уд}$  – расчетная удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>, определяется по формуле:

$$P_{уд} = \frac{P_{уд}^T K_1 K_2 K_3 E_H}{100}, \quad (103)$$

где  $P_{уд}^T$  – табличная величина удельной мощности, находится в таблицах 29 – 31, для принятого типа светильников, Вт/м<sup>2</sup>.

$E_H$  – нормируемая величина освещенности помещения, таблица 17, лк;

$K_1, K_2, K_3$  – коэффициенты приведения табличной удельной мощности  $P_{уд}^T$  к реальным условиям работы светильников, в долях единицы.

Таблица 29 – Удельная мощность общего равномерного освещения светильниками с лампами накаливания ( $\rho_{\Pi}=50\%$ ,  $\rho_{\text{С}}=30\%$ ,  $\rho_{\text{Р}}=10\%$ ,  $K_3=1,3$ ,  $Z=1,15$ , условный КПД=100%,  $E=100$  лк)

$h$ , м	$S$ , м <sup>2</sup>	Удельная мощность $P_{\text{уд}}^{\Gamma}$ , Вт/м <sup>2</sup> , светильников с КСС					
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3
Светильники с ЛН мощностью 60 Вт							
1,5-2	10-15	26,4	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	19,2	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	13,6	13,1	13,1
	более 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
	более 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
	15-25	45,2	38,4	33,3	26,9	22,6	22,2
	25-50	34,2	30,2	28,8	23,9	20,4	20,1
	50-150	27,5	24,4	24,4	20,8	18,1	17,7
	150-300	23,5	21,1	19,8	17,3	15,6	15,4
	более 300	20,1	17,8	16,4	14,9	14,1	14,1
Светильники с ЛН 100-200 Вт							
2-3	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
	более 300	13,0	12,1	11,5	11,1	10,8	10,8
3-4	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
	25-50	28,8	25,4	24,3	20,1	17,2	16,9
	50-150	23,2	20,5	20,5	17,5	15,2	14,9

Окончание таблицы 29

h, м	S, м <sup>2</sup>	Удельная мощность P <sup>Г</sup> <sub>уд,Вт/м<sup>2</sup>, светильников с КСС</sub>					
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3
3-4	150-300	19,8	17,8	16,7	14,6	13,2	13,0
	более 300	16,9	15,0	13,9	12,6	11,9	11,9
4-6	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
	более 400	14,4	13,3	12,7	11,7	11,4	11,1
Светильники с ЛН мощностью 300 Вт							
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
	более 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	26,4	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	11,5	11,2
	более 400	13,2	12,2	11,6	10,7	10,4	10,2

$K_1$  – коэффициент приведения коэффициента запаса  $K_3^P$  (таблица 22) к табличным величинам  $K_3^T$  (таблицы 29, 30, 31) и рассчитывается по выражению:

$$K_1 = \frac{K_3^P}{K_3^T}, \quad (104)$$

Таблица 30 – Удельная мощность общего равномерного освещения светильниками с люминесцентными лампами ЛБ40\* ( $\rho_{\text{П}}=50\%$ ,  $\rho_{\text{С}}=30\%$ ,  $\rho_{\text{Р}}=10\%$ ,  $K_3=1,5$ ,  $Z=1,1$ , условный КПД=100%,  $E=100$  лк)

$h, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	Удельная мощность $P_{\text{уд}}^{\text{Г}}$ , Вт/м <sup>2</sup> , светильников с КСС			
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1
2-3	10-15	6,1	5,2	5,0	4,1
	15-25	4,8	4,2	4,2	3,6
	25-50	4,2	3,8	3,6	3,1
	50-150	3,5	3,1	2,9	2,6
	150-300	3,0	2,8	2,6	2,5
	более 300	2,7	2,5	2,5	2,3
3-4	10-15	10,5	8,5	6,9	5,5
	15-20	7,8	6,7	5,8	4,7
	20-30	5,9	5,2	5,0	4,2
	30-50	4,8	4,6	4,2	3,6
	50-120	4,1	3,7	3,4	3,0
	120-300	3,5	3,1	2,9	2,6
	более 300	2,8	2,6	2,3	2,3
4-6	10-17	20,0	12,9	11,0	7,6
	17-25	12,2	9,6	7,8	5,9
	25-35	8,8	7,8	6,3	5,0
	35-50	6,9	5,9	5,4	4,4
	50-80	5,0	4,6	4,6	3,8
	80-150	4,5	4,0	3,8	3,3
	150-400	3,5	3,4	3,1	3,8
	более 400	3,0	2,8	2,6	2,4
Удельная мощность для светильников с лампами другой мощности и цветности рассчитывается путем умножения табличных данных на следующие коэффициенты: 1,4-для ЛДЦ40 и ЛЕЦ40; 1,25-для ЛЕ40; 1,3-для ЛБР40 и ЛБ20; 1,1-для ЛБ65 и ЛБ80.					

$K_2$  коэффициент приведения реальных коэффициентов отражения потолка –  $\rho_{\text{ПР}}$ , стен –  $\rho_{\text{СР}}$  и рабочей поверхности –  $\rho_{\text{РР}}$  (таблица 22) к табличным величинам  $\rho_{\text{ПГ}}$ ,  $\rho_{\text{СТ}}$ ,  $\rho_{\text{РТ}}$  (таблицы 28, 29, 30). При этом, если  $\rho_{\text{ПСРР}} = \rho_{\text{ПСРТ}}$  коэффициент уточнения  $\beta_{\text{пср}} = 1$ , если

$\rho_{\text{ПСПР}} > \rho_{\text{ПСПТ}}$  коэффициент  $\beta_{\text{псп}} = 0,9$ , если  $\rho_{\text{ПСПР}} < \rho_{\text{ПСПТ}}$  коэффициент  $\beta_{\text{псп}} = 1,1$ .

$K_2$  определяется по формуле:

$$K_2 = \frac{\beta_{\text{п}} S_{\text{п}} + \beta_{\text{с}} S_{\text{с}} + \beta_{\text{р}} S_{\text{р}}}{S_{\text{п}} + S_{\text{с}} + S_{\text{р}}}, \quad (105)$$

где  $S_{\text{п}}$ ,  $S_{\text{с}}$ ,  $S_{\text{р}}$  – площади, соответственно, потолка ( $a \cdot b$ ), стен  $(a+b) \cdot 2 \cdot H$ , рабочей поверхности берется по реальным условиям,  $\text{м}^2$ .

Таблица 31 – Удельная мощность общего равномерного освещения светильниками с лампами ДРЛ ( $\rho_{\text{п}}=50\%$ ,  $\rho_{\text{с}}=30\%$ ,  $\rho_{\text{р}}=10\%$ ,  $K_3=1,5$ ,  $Z=1,15$ , условный КПД=100%,  $E=100$  лк)

$h, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	Удельная мощность $P_{\text{уд}}^{\text{т}}, \text{ Вт/м}^2$ , для светильников			
		РСП05, РСП08, РСП13, РСП17, РСП20, ПДДРЛ	РСП05, РСП08 РСП10, РСП13 РСП17, ГСП17	РСП05, РСП08 РСП13, РСП13	РСП08
		С характеристикой светораспределения			
		П, Г-1	П, Г-3	П, К-1	П, Л
6-8	50-65	13,0	8,3	7,3	16,3
	65-90	11,2	7,2	6,8	13,7
	90-135	9,4	6,5	6,2	9,2
	135-250	7,9	5,9	5,6	9,2
	250-500	6,7	5,2	5,0	7,2
	более 500	5,4	4,6	4,6	5,7
8-12	70-100	15,8	10,6	7,9	20,8
	100-130	13,1	8,4	7,4	16,5
	130-200	11,2	7,1	6,7	13,4
	200-300	9,3	6,4	6,1	10,9
	300-600	7,9	5,8	5,5	8,8
	600-1500	6,2	5,1	4,8	6,8
	более 1500	5,3	4,5	4,4	5,4

$K_3$  – коэффициент приведения напряжения питания ламп накаливания к табличной величине ( при пересчете напряжения сети  $U_{\text{н}} = 127 \text{ В}$  к табличной  $U_{\text{н}} = 220 \text{ В}$  коэффициент  $K_3$  принимают равным 0,86; при  $U_{\text{н}}$  сети 220 В – коэффициент  $K_3 = 1$ ).

По расчетной величине мощности лампы  $P_p$  в таблице 25 подбирается лампа стандартной мощности  $P_{л}$ , с учетом требования формулы:

$$0,9 P_p \leq P_{л} \leq 1,2 P_p , \quad (106)$$

Проверяется возможность размещения лампы в светильнике.

### 5.2.2 Для светильников линейного излучения (с люминесцентными лампами)

Определяется количество светильников  $N$  в помещении и округляется в сторону уменьшения, шт.:

$$N = \frac{P_{уд} S \eta}{P_{л} n_c} , \quad (107)$$

где  $P_{л}$ - мощность лампы в выбранном типе светильника, Вт;

$n_c$ - количество ламп в светильнике, шт;

$S$  – площадь помещения,  $m^2$ ;

$\eta$  – КПД светильника в относительных единицах;

$P_{уд}$  – расчетная удельная мощность,  $Вт/м^2$ , определяется по формуле:

$$P_{уд} = \frac{P_{уд}^T K_1 K_2 E_n}{100} , \quad (108)$$

где  $P_{уд}^T$  – табличная величина удельной мощности, находится по таблице 29, для принятого типа светильников,  $Вт/м^2$ ;

$E_n$  – нормируемая величина освещенности помещения, таблица 17, лк;

$K_1, K_2$  – коэффициенты приведения табличной удельной мощности  $P_{уд}^T$  к реальным условиям работы светильников, в долях единицы.

Для подбора мощности лампы  $P_{л}$  (107) в выбранном типе светильника (пункт 2 расчета по рассматриваемому методу), в начале, по таблице 32 подбирается тип источника света в зависимости от характеристики зрительной работы (из приведенных в таблице типов ламп наибольшее применение как для производственных, так и для общественных зданий получил тип ЛБ), за тем, мощность лампы  $P_{л}$  выбирается исходя из мощности светильника. Например,

если тип светильника ЛСП16-40 мощность лампы может быть только 40 Вт, т.е. выбирается лампа ЛБ-40.

Число светильников в одном ряду  $n_a$  находится из выражения, шт.:

$$n_a = \frac{N}{n_b}, \quad (109)$$

где  $n_b$  – число рядов светильников (94), шт.

Таблица 32 – Рекомендуемые источники света в зависимости от зрительной работы

Характеристика зрительной работы	Е при системе общего освещения, лк	Типы источников света у зданий	
		производственных	общественных
Различение цветовых объектов без контроля и сопоставления (отделение изолировочно-обмоточное, столовые и т.п.)	300 и более	ЛБ, ДРИ, (ЛХБ)	ЛБ, (ЛХБ, ЛЕ)
	От 300 до 150	ЛБ, (ЛХБ)	ЛБ, (ЛХБ, ЛЕ)
	менее 150	ЛБ, (ЛН, КГ)	ЛБ, (ЛН)
Работа с ахроматическими объектами (отделения разборочно-дефектовочное, комплектовочное, сборочное, слесарно-механическое, испытательные участки и т.п.)	500 и более	ЛБ, ЛХБ, ДРИ	ЛБ, ДРИ, (ЛХБ)
	От 500 до 300	ЛБ, ДРИ, ДРЛ, (ЛХБ)	ЛБ, ДРИ, (ЛХБ)
	От 300 до 150	ЛБ, ДРЛ, ЛХБ	ЛБ, (ЛХБ, ЛЕ)
	Менее 150	ЛБ, (ЛТБ, ЛН, КГ)	ЛБ, (ЛН)
Общее восприятие интерьера (склады, коридоры, тамбуры, и т.п.)	150 и более	ЛБ, (ЛЕ, ЛН)	ЛБ, (ЛЕ, ЛН)

Определяется действительное расстояние от стены до светильников в одном ряду по формуле, м:

$$l_c = \frac{a - n_a l_{св}}{2}, \quad (110)$$

где  $l_{св}$  – длина светильника, м.

В том случае если расстояние  $l_c$  получается отрицательным, следует сменить тип светильника на другой с более мощными лампами и повторить расчет.

### 5.3 Расчет освещения точечным методом

Этот расчет делается в целях подбора рационального типа лампы и определения ее мощности для ранее выбранного светильника. Метод применим для любых условий освещения, но используется в первую очередь там, где требуется повышенная точность расчета освещенности рабочей поверхности.

Он основан на определении освещенности контрольной (наименее освещенной) точки помещения от условной лампы со световым потоком 1000 лм, с последующим уточнением требуемого светового потока  $\Phi_r$  для создания нормированной освещенности в контрольной точке на как угодно расположенной поверхности. При расчете отраженная составляющая освещенности и действие удаленных светильников учитываются приблизительно.

После выбора, а также размещения светильников на плане освещаемого помещения и определения наименее освещенной точки, рисунок 21, расчет по данному методу выполняется в зависимости от типа излучателя.

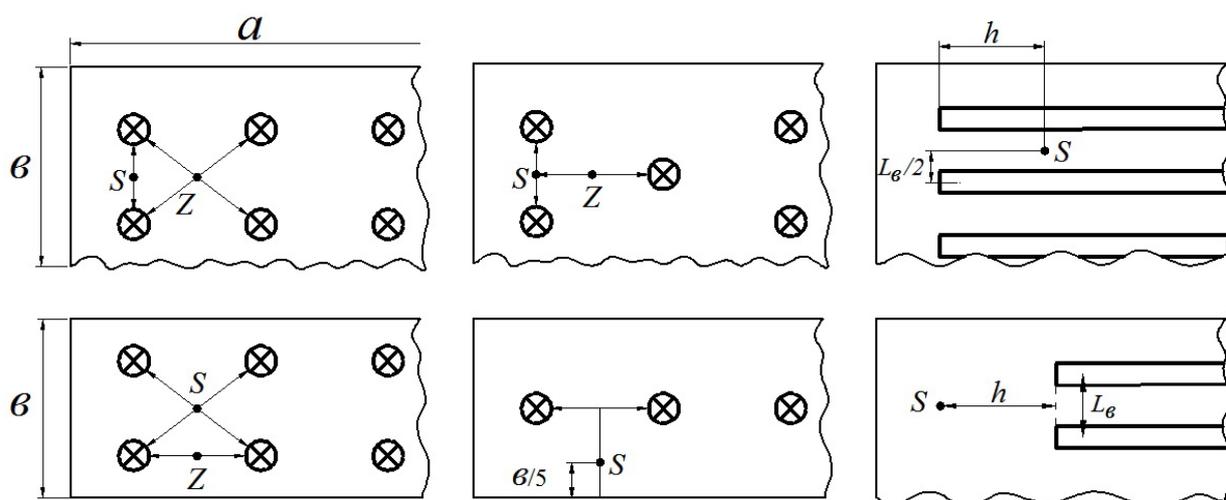


Рисунок 21 – К выбору наименее освещенных точек ( $s, z$ ) на плане помещения с наиболее часто встречающимися вариантами размещения светильников и с различными типами излучателей

### 5.3.1 Расчет при светильниках с точечными излучателями

Этапы расчета:

На графике пространственных изолюкс, построенных для типовых кривых силы света, рисунок 22, находится  $E$  – условная горизонтальная освещенность, лк.

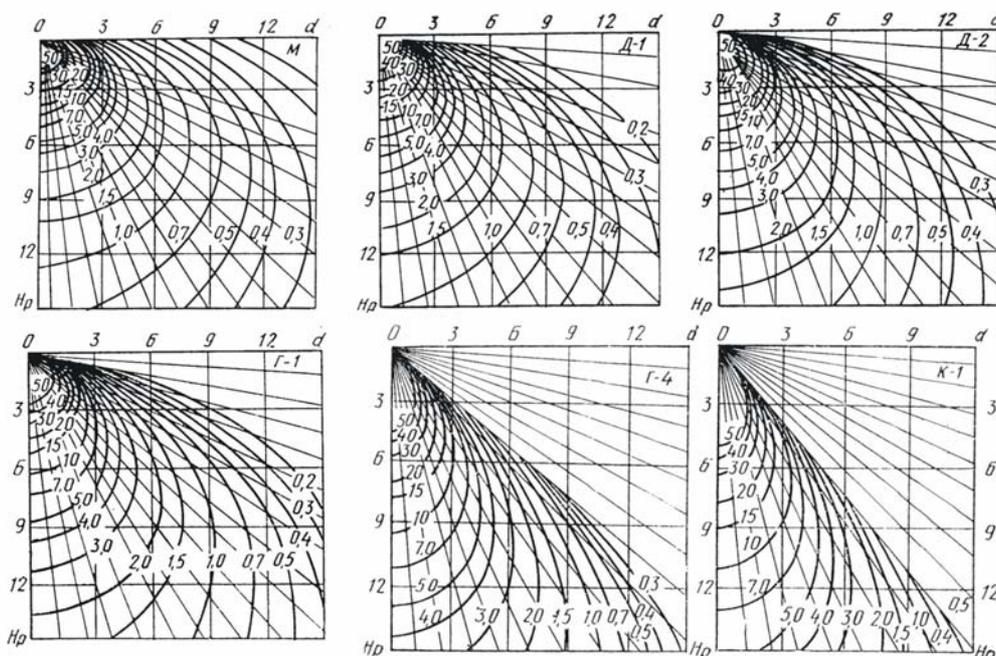


Рисунок 22 – Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности с различными КСС

Пространственные изолюксы представляют собой геометрическое место точек с одинаковой горизонтальной освещенностью, построенных в виде кривых в зависимости от  $h$  и  $d$  т.е.  $E = f(h, d)$ . Где  $h$  – расчетная высота подвеса светильника, м;  $d$  – кратчайшее расстояние между контрольной точкой ( $s$  или  $z$ ) и точкой проекции центра светильника на горизонтальную плоскость, где находится рассчитываемая точка ( $s$  или  $z$ ), м, рисунок 23.

Если при данных  $h$  и  $d$ , условная горизонтальная освещенность  $E$  попадает между кривыми, она интерполируется (уточняется в зависимости от удаленности от кривых пространственных изолюкс).

Подсчитывается условная освещенность  $\Sigma E_s$  от ламп со световым потоком 1000 лм, лк

$$\Sigma E_s = E_{s1} + E_{s2} + \dots + E_{sn}, \quad (111)$$

где  $E_{s1}, E_{s2}, \dots, E_{sn}$  – освещенность в контрольной точке от каждого светильника, освещаемого помещения, шт.

При расчете условной горизонтальной освещенности в контрольной точке  $\Sigma E$  вполне достаточно учесть только светильники, расположенные на расстоянии  $3d$  ближайшего светильника.

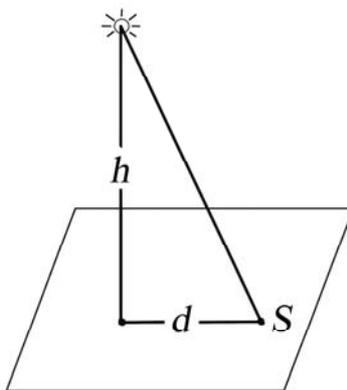


Рисунок 23 – Схема для расчета освещенности горизонтальной поверхности от точечного источника света

Определяется расчетный световой поток от лампы, лм:

$$\Phi_p = \frac{1000 E_H K_3}{\eta_H \mu \Sigma E_s}, \quad (112)$$

где  $E_H$  – нормированная освещенность рабочей поверхности, берется по таблице 17, лк;

$K_3$  – коэффициент запаса (таблица 22);

$\eta_H$  – КПД светильника в нижнюю полусферу (таблица 19);

$\mu$  – коэффициент добавочной освещенности, учитывающий световой поток удаленных светильников и отраженных световых потоков (обычно принимают равным 1,1-1,2);

$\Sigma E_s$  – условная освещенность поверхности в точке  $s$ , лк.

По расчетному световому потоку  $\Phi_p$ , с учетом требований формулы  $0,9 \Phi_p \leq \Phi_l \leq 1,2 \Phi_p$ , по справочнику (или в таблице 26) подбирается лампа соответствующей мощности. Проверяется возможность установки, выбранной лампы в светильник:  $P_l \leq P_c$ .

### Примечание

При размещении контрольной точки на наклонной (Пн) к горизонтальной (Пг) плоскости поверхности, рисунок 24, найденные по пространственным изолюксам освещенности  $E_{sn}$  (рисунок 22), уточняются по выражению (113) и подставляется в формулу (111), лк:

$$E_{sn}^* = \alpha E_{sn} = E_{sn} \left( \cos\theta \pm \frac{P}{h} \sin\theta \right), \quad (113)$$

где  $\alpha$  – коэффициент уточнения;

$P$  – кратчайшее расстояние от точки пересечения горизонтальной плоскости Пг с перпендикуляром от светильника до линии (л-л) пересечения наклонной плоскости (Пн), проходящей через контрольную точку  $s$  и горизонтальной плоскости (Пг), м;

$h$  – расчетная высота подвеса светильника, м;

$\theta$  – угол наклона освещаемой плоскости (Пн) к горизонтальной (Пг), при  $\theta = 90^\circ$ ,  $k = P/h$ .

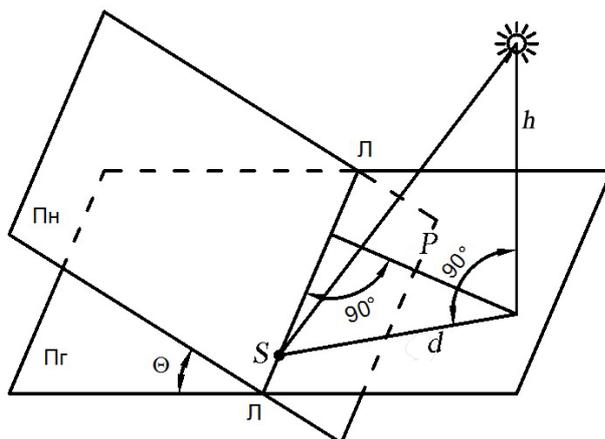


Рисунок 24 – Схема для расчета освещенности наклонной поверхности точечным методом

### 5.3.2. Расчет при светильниках с линейными излучателями

Если светильники с люминесцентными лампами одного ряда в освещаемом помещении удалены на значительное расстояние, когда отношение их оптимального относительного расстояния между собой  $\lambda$  к расчетной высоте подвеса  $h > 0,5$ , а отношение длины светильника  $Lc$  к  $h \leq 0,5$  расчет освещения ведется как для светильников с точечными излучателями. Если же светильники расположены в светящуюся линию или линию с небольшими разрывами

при  $\lambda \leq 0,5h$ , расчет освещения ведется методом линейных изолюкс. Их графики (рисунок 25) представляют собой кривые одинаковой условной освещенности, создаваемой светящейся линией с плотностью светового потока 1000 лм/м, расположенной на высоте  $h = 1$  м, в координатах  $L'$  и  $P'$ , где

$$L' = L/h \text{ и } P' = P/h, \quad (114)$$

Расчет выполняется по следующим этапам:

По расчетной высоте подвеса светильника  $h$  (92) определяется типовая кривая силы света (КСС), исходя из назначения помещения по таблице 17 устанавливается нормированная освещенность, с учетом вида помещения и его габаритов по таблицам 19, 20 выбирается тип светильника.

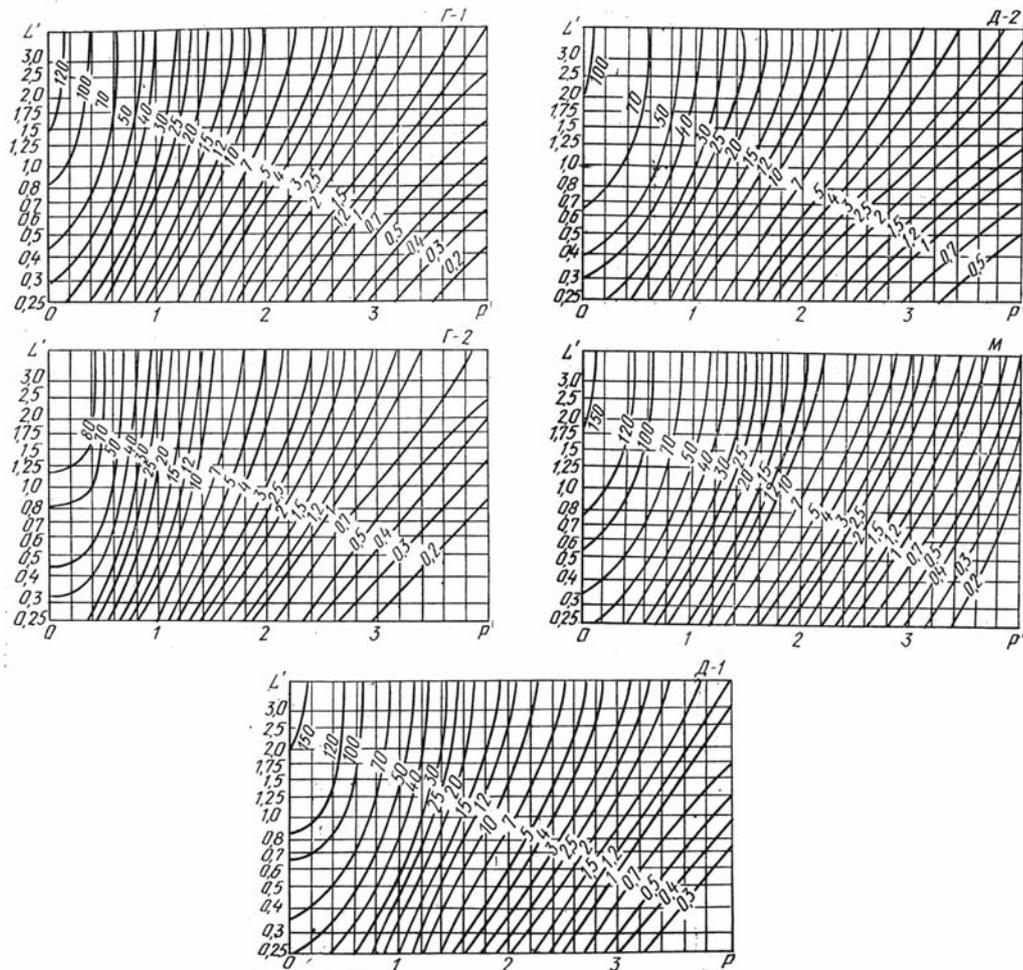


Рисунок 25 – Линейные изолюксы для типовых КСС

На плане помещения размещаются ряды светильников (94) и намечается контрольная точка (рисунок 21).

Определяются расчетные расстояния  $L$  и  $P$  в зависимости от положения контрольной точки ( $s$  или  $z$ ), рисунок 26 при  $n_B = 1$ , рисунок 27 при  $n_B > 1$ , где  $n_B$  – размещения рядов светильников (светящихся линий).

- а) положения точки  $s - L_1$  и  $L_2, P$  каждого ряда светящихся линий;
- б) положение точки  $z - L_0$  и  $L_{л}, P$  каждого ряда светящихся линий.

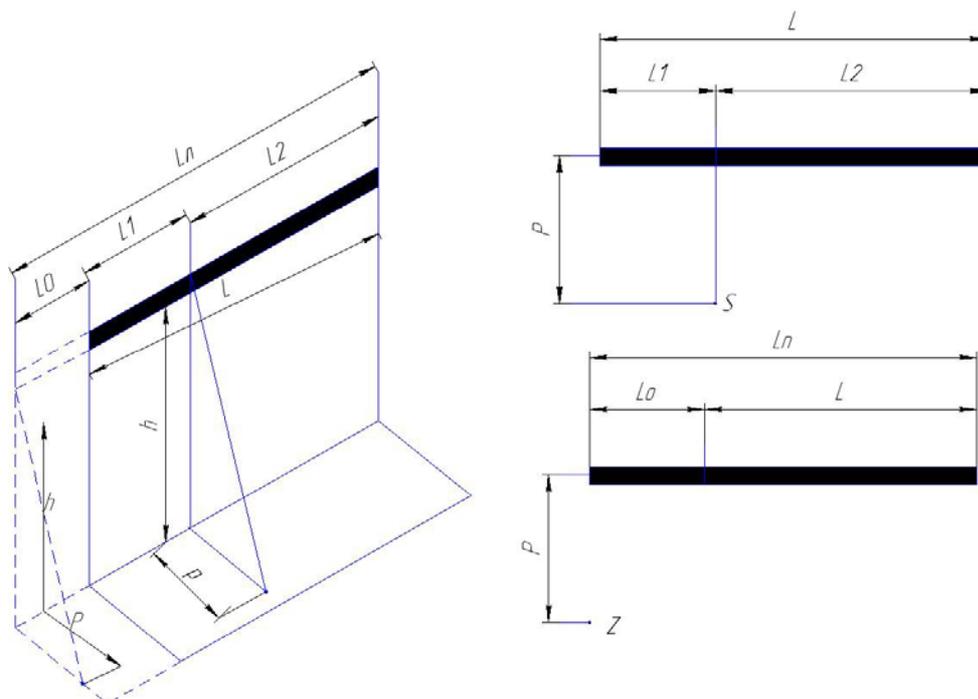


Рисунок 26 – Расчетные расстояния для определения освещенности в контрольных точках  $s$  и  $z$  методом линейных изолукс при одной светящейся линии ( $n_B=1$ )

Из рисунка 27 для точки  $s$ :

$$L_{11} = L_{21} = \dots = L_{n1} = h; \quad L_{12} = L_{22} = \dots = L_{n2} = a - 2 \cdot l_a - L_{11};$$

$$P_1 = P_2 = L_B/2; \quad P_n = L_B/2 + L_B(n-2);$$

для точки  $z$ :

$$L_{10} = L_{20} = \dots = L_{n0} = h; \quad L_{1л} = L_{2л} = \dots = L_{нл} = a - 2 \cdot l_a + L_{10};$$

$$P_1 = P_2 = L_B/2; \quad P_n = L_B/2 + L_B(n-2);$$

По формулам (114) находятся приведенные величины  $L'$  и  $P'$

точка  $s$ :

$$L'_{11} = L'_{21} = \dots = L'_{n1} = \frac{L_{11}}{h}$$

$$L'_{12} = L'_{22} = \dots = L'_{n2} = \frac{L_{12}}{h}$$

точка z:

$$L_{10} = L_{20} = \dots = L_{n0} = \frac{L_{10}}{h}$$

$$L_{1л} = L_{2л} = \dots = L_{нл} = \frac{L_{1л}}{h}$$

При  $L'_n > 4$ ,  $L'_n$  принимается равной 4.

$$P'_1 = P'_2 = \frac{L_B/2}{h}; \quad P'_3 = \frac{L_B/2 + L_B}{h}; \quad \dots; \quad P'_n = \frac{L_B/2 + L_B(n-2)}{h}$$

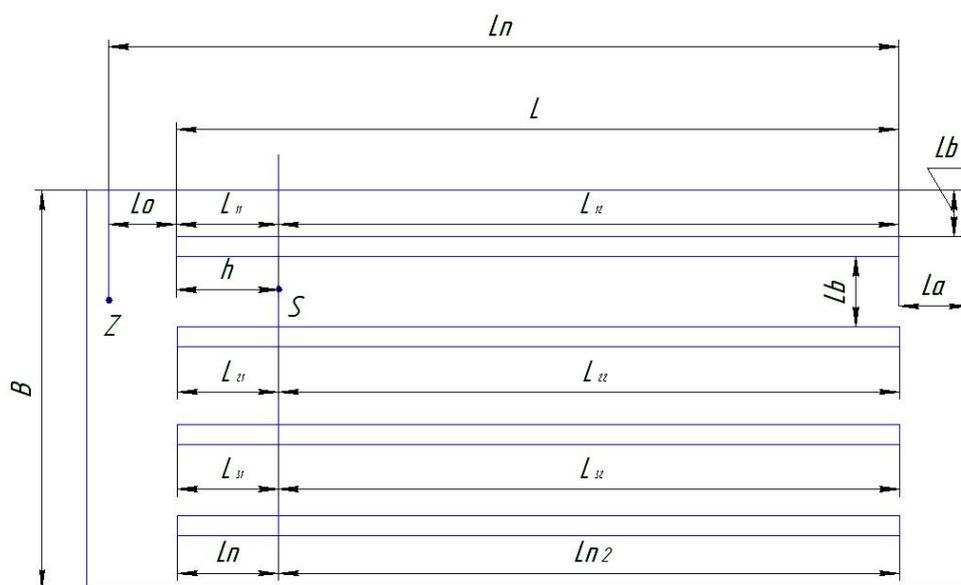


Рисунок 27 – Расчетные расстояния для определения освещенности в контрольных точках s и z методом линейных изолюкс при нескольких светящихся линиях ( $n_B > 1$ )

По величинам  $L'$  и  $P'$  в графиках линейных изолюкс (рисунок 25) для соответствующей КСС находится расчетная освещенность в контрольной точке s от каждого ряда светильников, лк: с одной стороны  $E_{11}, E_{21}, \dots, E_{n1}$ ; с другой стороны  $E_{12}, E_{22}, \dots, E_{n2}$  и суммарная

$$\Sigma E = \Sigma E_{n1} + \Sigma E_{n2} = (E_{11} + E_{21} + \dots + E_{n1}) + (E_{12} + E_{22} + \dots + E_{n2}), \quad (115)$$

В контрольной точке z по величинам  $L'$  и  $P'$  и тем же кривым (рисунок 26), находится расчетная освещенность, вначале от рядов условных светящихся линий  $E_{1л}, E_{2л}, \dots, E_{нл}$ , затем от тех же рядов светильников для размера  $L_0 - E_{10}, E_{20}, \dots, E_{n0}$ , суммарная условная освещенность в данном случае будет равна

$$\Sigma E = \Sigma E_{нл} - \Sigma E_{n0} = (E_{1л} + E_{2л} + \dots + E_{нл}) - (E_{10} + E_{20} + \dots + E_{n0}), \quad (116)$$

Как следует из формул (115) и (116) при контрольной точке  $s$ , расположенной в пределах светящихся линий, полная ее освещенность  $\Sigma E$  равна сумме освещенностей от двух половин  $L_1$  и  $L_2$  всех рядов линий (рисунок 27). Для контрольной точки ( $z$ ), расположенной за пределами светящихся линий, они условно продлеваются до положения  $L_{\text{л}} = L + L_0$  (рисунок 26), когда точка  $z$  окажется в торце линий и определяют ее полную условную освещенность  $\Sigma E$  как разность освещенности от всех рядов светильников длиной  $L_{\text{л}}$  и освещенности от условной длины светильников  $L_0$ .

Определяется расчетная плотность светового потока по формуле, лм/м:

$$\Phi_{\text{р}} = \frac{1000 E_{\text{н}} K_3 h}{\mu \Sigma E}, \quad (117)$$

где  $E_{\text{н}}$  – нормированная освещенность рабочей поверхности, берется по таблице 17, лк;

$K_3$  – коэффициент запаса (таблица 22);

$h$  – расчетная высота подвеса светильника, м;

$\mu$  – коэффициент добавочной освещенности, учитывающий световой поток удаленных светильников и отраженных световых потоков (обычно принимают равным 1,1-1,2);

$\Sigma E$  – условная освещенность поверхности в контрольной точке  $s$  или  $z$ , лк.

В таблице 31 выбирается лампа в зависимости от характера зрительной работы и по таблице 27 световой поток этой лампы  $\Phi_{\text{л}}$ .

Подсчитывается количество светильников  $N_1$  в одном светящемся ряду и округляется до целого значения, шт.:

$$N_1 = \frac{\Phi_{\text{р}} L_{\text{р}}}{n_{\text{с}} \Phi_{\text{л}}}, \quad (118)$$

где  $L_{\text{р}}$  – длина светящейся линии, м,  $L_{\text{р}} = a - 2l_a$  (рисунок 27);

$n_{\text{с}}$  – число ламп в одном светильнике, шт.

Находится расстояние между светильниками в одном ряду, м:

$$l_{\text{мс}} = \frac{a - 2l_a - N_1 l_{\text{св}}}{N_1 - 1}, \quad (119)$$

где  $l_{\text{св}}$  – длина одного светильника, м (таблица 19).

При отрицательном значении  $l_{\text{мс}}$ , выбираются лампы большей мощности или светильники с большим числом ламп.

По завершении светотехнических расчетов данные для наглядности целесообразно свести в таблицу 33 по предлагаемой форме.

Таблица 33 – Светотехническая ведомость

Характеристика помещения						Система и вид освещения	Высота подвеса свет., h, м
№ по плану, наименование	Размеры, а·в·Н, м	Площадь S, м <sup>2</sup>	Категория среды	Коэф. отражения			
				$\rho_p$	$\rho_{\text{п}}$	$\rho_c$	

Окончание таблицы 33

Коэффициент запаса Кз	Выбранный светильник			Лампы			Суммарная установленная мощность, $\Sigma P$ , кВт	Примечание
	Тип	КСС	Кол-во, шт.	Тип	Мощность, кВт	Кол-во, шт		

## Глава 6

### Расчет нагрузки на вводе ремонтного предприятия

Полная расчетная мощность  $S_p$  на вводе ремонтного предприятия находится по методике РУМ 11 – 81 [55] из формулы, кВ·А:

$$S_p = \frac{\Sigma P_p}{\cos \varphi}, \quad (120)$$

где  $\Sigma P_p$  – суммарная расчетная (потребляемая) нагрузка электрооборудования ремпредприятия, кВт;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности на вводе ремпредприятия при максимальной нагрузке.

Расчетная нагрузка электрооборудования ремпредприятия  $\Sigma P_p$  может определяться тремя способами: 1-й из графика электрических нагрузок, 2-й – суммированием потребляемых мощностей электрооборудования, действующих только в максимуме нагрузки и 3-ий – по методу эффективного числа токоприемников.

Способ 1-й. Рационален при малом числе токоприемников в ремпредприятии. Для построения сменного графика нагрузок составляется вспомогательная расчетная таблица 34.

Таблица 34 – Сменный график электронагрузок ремонтного предприятия

N п/п	Наименование электрооборудования ремпредприятия	Потребляемая мощность $P_p$ , кВт	Время работы (t), ч							
			0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8

В таблице 34 потребляемая мощность  $P_p$  установленного электрооборудования определяется для каждого электроприемника по формуле, кВт:

$$P_p = \frac{P_n K_3}{\eta}, \quad (121)$$

где  $P_n$  – номинальная установленная мощность токоприемника, кВт;

$K_3$  – коэффициент загрузки токоприемника;

$\eta$  – коэффициент полезного действия токоприемника.

Для каждого электроприемника в соответствующих графах таблицы 34 указывается (горизонтальной чертой) время его работы, после чего составляется график  $P_p = f(t)$ . По оси ординат в масштабе откладываются потребляемые мощности соответствующих токоприемников ( $P_p$ ) в кВт, по оси абсцисс – время их работы ( $t$ ), ч. Для наглядности построения, целесообразно мощности  $P_p$  оборудования вносить в график в порядке длительности их работы, начиная с самой продолжительной.

Суммарная расчетная нагрузка  $\Sigma P_p$  находится в графике во время ее максимального значения в течении получаса ( $t_{\text{МАК}}$ ). При чем, если  $\Sigma P_p$  имеет длительность менее 0,5 часа, ее эквивалентная величина рассчитывается по формуле, кВт:

$$\Sigma P_{p^{(э)}} = \frac{P_{1M} \tau_{1M} + P_{2M} \tau_{2M} + \dots + P_{nM} \tau_{nM}}{\tau_{1M} + \tau_{2M} + \dots + \tau_{nM}}, \quad (122)$$

где  $P_{1M}$ ,  $P_{2M}$ ,  $P_{nM}$  – суммарные расчетные нагрузки (кВт), соответствующие времени  $\tau_{1M}$ ,  $\tau_{2M}$ , ...  $\tau_{nM}$  (ч), которые, в свою очередь, входят в получас максимума графика.

Коэффициент мощности ( $\cos\phi$ ) для определения полной расчетной мощности на вводе электроремонтных предприятий  $S_p$ , в данном случае, можно принять равным 0,7.

Способ 2-й. Целесообразен при расчетах с большим числом токоприемников в здании ремпредприятия. По данному способу проводится анализ работы всех электроприемников и отбираются только те, которые действуют в максимуме графика нагрузок ремонтного предприятия. Суммарная расчетная нагрузка  $\Sigma P_p$  подсчитывается по формуле, кВт:

$$\Sigma P_p = \sum_1^n \frac{P_H K_3}{\eta} + \sum_1^m \frac{P_H K_3 t}{0,5 \eta}, \quad (123)$$

где  $P_n$  – номинальная установленная мощность каждого из  $n$  токоприемников, работающих в максимум графика нагрузок с продолжительностью  $\tau$  равной или более получаса, кВт;

$P_n'$  – номинальная установленная мощность каждого из  $m$  токоприемников, работающих в максимум графика нагрузок с продолжительностью  $\tau$  менее получаса, кВт;

$K_z$  – коэффициент загрузки соответствующих токоприемников;

$\eta$  – коэффициент полезного действия соответствующего токоприемника;

$t'$  – продолжительность непрерывной работы каждого токоприемника с  $\tau < 0,5$  часа, ч.

Коэффициент мощности ( $\cos\phi$ ) на вводе в здание ремпредприятия, при определении  $S_p$  (120), находится из таблицы 35.

Таблица 35 – Коэффициент мощности для определения полной расчетной мощности  $S_p$  на вводе в здание ремпредприятия

$\Sigma P_d / \Sigma P$	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58	0,53
$\cos\phi$	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86

где  $\Sigma P_d$  – сумма номинальных мощностей установленных электродвигателей, кВт;

$\Sigma P$  – сумма номинальных мощностей всех установленных токоприемников, кВт.

В том случае, если суммарная установленная мощность электротепловых установок  $\Sigma P_t$  (кВт) составляет более 60% от  $\Sigma P$ , то  $\cos\phi$  находят в зависимости от соотношения  $\Sigma P_t / \Sigma P$  в таблице 36.

Таблица 36

$\Sigma P_t / \Sigma P$	0,63	0,68	0,73	0,78	0,85	0,95
$\cos\phi$	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99

Однако, в настоящее время использование электрической энергии для отопления требует специального технико-экономического обоснования.

Способ 3-ий. Он применяется для расчета нагрузок объектов промышленного типа. Сущность метода заключается в определении числа эффективных электрических приемников.

Эффективное число электроприемников,  $n_{\text{Э}}$  – такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа различных по мощности электроприемников.

Величину  $n_{\text{Э}}$  находят следующим образом:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum P_{\text{H}})^2}{\sum (n \cdot P_{\text{H}}^2)}, \quad (124)$$

где  $P_{\text{H}}$  – номинальная мощность электроприемника, кВт;

$n$  – число электроприемников, шт.

Результаты расчетов заносятся в таблицу 38. Порядок расчета:

Исходные данные по электроприемникам заносятся в графы 1-6 таблицы 38.

Значения коэффициента использования,  $\cos\varphi$  и  $\text{tg}\varphi$  приведены в таблице 37.

В графах 7 и 8 построчно записываются произведения  $K_{\text{И}}P_{\text{H}}$  и  $K_{\text{И}}P_{\text{H}}\text{tg}\varphi$ .

В итоговой строке определяется сумма этих величин  $\sum K_{\text{И}}P_{\text{H}}$  и  $\sum K_{\text{И}}P_{\text{H}}\text{tg}\varphi$  для каждого распределительного пункта.

Таблица 37 – Коэффициент использования,  $\cos\varphi$  и  $\text{tg}\varphi$  для расчета электрических нагрузок

Группы электроприемников	Электроприемники	$K_{\text{И}}$	$\cos \varphi$	$\text{tg}\varphi$
Электродвигатели металлообрабатывающего оборудования при легком и среднем режиме работы	Станки сверлильные, токарные, строгальные, фрезерные и др.	0,12	0,4	2,29
То же при тяжелом режиме работы	штамповочные прессы, станки зубофрезерные, крупные токарные, строгальные	0,17	0,65	1,17

Окончание таблицы 37

Группы электроприемников	Электроприемники	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
То же при особо тяжелом режиме работы	молоты, ковочные машины, шаговые мельницы и т. п.	0,24	0,65	1,17
Электродвигатели механизмов непрерывного транспорта	транспортеры, конвейеры	0,6	0,7	1,02
Электродвигатели повторно-кратковременного режима работы	краны, кран-балки, тельферы и т. д.	0,15	0,5	1,73
Электродвигатели хорошо загруженные и непрерывно работающие	вентиляторы, насосы, компрессоры и т. д.	0,65	0,8	0,75
Электроинструмент	дрели, гайковерты и т. п.	0,06	0,45	1,98
Электротермическое оборудование	печи сопротивления непрерывного действия	0,8	0,96	0,29
	сварочные аппараты автоматической сварки	0,4	0,5	1,73
	сварочные двигатель-генераторы	0,3	0,65	1,17
	сварочные машины шовные, стыковые, точечные	0,35	0,55	1,52

Для каждого узла распределения электроэнергии определяется групповой коэффициент использования  $K_{и\text{ ср}}$  по формуле:

$$K_{и\text{ ср}} = \frac{\sum K_{и} P_{н}}{\sum P_{н}} \quad (125)$$

Для каждого электроприемника определяется величина  $n P_{н}^2$  и в итоговой строке записывается их сумма.

Эффективное число электроприемников определяется по формуле:

$$n_{э} = \frac{(\sum P_{н})^2}{\sum n P_{н}^2}$$

В зависимости от коэффициента использования и эффективного числа электроприемников по таблице 39 определяется коэффициент расчетной нагрузки  $K_{р}$  и заносится в графу 11.

Расчетные активная, реактивная и полная мощности определяются по формулам и заносятся в графы 12-14 таблицы 38:

$$P_p = K_p \sum K_{и} P_{н} \quad (126)$$

$$Q_p = 1,1 \sum K_{и} P_{н} \operatorname{tg} \varphi \quad \text{при } n_{э} \leq 10 \quad (127)$$

$$Q_p = \sum K_{и} P_{н} \operatorname{tg} \varphi \quad \text{при } n_{э} \geq 10$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (128)$$

Расчетный ток линии определяется по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_{н}} \quad (129).$$

Результат заносится в графу 15 таблицы 38.

**Примечание:** при  $K_{и} > 0,7$  независимо от  $n_{э}$  коэффициент расчетной нагрузки  $K_p = 1$ .

После составления таблицы расчета электрических нагрузок требуется определить мощность на вводе в здание, для этого использовался метод коэффициента одновременности.

Сущность метода заключается в использовании зависимости  $P_p$  от числа потребителей, их мощности и вариации суммарной нагрузки от времени включения отдельных потребителей:

$$P_p = K_o \sum P_{м}, \quad (130)$$

где  $P_{м}$  – максимальная нагрузка определенных групп потребителей, кВт;

$K_o$  – коэффициент одновременности, определяется по справочным данным.

Затем требуется определить общий коэффициент мощности электрооборудования в здании. Для этого используется формула средневзвешенного коэффициента мощности:

$$\cos \varphi_{\text{ср.вз.}} = \frac{\sum (P_i \cdot \cos \varphi_i)}{\sum P_i}, \quad (131)$$

где  $\cos \varphi_{\text{ср.вз.}}$  – средневзвешенный коэффициент мощности;

$P_i$  – мощность  $i$ -го электроприемника, кВт;

$\cos \varphi_i$  – коэффициент мощности  $i$ -го электроприемника;

Полная мощность нагрузки на вводе определяется по формуле (120).

Таблица 38 – Расчет электрических нагрузок

Исходные данные						Расчетные величины			Эффективное число ЭП $n_3$	Коэф. расчетной нагрузки $K_p$	Расчетная мощность			Расч. ток, А
по заданию технологов				по справочным данным		$K_n P_n$	$K_n P_n \text{tg}\varphi$	$n P_n^2$			активная, кВт	реактивная квар	полная, кВА	
Наименование ЭП	Кол-во ЭП в шт.	номинальная мощность, кВт		коэф. использования $K_n$	коэф. реактивной мощности $\cos\varphi/\text{tg}\varphi$									
		одного ЭП $P_n$	общая $P_n = n P_n$			$P_p = K_p \sum K_n P_p$	$Q_p = 1,1 \sum K_n P_n \text{tg}\varphi$ при $n_3 \leq 10$ $Q_p = \sum K_n P_n \text{tg}\varphi$ при $n_3 > 10$	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	$I_p = S_p / (\sqrt{3} U_n)$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Таблица 39 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  для питающих сетей напряжением до 1000В

$K_{п}$	Эффективное число электроприемников $n_э$																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	30	40	50	70	90
																				21	23	25	35	45	60	80	100
0,1	8,0	6,22	4,05	3,24	2,84	2,64	2,49	2,37	2,27	2,18	2,11	2,04	1,99	1,94	1,89	1,85	1,81	1,78	1,75	1,72	1,67	1,62	1,51	1,4	1,3	1,2	1,13
																				1,69	1,64	1,6	1,44	1,35	1,25	1,16	1,1
0,15	5,33	4,33	2,89	2,35	2,09	1,96	1,86	1,78	1,71	1,65	1,61	1,56	1,52	1,49	1,46	1,43	1,41	1,39	1,36	1,35	1,31	1,28	1,21	1,13	1,07	1	
																				1,33	1,3	1,27	1,16	1,1	1,03		
0,2	4,0	3,39	2,31	1,91	1,72	1,62	1,54	1,48	1,43	1,39	1,35	1,32	1,29	1,27	1,25	1,23	1,21	1,19	1,17	1,16	1,13	1,11	1,05	1			
																				1,15	1,12	1,1	1				
0,25	3,28	2,84	1,92	1,68	1,48	1,41	1,37	1,35	1,34	1,33	1,32	1,28	1,24	1,21	1,18	1,16	1,14	1,12	1,11	1							
0,3	2,67	2,45	1,74	1,47	1,35	1,28	1,23	1,19	1,16	1,13	1,1	1,08	1,06	1,05	1,03	1,02											
0,4	2	1,98	1,45	1,25	1,16	1,14	1,12	1,1	1,09	1,07	1,06	1,05	1,07	1,02	1												
0,5	1,8	1,6	1,34	1,21	1,16	1,13	1,1	1,08	1,07	1,05	1,04	1,03	1,01	1													
0,6	1,38	1,33	1,22	1,12	1,08	1,06	1,04	1,02	1,01	1																	
0,7	1,14	1,14	1,14	1,06	1,03	1,01	1																				

## Глава 7

### Проектирование внутренних электрических сетей

Внутренними электрическими сетями называют провода и кабели линий с их креплениями и конструкциями, распределительные, коммутационные и защитные устройства от ввода в здание до электроприемников.

Выполнение внутренних электросетей должно отвечать требованиям действующих директивных материалов ПУЭ (Правилам устройства электроустановок), СНиП (Строительным нормам и правилам) и т.п.

При их проектировании в первую очередь учитываются: архитектурные особенности помещений, надежность электроснабжения, удобство и доступность всех элементов электросети для эксплуатации, безопасность обслуживания, минимальная протяженность линий и другие экономические показатели.

Как правило в ремпредприятиях, внутренние электрические сети разделяют на силовые и осветительные. При этом питание на вводе соответствующих щитов выполняется либо независимым (каждый от РУ трансформатора ТП), либо это питание подается на силовой щит, а щит освещения запитывается от силового.

Контактно-защитная аппаратура, распределительные щиты, марки проводов, кабелей, вид электропроводок, способ их прокладки выбираются, в основном, в зависимости от категории помещений по условиям окружающей среды. На ремпредприятиях административные комнаты, комнаты отдыха и т.п. помещения относят к сухим, к ним же относят изолировочно-обмоточное, сборочное и разборочно-дефектовочное отделения, но только в том случае, если пыль в них не оседает на проводах, а влажность не превышает 60%. Участок мойки, душевая относится к особо сырým помещениям, пропитки и окраски к взрывоопасным.

## 7.1 Коммутационно-защитные аппараты

Аппараты предназначенные для ручного или автоматического включения, отключения и переключения в электрических сетях называются коммутационными. К ним относятся: рубильники, переключатели, пакетные выключатели и т.п.

Аппараты предназначенные для отключения электрических цепей, при возникновении в них ненормальных режимов работы (перегрузок, коротких замыканий, понижения напряжения и т.п.) защитными. К ним относятся предохранители, реле, расцепители и пр.

Нередко один и тот же аппарат выполняет обе функции, к ним относятся: блок предохранитель-выключатель, магнитные пускатели, автоматические выключатели и другие подобные устройства.

Коммутационно-защитные аппараты классифицируется по назначению, принципу действия, выполняемым функциям, режиму работы, исполнению.

Выбор коммутационно-защитной аппаратуры делается в зависимости от его назначения по номинальным величинам напряжения ( $U_{на}$ ,  $U_{нс}$ ) и тока ( $I_{на}$ ,  $I_{нс}$ ), климатическому исполнению, степени защиты от воздействия окружающей среды, типам реле и расцепителей, а также специфическим условиям конкретного оборудования и экономическим соображениям.

Выбор уставок защитных аппаратов начинается с определения расчетных и пусковых токов приемников.

Расчетный ( длительный ) ток находится по формуле:

$$I_{дл} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi_n}, \quad (132)$$

где  $P_n$  – установленная мощность ЭП, кВт;

$U_n$  – номинальное напряжение, кВ;

$\cos \varphi_n$  – коэффициент мощности;

$\eta$  – коэффициент полезного действия.

Пусковой ток определяется по формулам:

для одного ЭП  $I_{пуск} = I_p \cdot K,$

где  $K$  – кратность пускового тока по отношению к расчетному.  
для группы электроприемников

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{пуск. м}} + \Sigma I_p,$$

где  $I_{\text{пуск. м}}$  – пусковой ток самого мощного электродвигателя, А;  
 $\Sigma I_p$  – сумма номинальных токов остальных электродвигателей, А.

Наибольшее распространение в сетях 0,38 кВ получили предохранители типа НПН и ПН2. Их технические характеристики приведены в таблице 40.

Таблица 40 – Технические данные предохранителей типов НПН и ПН-2

Тип	Номинальное напряжение	Номинальный ток, А		Номинальный ток отключения, кА, (при напряжении 380 В)
		предохранителя	плавкой вставки	
НПН-60	500	60	6, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60	10
ПН2-100	380, 220	100	30, 40, 50, 60, 80, 100	50
ПН2-250	380, 220	250	80, 100, 120, 150, 200, 250	40
ПН2-400	380, 220	400	200, 250, 300, 400	25
ПН2-600	380, 220	600	300, 400, 500, 600	25

Выбор предохранителей производят по условиям:

$$U_{\text{ном пр}} \geq U_c; \quad (133)$$

$$I_{\text{ном пр}} \geq I_p \text{ max}; \quad (134)$$

$$I_{\text{ном вст}} \geq (I_{\text{пуск}}/K_{\text{пер}}), \quad (135)$$

где  $U_{\text{ном пр}}$  – номинальное напряжение, В;

$I_{\text{ном пр}}$  – номинальный ток предохранителя, А;

$I_{ном\ вст}$  – номинальный ток плавкой вставки, А;

$K_{пер}$  – коэффициент перегрузки, учитывающий превышение тока двигателя сверх номинального значения в режиме пуска и принимается 1,6...2 для тяжелых и 2,5 для легких условий пуска.

Выбор автоматического выключателя производится по номинальному напряжению, номинальному току автомата и номинальному току расцепителя.

Номинальное напряжение должно соответствовать напряжению сети:

$$U_{н.авт.} \geq U_c. \quad (136)$$

Номинальный ток автомата должен соответствовать длительному току защищаемого электроприемника или линии:

$$I_{н.авт.} \geq I_{дл.} \quad (137)$$

Номинальный ток расцепителя автомата должен соответствовать длительному току защищаемого электроприемника или линии:

$$I_{н.расц.} \geq (1,1...1,3)I_{дл.} \quad (138)$$

Далее требуется проверить выбранные расцепители автоматов на правильность срабатывания. Ток срабатывания отсечки комбинированного расцепителя проверяется по максимально кратковременному току линии:

$$I_{ср.расц.} \geq 1,25 \cdot I_{пуск} \quad (139)$$

Технические данные автоматических выключателей с комбинированным расцепителем серии ВА51 и ВА51Г приведены в таблице 41.

Правильный подбор коммутационной и защитной аппаратуры в электрической сети во многом определяет надежность работы и сохранность электрооборудования, безопасность ее обслуживания.

Таблица 41 – Технические данные автоматических выключателей с комбинированным расцепителем серии ВА51 и ВА51Г

Тип	Номинальный ток, А		Кратность отсечки при токе	
	выключателя	расцепителя	переменном	постоянном
ВА51Г-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6 ; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6	-	-
		2,0; 2,5; 3,15; 4; 5		
ВА51-25	25	6,3; 8	7; 10	7
		10; 12,5		
		16; 20; 25		
ВА51-31-1, ВА51Г-25	100	6,3; 8	3; 7; 10	3; 7
		10; 12		
		16		
		20; 25		
		31.5; 40; 50; 63; 80		
ВА51-31	100	6,3; 8	3; 7; 10	3; 7
		10; 12.5		
ВА51Г-31	100	16	3; 7; 10	3; 7
		20; 25		
		31.5; 40		
		50; 63		
ВА51-33, ВА51Г-33	160	80; 100; 125; 160	10	6
		80		
ВА51-35	250	100; 125	12	10
		160; 200; 250		8
				6

Рубильники и рубящие переключатели предназначены для неавтоматических и нечастых (на более 6 в час) включений, отключе-

ний и переключений в электрических цепях, для электромашин мощностью до 10 кВт. Они представляют собой сборку нужного количества однотипных подвижных контактов, стянутых шпильками, на общем изолированном валу. Неподвижные контакты размещены на корпусе. Рубильники выпускаются промышленностью для переменного тока до 660 В и постоянного тока до 440 В с номинальным током ~ от 100 до 600 А. Конструктивно – рубильники типа Р и рубильники-переключатели РП изготавливаются: по числу полюсов – 1-2-3 полюсные; по приводу – с центральной или боковой рукояткой, с боковым рычажным приводом; по защищенности – открытые и защищенные; по подключению проводов – переднее и заднее. Рукоятки приводов рубильников могут быть съемными и несъемными. Для защиты от токов короткого замыкания и перегрузки выпускаются специальные рубильники с предохранителями.

Пакетные выключатели и переключатели применяются для редких включений и переключений группы токоприемников на распределительных щитах, пускателей асинхронных двигателей малой мощности и пр. Они выпускаются на номинальное напряжение 220 В и 380 В, на номинальные токи от 6 до 400 А, с числом полюсов 1-2-3.

Электромагнитные пускатели состоят из электромагнита переменного тока, контактов, замыкающих и размыкающих блок-контактов. Предназначаются для дистанционного управления электроприводом, а также служат для защиты электродвигателей от перегрузок и недопустимых понижений напряжения в электрической сети.

Распределительные устройства (РУ) выбираются по следующим показателям: номинальному напряжению, расчетному току, окружающей среде, количеству и типу пускозащитной аппаратуры.

Рубильники и рубящие переключатели предназначены для неавтоматических и нечастых (на более 6 в час) включений, отключений и переключений в электрических цепях, для электромашин мощностью до 10 кВт. Они представляют собой сборку нужного

количества однотипных подвижных контактов, стянутых шпильками, на общем изолированном валу. Неподвижные контакты размещены на корпусе. Рубильники выпускаются промышленностью для переменного тока до 660 В и постоянного тока до 440 В с номинальным током ~ от 100 до 600 А. Конструктивно – рубильники типа Р и рубильники-переключатели РП изготавливаются: по числу полюсов – 1-2-3 полюсные; по приводу – с центральной или боковой рукояткой, с боковым рычажным приводом; по защищенности – открытые и защищенные; по подключению проводов – переднее и заднее. Рукоятки приводов рубильников могут быть съемными и несъемными. Для защиты от токов короткого замыкания и перегрузки выпускаются специальные рубильники с предохранителями.

Пакетные выключатели и переключатели применяются для редких включений и переключений группы токоприемников на распределительных щитах, пускателей асинхронных двигателей малой мощности и пр. Они выпускаются на номинальное напряжение 220 В и 380 В, на номинальные токи от 6 до 400 А, с числом полюсов 1-2-3.

Электромагнитные пускатели состоят из электромагнита переменного тока, контактов, замыкающих и размыкающих блок-контактов. Предназначаются для дистанционного управления электроприводом, а также служат для защиты электродвигателей от перегрузок и недопустимых понижений напряжения в электрической сети.

Распределительные устройства (РУ) выбираются по следующим показателям: номинальному напряжению, расчетному току, окружающей среде, количеству и типу пускозащитной аппаратуры.

## **7.2 Внутренние сети силового электрооборудования**

Внутренние силовые сети подразделяют на питающие и распределительные. Питающие сети обеспечивают подвод электрической энергии от источника питания к распределительным пунктам или крупным электроприемникам, распределительные сети – это

сети, по которым непосредственно запитываются каждый из электроприемников. Различают три схемы распределения электроэнергии: радиальная, магистральная и смешанная. Радиальная схема применяется в случае, если имеется крупная сосредоточенная нагрузка. Тогда каждый потребитель запитывается по отдельной линии. К достоинствам этой схемы относится ее высокая надежность, т.к. при аварии отключается только одна линия, к недостаткам – большой расход проводникового материала, защитных аппаратов и установочных конструкций. По магистральной схеме запитываются рассредоточенные нагрузки. Питание электроприемников осуществляется по одной из параллельных линий. По сравнению с радиальной схемой питания надежность электроснабжения снижается, но не требует таких затрат материала. Смешанная схема сочетает обе схемы.

В качестве проводников применяются изолированные или неизолированные провода и кабели. Внутренние электропроводки могут быть открытыми и скрытыми. Рекомендуемые способы прокладки и марки проводов и кабелей приведены в таблицах 42 – 44.

Электропроводки могут прокладываться как открыто на поверхности стен и потолков, по фермам и другим строительным элементам зданий, так и скрыто внутри конструктивных элементов (в стенах, полах, перекрытиях, фундаментах). При этом следует учитывать, что скрытая проводка по сравнению с открытой более безопасна и долговечна, она защищена от механических повреждений, не загромождает стен и потолков, да и просто не портит внешний вид, однако она более дорогая и трудоемкая при ремонте.

Внутренние проводки в ремонтных предприятиях могут выполняться: на роликах, на тросах, в коробах, в лотках, в пластмассовых и стальных трубах, металлических рукавах, проводом и кабелем. Вместе с тем электропроводка в стальных трубах должна быть технически и экономически обоснована. Отсюда, стальные трубы следует использовать только в том случае, если все другие виды

проводок не обеспечивают ее защиты от механических повреждений или недопустимы в пожаро-взрывоопасном отношении.

Таблица 42 – Область применения проводов

Способ прокладки	Марка провода в помещении или среде						
	сухое	влажное	сырое	особо сырое	пыльное	с ХАС	пожаро-опасная зона
Открытая по несгораемым и трудносгораемым поверхностям:							
непосредственно по поверхностям стен, потолков	АПВ АППВ АПРН АМПВ АМППВ	АПВ АППВ АПРН АМПВ АМППВ	АПВ АПРН	-	-	-	-
на роликах и клицах	АПВ АПРТО АПРН АПРФ АМПВ	АПВ АПРТО АПРН АПРФ АМПВ	АПВ АПРН	-	-	-	-
на лотках и в коробах с открываемыми крышками	АПВ АПРН	АПВ АПРН	АПВ АПРН	АПВ АПРН	АПВ1) АПРН1)	-	-
в поливинилхлоридных трубах	АПВ АППВ АПРН	АПВ АППВ АПРН	АПВ АППВ АПРН	АПВ АПРН	-	АПВ АПРН	-
в стальных трубах	АПРТО АПВ АППВ АПРН	АПРТО АПВ АППВ АПРН	АПРТО АПВ АППВ АПРН	АПРТО АПВ АППВ АПРН	-	-	АПРТО АПВ АПРН
на тросе	АВТВ АВТВУ АРТ АПРН АПВ	АВТВ АВТВУ АРТ АПРН АПВ	АВТВ АВТВУ АРТ АПРН АПВ	АВТВ АВТВУ АРТ АПРН АПВ	АВТВ АВТВУ АРТ АПРН АПВ	-	АПРН

Продолжение таблицы 42

Способ прокладки	Марка провода в помещении или среде						
	сухое	влажное	сырое	особо сырое	пыльное	с ХАС	пожаро-опасная зона
Открытая по горючим поверхностям:							
непосредственно по поверхностям стен, потолков	АПРФ АПРН АППР	АПРН АППР	АПРН	АПРН	АПРН	-	-
с подкладкой под провода негорючих материалов	АППВ АПВ АПРИ	АППВ АПВ АПРИ	АПВ АППВ	АПВ	АППВ АПВ АПРИ	-	-
на роликах и клицах	АПРИ АПВ	АПРИ АПВ	АПВ2)	-	-	-	-
на лотках и в коробах	АПВ АПРН	АПВ АПРН	АПВ АПРН	АПВ АПРН	АПВ1) АПРН1)	-	-
в стальных трубах	АПРТО АПВ АППВ АПРН	АПРТО АПВ АППВ АПРН	АПРТО АПВ АППВ АПРН	АПРТО АПВ АПРН	АПРТО АПВ АППВ АПРН	-	АПРТО АПВ АПРН
на тресе	АВТВ АВТВУ АРТ АПРН АПВ	АВТВ АВТВУ АРТ АПРН АПВ	АВТВ АВТВУ АРТ АПРН АПВ	АВТВ АВТВУ АРТ АПРН АПВ	АВТВ АВТВУ АРТ АПРН АПВ	-	-
Скрытая по несгораемым и трудносгораемым поверхностям:							
непосредственно в поливинилхлоридных трубах	АПВ АППВ АПРН	АПВ АППВ АПРН	АПВ АППВ АПРН	АПВ АПРН	-	АПВ АПРН	-

Окончание таблицы 42

Способ прокладки	Марка провода в помещении или среде						
	сухое	влажное	сырое	особо сырое	пыльное	с ХАС	пожаро-опасная зона
в стальных трубах и глухих стальных коробах	АПРТО АПВ АППВ АПРН	АПРТО АПВ АППВ АПРН	АПРТО АПВ АППВ АПРН	АПРТО АПВ АППВ АПРН	-	-	АПРТО АПВ АПРН
Скрытая по горючим поверхностям							
в стальных трубах и глухих стальных коробах	АПРТО АПВ АППВ АПРН	АПРТО АПВ АППВ АПРН	АПРТО АПВ АППВ АПРН	АПРТО АПВ АПРН	АПРТО АПВ АППВ АПРН	-	АПРТО АПВ АПРН
Для присоединения к электроприемникам, установленным на виброизолирующих опорах <sup>3)</sup>	ПВ2 ПРГН ПРГИ	ПВ2 ПРГН ПРГИ	ПВ2 ПРГН ПРГИ	ПВ2 ПРГН ПРГИ	ПВ2 ПРГН ПРГИ	ПВ2 ПРГН ПРГИ	-
1)- только в коробах с открываемыми крышками; 2) – на роликах; 3) – приведенные провода допускается применять по всей трассе при ее длине до 20м. При длине трассы более 20м провода с медными жилами следует применять только на участке от электроприемника, установленного на виброизолирующем основании, до места перехода на провод с алюминиевыми жилами (длиной не более 5м).							

Таблица 43 – Выбор вида прокладки кабелей

Вид прокладки	Условия прокладки
Открытая прокладка:	
пластмассовые трубы из трудногорючих материалов	в любых помещениях
стальные короба	в любых помещениях (в пыльных – при обеспечении удаления пыли)

### Окончание таблицы 43

Вид прокладки	Условия прокладки
пластмассовые короба из трудногорючих материалов	в любых помещениях (в пыльных – при обеспечении удаления пыли)
на лотках, полках, подвесах	в любых помещениях
на канате, проволоке	в помещениях за исключением особо сырых и помещений с химически активной средой
непосредственно по строительным конструкциям	в любых помещениях
Скрытая прокладка:	
пластмассовые трубы из горючих материалов	замоноличено в строительных конструкциях
пластмассовые трубы из трудногорючих материалов, стальные трубы, гибкие металлические рукава, пластмассовые короба из трудногорючих материалов	замоноличено в строительных конструкциях; незамоноличено за подвесными непроходными потолками, а также в закрытых нишах и пустотах строительных конструкций из горючих и трудногораемых материалов; внутри гипсокартонных перегородок

При выборе марок проводов (кабелей), кроме воздействия на них окружающей среды, учитываются также назначение линий, способы прокладки и экономические соображения. В производственных помещениях рекомендуются для использования изолированные провода и кабели с алюминиевыми жилами, с пластмассовой изоляцией и в пластмассовой оболочке. В бытовых и подсобных помещениях провода также с резиновой изоляцией.

Задачей расчета электропроводок является выбор сечений проводников. При этом сечения проводников любого назначения должны быть наименьшими и удовлетворять следующим требованиям:

- а) допустимому нагреву;
- б) электрической защиты отдельных участков сети;
- в) допустимым потерям напряжения;
- г) механической прочности.

Таблица 44 – Марки силовых кабелей, рекомендуемых для прокладки в воздухе

Область применения	Кабели с бумажной пропитанной изоляцией		Кабели с пластмассовой и резиновой изоляцией		
	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации	
Прокладка в помещениях:					
сухие	ААГ ААШвУ	ААБлГУ	АВВГ АВРГ АНРГ АПсВГ	АВРБГ АВБбШв АВАШв АПвБбШв АНРГ	
сырые со слабой коррозионной активностью	ААШвУ	ААБлГУ			
сырые со средней и высокой коррозионной активностью	ААШвУ	ААБвГУ ААБ2лШвУ ААБлГУ			
с пожароопасными зонами	ААГУ ААШвУ	ААБвГУ ААБлГУ			АВБбШв АПсБбШв АВРБГ
во взрывоопасных зонах классов: В-I, В-Ia	СБГУ СБШвУ	-			ВВГ ВРГ НРГ
В-Iг, В-II	ААБлГУ ААШвУ	-	АВВГ АВРГ АНРГ	АВБВ АВБбШв АВРБГ АНРБГ	
В-Iб, В-IIa	ААГУ ААШвУ	ААБлГУ			

В отношении механической прочности выбор сечений сводится к просто выполнению нормативных требований ГОСТ30331.1-15. В нем приведены минимальные сечения проводников, которые могут быть использованы при выборе электропроводок в здании.

В случае для стационарных электроустановок кабели и провода для силовых и осветительных сетей должны иметь сечение не менее  $2,5 \text{ мм}^2$  (Al).

Так как выбор сечения проводников связан непосредственно с выбором защитных аппаратов, то предварительно должны быть выбраны аппараты управления и защиты и рассчитаны их характеристики.

Последовательность расчета сечения проводов и кабелей ( $s$ ) соответствующих участков электролиний:

1. Определить значение расчетного тока проводника. При этом необходимо обеспечить выполнение двух условий:

$$\text{а) } I_D \geq \frac{I_3 K_3}{K_1 K_2}, \quad (140)$$

где  $I_D$  – длительно допустимый ток провода, приведен в ПУЭ и таблица 45, А;

Таблица 45 – Длительно допустимый ток ( $I_D$ ) для проводов и кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией и алюминиевыми жилами, А

Сечение токо- проводящей жилы, $\text{мм}^2$	Провода			Кабели	
	Открытая проводка	Два провода в трубе	Три провода в трубе	в воз- духе	в зем- ле
2,5	24	20	19	19	29
4	32	28	28	27	38
6	39	36	32	32	46
10	55	50	47	42	70
16	80	60	60	60	90
25	105	85	80	75	115
35	130	100	95	90	140
50	165	140	130	110	175
70	210	175	165	140	210
95	255	215	200	170	255
120	295	200	220	200	295

$I_z$  – параметр защитного устройства (ток срабатывания, номинальный ток);

$K_3$  – коэффициент кратности, характеризующий отношение между допустимым током проводника и током защиты аппарата (см. таблицу 46);

$K_1$  – поправочный температурный коэффициент, при обычных условиях  $t=25^\circ\text{C}$   $K_1=1$ , в помещениях сушки, пропитки и окраски  $t=35^\circ\text{C}$  и  $K_1=0,87$ ;

$K_2$  - поправочный коэффициент, зависящий от числа рядом проложенных одновременно работающих кабелей.

$$\text{б) } I_d \geq I_{\text{РАСЧ}} = \frac{I_{\text{ДЛ}}}{K_1 K_2}, \quad (141)$$

где  $I_{\text{расч}}$  – расчетный ток участка сети, А;

$I_{\text{дл}}$  – длительный ток для конкретных проводов и кабелей, А.

2. По таблице длительно допустимых токов (таблица 46) выбирается сечение кабеля.

3. Проверить все электроприемники по допустимой потере напряжения. Предельно допустимые потери напряжения от источника электрического тока до приемника составляют 5%.

Для выполнения электрической и противопожарной безопасности производят заземление и зануление электрических сетей. К частям, подлежащим заземлению или занулению, относятся металлические конструкции распределительных устройств, металлические кабельные конструкции, металлические рукава и трубы электропроводки, лотки, короба, струны, стальные полосы, на которых укреплены кабели и провода и прочие конструкции, которые могут оказаться под напряжением.

Действующие в настоящее время в Российской Федерации (вопрос о введении в действие на территории Республики Беларусь 7-го издания «Правил устройства электроустановок» рассматривается в Управлении Государственного энергетического надзора концерна «Белэнерго») нормативные документы регламентируют вы-

бор сечений нулевых рабочих ( $N$ ), совмещенных нулевых рабочих ( $PEN$ ) и защитных ( $PE$ ) проводников.

Для однофазных, а также трехфазных сетей при питании по ним однофазных нагрузок сечение нулевого рабочего  $N$ -проводника во всех случаях должно быть равно сечению фазных проводников.

Таблица 46 – Значения коэффициентов защиты

Ток и тип защитного аппарата	Для сетей, где есть защита от перегрузок			Для сетей, не требующих защиты от перегрузок
	Проводники с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией		Кабели с бумажной изоляцией	
	взрыво- и пожароопасные помещения	невзрыво- и непожароопасные помещения		
Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратнозависимой от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки)	1	1	1	1
Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратнозависимой от тока характеристикой (при наличии на автоматическом выключателе отсечки ее кратность не регламентируется)	1	1	0,8	0,66
Ток срабатывания автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель	1,25	1	1	0,22
Номинальный ток плавкой вставки предохранителя	1,25	1	1	0,33

Сечение защитного *РЕ*-проводника должно равняться:

- сечению фазных проводников при сечении последних до 16 мм<sup>2</sup>;
- 16 мм<sup>2</sup> при сечении фазных проводников от 16 до 35мм<sup>2</sup>;
- не менее 50% сечения фазных проводников при больших значениях последних.

При этом следует помнить, что в однофазных линиях групповой сети не допускается объединять *N*- и *РЕ*-проводники для получения *PEN*-проводников. Такие линии всегда нужно выполнять трехпроводными: фазным проводником *L*, нулевым рабочим *N* и защитным *РЕ*.

### 7.3 Проектирование осветительных сетей

Расчет электрических осветительных сетей производится на основании светотехнического расчета. Также необходимо предусмотреть рабочее аварийное и (или) эвакуационное освещение. Различают питающие и групповые сети. К питающим относят участок сети от источника питания до группового щитка, а к групповым – от группового щитка до осветительных установок. Так же как и силовая распределительная сеть, групповая сеть может иметь радиальную, магистральную или смешанную схемы распределения энергии. Светильники общего и местного освещения в помещениях без повышенной опасности запитываются напряжением не выше 220В. В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания используется напряжение не выше 50 В. Осветительная сеть в зависимости от нагрузки может выполняться одно-, двух- и трехфазной. Групповые щитки устанавливаются в центрах электрических нагрузок и в местах, удобных для обслуживания. При проектировании осветительных сетей необходимо соблюдать следующие условия:

1. Каждая групповая линия, как правило, должна содержать на фазу не более 20 ламп накаливания, ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ, в это число включаются также штепсельные розетки. Светильники с

люминесцентными лампами мощностью до 80 Вт ограничиваются 60 лампами на фазу, до 40 Вт включительно — 75 ламп на фазу и мощностью до 20 Вт включительно — 100 ламп на фазу.

2. Исходя из технико-экономических расчетов, рекомендуется проектировать трехфазные четырехпроводные линии 380/220В протяженностью не более 100 м, двухпроводных — не более 40 м.

3. Вся осветительная сеть должна быть защищена от токов короткого замыкания аналогично внутренним силовым сетям. Кроме двухпроводных сетей в зонах класса В-1 установка предохранителей или выключателей в нулевой провод запрещена.

4. Компенсация реактивной мощности для ламп типа ДРЛ, ДНаТ и ДРИ может быть индивидуальной или групповой. В последнем случае компенсирующие устройства должны отключаться одновременно с освещением.

Расчет электрических осветительных сетей сводится к определению сечений проводников исходя из:

- обеспечения предельно допустимого отклонения напряжения осветительных установок, нормируемых ГОСТ 13109 "Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения";

- механической прочности проводки сети;
- проверки выбранного провода или кабеля на нагрев;
- при наличии соответствующих технико-экономических расчетов сечение проводника может быть найдено исходя из минимума расхода проводникового материала.

По допустимой потере напряжения с учетом минимального расхода проводникового материала сечение проводников групповой осветительной линии рассчитывается по формуле, мм<sup>2</sup>:

$$F = \frac{\Sigma M + \alpha_{\text{ПР}} \Sigma m}{C \Delta U_{\text{Д\%}}} \quad (142)$$

где  $\Sigma M$  – сумма моментов нагрузки данного и всех последующих по направлению потока энергии участков осветительной сети, включая ответвления с тем же количеством проводов в линии, что и данный участок, кВт·м;

$\Sigma m$  – сумма моментов нагрузки всех ответвлений, питаемых через данный участок, с другим числом проводов, отличным от количества проводов данного участка, кВт·м;

$\alpha_{пр}$  – коэффициент приведения моментов, зависящий от соотношения числа проводов рассматриваемого участка и ответвления (см. таблица 47);

$C$  – коэффициент, зависящий от материала провода и напряжения сети (см. таблицу 48);

$\Delta U_{д\%}$  – допустимая потеря напряжения, %.

Таблица 47 – Коэффициенты приведения моментов

Участок линии	Ответвление	$\alpha_{пр}$
Трёхфазная с нулевым проводом	Однофазное	1,85
	Двухфазное с нулевым проводом	1,39
Двухфазная с нулевым проводом	Однофазное	1,33
Трёхфазная без нулевого провода	Двухфазное (двухпроводное)	1,15

Таблица 48 – Значения коэффициента  $C$

Номинальное напряжение сети, В	Система сети и род тока	Значения коэффициента $C$	
		с медными жилами	с алюминиевыми жилами
380/220	Три фазы с нулевым проводом	77	46
	Две фазы с нулевым проводом	34	20
220	Одна фаза и нулевой провод	12,8	7,7
220/127	Три фазы с нулевым проводом	25,6	15,5
	Две фазы с нулевым проводом	11,4	6,9
127	Одна фаза и нулевой провод	4,3	2,6
110		3,2	1,9
36		0,34	0,21
24		0,153	0,092

Сумма моментов нагрузок (рисунок 28) рассчитывается по одной из формул:

$$\Sigma Pl = P_1L_1 + P_2L_2 + P_3L_3 \quad (143)$$

$$\Sigma Pl = (P_1 + P_2 + P_3)l_1 + (P_2 + P_3)l_2 + P_3l_3 \quad (144)$$

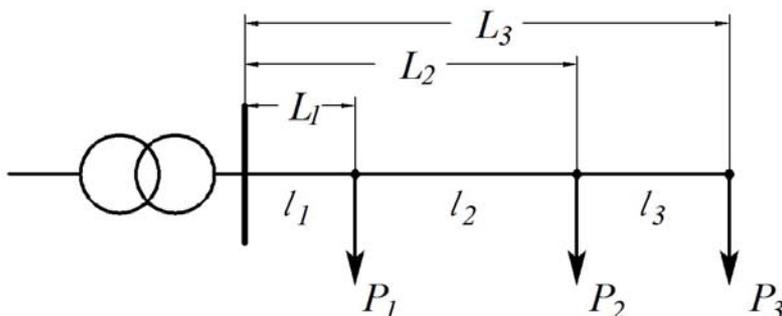


Рисунок 28 – К определению моментов нагрузки осветительной сети.

Допустимая потеря напряжения находится из формулы:

$$\Delta U_{Д\%} = 10 - \Delta U_{Т\%} \quad (145)$$

где  $\Delta U_{Т\%}$  – потеря напряжения в питающем трансформаторе, %, зависит от паспортных данных трансформатора и его коэффициента загрузки.

Выбирая сечение участка проводки, полученное из (142) значение округляют до большего стандартного и уточняют фактические потери напряжения.

Выбранное сечение проверяется на нагрев путем сравнения расчетного тока  $I_P$  с предельно допустимым током провода(кабеля).

Расчетный ток определяется по следующим формулам:

для трехфазной сети:

$$I_P = \frac{P_P}{3U_{\Phi} \cos \varphi} \quad (146)$$

для двухфазной сети с нулевым проводом:

$$I_P = \frac{P_P}{2U_{\Phi} \cos \varphi} \quad (147)$$

для однофазных линий:

$$I_P = \frac{P_P}{U_{\Phi} \cos \varphi} \quad (148)$$

где  $P_P$  – расчетная мощность осветительных установок.

Для ремонтных предприятий  $P_p$  принимают равным 0,85 от установленной мощности светильников с учетом потерь в пускорегулирующей аппаратуре. Установленную мощность осветительных установок находят с помощью светотехнического расчета.

Каждый последующий участок осветительной сети рассчитывается аналогично, причем потерю напряжения, подставляемую в (142), находят как разность между допустимой для всей сети потерей напряжения и фактической потери напряжения на предыдущих участках.

Выбрав сечения проводов на всех участках и просчитав фактическое падение напряжения на них, сравнивают суммарную потерю напряжения до наиболее удаленного электроприемника с предельно допустимой.

Сечение нулевых рабочих проводников трехфазных питающих и групповых линий с лампами люминесцентными, ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ при одновременном отключении всех фазных проводов линии должно выбираться:

1. Для участков сети, по которым протекает ток от ламп с компенсированными пускорегулирующими аппаратами, равным фазному независимо от сечения.

2. Для участков сети, по которым протекает ток от ламп с некомпенсированными пускорегулирующими аппаратами, равным фазному при сечении фазных проводников менее или равном  $16 \text{ мм}^2$  для медных и  $25 \text{ мм}^2$  для алюминиевых проводов и не менее 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях, но не менее  $16 \text{ мм}^2$  для медных и  $25 \text{ мм}^2$  для алюминиевых проводов [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сердешнов, А.П. Ремонт электрооборудования. Ч. I. Ремонт электрических машин [Текст] : учебное пособие / А.П. Сердешнов. – Мн.: УП ИВЦ Минфина, 2006. – 292 с.
2. Сердешнов, А.П. Техобслуживание и ремонт электрооборудования в сельском хозяйстве [Текст] : справочник / А.П. Сердешнов, Г.И. Янукович. – Мн.: Урожай, 1993. – 176 с.
3. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий [Текст] : принят Госагропромом СССР. – М.: ВО Агропромиздат, 1987. – 189 с.
4. Правила устройства электроустановок [Текст] : принят Главгосэнергонадзор России. – М.: Главэнергонадзор России, 1998. – 607 с.
5. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей [Текст] : подтверждено информационным письмом Управления государственного энергетического надзора концерна «Белэнерго» № 09/252 от 27.07.2004. – Мн.: «Дизайн ПРО, 2007. – 639 с.
6. Сердешнов, А.П. Расчет трехфазного асинхронного двигателя при ремонте и модернизации [Текст] : учебно-методическое пособие / А.П. Сердешнов. – Мн.: БГАТУ, 2003. – 99 с.
7. Жерве, Г.К. Обмотки электрических машин [Текст] / Г.К. Жерве. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 399 с.
8. Тихомиров, П.М. Расчет трансформаторов [Текст] : учебное пособие / П.М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 527 с.
9. Маршак, Е.Л. Ремонт электрических машин общепромышленного применения [Текст] / Е.Л. Маршак, Р.Б. Уманцев. – М.: Энергия, 1972. – 279 с.

10. Каганов, И.Л. Курсовое и дипломное проектирование [Текст] : учебное пособие / И.Л. Каганов. – М. : Агропромиздат, 1990. – 351 с.
11. Ус, А.Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий [Текст] / А.Г. Ус, Л.И. Евминов. – Мн.: НПО «ПИОН», 2002. – 457 с.
12. Коновалова, Л.Л. Электроснабжение промышленных предприятий и установок [Текст] / Л.Л. Коновалова, Л.Д. Рожкова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
13. Жилимский, Ю.М. Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст] / Ю.М. Жилимский, И.И. Свентицкий. – М.: Колос, 1968. – 303 с.
14. Епанешников, М.М. Электрическое освещение [Текст] : учебное пособие / М.М. Епанешников. – М.: Энергия, 1973. – 352 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	2
Глава 1 Проектирование электроремонтных предприятий и методики их расчетов.....	5
1.1 Общая часть .....	5
1.2 Порядок выполнения, объемы разделов и методики их расчетов.....	7
Глава 2 Анализ ремфонда предприятия .....	10
Глава 3 Разработка ремонтного предприятия .....	14
3.1 Расчет ремфонда ремонтной базы .....	14
3.2 Расчет условных единиц ремонта электрооборудования ...	16
3.3. Расчет годовой трудоемкости работ на ремонт электрооборудования и численности рабочих ремонтной базы.....	18
3.3.1 Суммарные годовые трудозатраты предприятия .....	18
3.3.2 Численность рабочих ремонтного предприятия .....	18
3.4 Выбор типа ремонтного предприятия и схемы технологического процесса капитального ремонта электрических машин .....	20
3.4.1 Выбор типа ремонтного предприятия .....	20
3.4.2 Выбор схемы технологического процесса .....	21
3.5 Расчет площадей, проектирование отделений и участков .....	21
3.5.1 Расчет площадей .....	21
3.5.2 Компоновка ремонтного предприятия .....	24
3.5.3 Место размещения ремонтной базы.....	25
3.5.4 Выбор технологического оборудования ремонтного предприятия .....	28
Глава 4 Расчет и выбор силового электрооборудования .....	29
4.1. Расчет и выбор электродвигателей для привода технологического оборудования .....	32
4.1.1 Расчет и выбор электродвигателей по максимальной мощности рабочей машины .....	33

4.1.2	Расчет и выбор электродвигателей кран-балки .....	38
4.1.3	Расчет и выбор электродвигателей для металлорежущих станков (токарного, токарно-винторезного, строгального, карусельного) .....	39
4.1.4	Расчет и выбор электродвигателя для сверлильного станка .....	40
4.1.5	Расчет и выбор электродвигателя для шлифовального станка .....	41
4.1.6	Расчет и выбор электродвигателя для точильного станка .....	42
4.2	Выбор системы вентиляции и ее расчет.....	42
4.2.1	Выбор системы вентиляции .....	42
4.2.2	Расчет расхода приточного воздуха .....	43
4.2.3	Расчет воздухораспределительных устройств .....	44
4.2.4	Расчет воздуховодов .....	47
4.2.5	Расчет и выбор вентилятора .....	54
4.2.6	Расчет вытяжных шахт естественной вентиляции .....	62
4.3.	Расчет сушильного шкафа, тупикового с электрическим нагревом .....	63
4.4	Расчет камеры тупикового типа с электронагревом для сжигания старой изоляции обмоток электромашин .....	66
4.5	Расчет сварочного трансформатора .....	66
Глава 5	Расчеты освещения помещений и выбор его оборудования ..	75
5.1	Расчет освещения методом коэффициента использования светового потока .....	83
5.2	Расчет освещения методом удельной мощности .....	90
5.2.1	Расчет светильников точечного излучения .....	90
5.2.2	Для светильников линейного излучения (с люминесцентными лампами) .....	95
5.3	Расчет освещения точечным методом .....	97
5.3.1	Расчет при светильниках с точечными излучателями .....	98
5.3.2.	Расчет при светильниках с линейными излучателями .....	100

Глава 6 Расчет нагрузки на вводе ремонтного предприятия .....	106
Глава 7 Проектирование внутренних электрических сетей .....	114
7.1 Коммутационно-защитные аппараты .....	115
7.2. Внутренние сети силового электрооборудования .....	120
7.3 Проектирование осветительных сетей .....	130
ЛИТЕРАТУРА .....	135

Учебное издание

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЭЛЕКТРОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Учебно-методическое пособие для студентов специальности  
1-74 06 05 01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика)»,  
слушателей ИПК и ПК АПК*

Составители:  
**Сердешнов** Анатолий Петрович,  
**Базулина** Татьяна Геннадьевна

Ответственный за выпуск *А.П. Сердешнов*  
Верстка, дизайн *Т.Г. Базулина*

***Издано в редакции авторов***

Подписано в печать 13.07.2008 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 8,1.  
Уч.-изд. л. 7,2. Тираж 100 экз. Заказ 650.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Белорусский государственный аграрный технический университет  
ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006. ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.  
220023, г. Минск, пр. Независимости, 99, к. 2.

ISBN 978-985-519-018-0

