

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова

Кафедра электроэнергетики и физики

Б.Б. Утегулов

А.А. Свирина

И.В. Кошкин

## **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ**

### **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Учебное пособие

Костанай, 2018

**УДК 621.311.1 (075.8)**

**ББК 31.27-02я73**

**У84**

**Составители:**

Утегулов Болатбек Бахитжанович, доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения КазАТУ имени С.Сейфуллина.

Свирина Анна Андреевна, доктор экономических наук, профессор, директор Чистопольского филиала КНИТУ-КАИ "Восток".

Кошкин Игорь Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики физики, КГУ имени А. Байтурсынова.

**Рецензенты:**

Кушнир В.Г. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Машин, тракторов и автомобилей КГУ имени А. Байтурсынова

Хабдуллина З.К. – доктор технических наук, заведующая кафедрой электроэнергетики и теплоэнергетики, Рудненский индустриальный институт, Рудный.

Достяров А.М. – доктор технических наук, профессор кафедры теплоэнергетики, КазАТУ имени С.Сейфуллина, Астана

Бедыч Т. В. – кандидат технических наук, заведующий кафедрой энергетики и машиностроения, КИНЭУ, Костанай

Утегулов Б.Б.

**У84** Основы проектирования систем электроснабжения. – Учебное пособие / Б.Б.Утегулов, А.А. Свирина, И.В. Кошкин. – Костанай, 2018. – 129 с.

ISBN 978-601-7955-66-3

В учебном пособии представлены рекомендации и материалы, необходимые для проектирования систем электроснабжения отдельных предприятий. Рассмотрены основные принципы проектирования электроснабжения, изложены положения по условно – графическим обозначениям, исследованы методы определения электрических нагрузок, выбора трансформаторов и электрических аппаратов напряжением до и выше 1000 В, их основные технические характеристики. Даны справочные материалы по расчету, выбору и проверке воздушных и кабельных линий электропередачи, изложены краткие методические рекомендации по организации курсового проектирования по заданной дисциплине.

Пособие написано в соответствии с Государственным общеобязательным стандартом высшего образования Республики Казахстан, утвержденным постановлением Правительства Республики Казахстан от 13 мая 2016 года №292, и предназначено для студентов специальности 5В071800 - Электроэнергетика.

ББК 31.27-02я73  
УДК 621.311.1 (075.8)

ISBN 978-601-7955-66-3

Утверждено и рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом Костанайского государственного университета имени А. Байтурсынова, 25.04. 2018г., протокол №2

© Костанайский государственный  
университет им. А. Байтурсынова  
© Утегулов Б.Б., 2018

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| <b>Нормативные ссылки</b> .....  | 5  |
| <b>Обозначения и сокращения</b> .....  | 5  |
| <b>Введение</b> .....  | 6  |
| <b>Тема 1 Общие вопросы проектирования электроснабжения</b> .....                          | 9  |
| 1.1 Основные положения.....  | 9  |
| 1.2 Основные требования к проекту.....   | 10 |
| 1.3 Стадии проектирования, задание на проектирование, состав<br>рабочего проекта.....      | 12 |
| 1.4 Состав электротехнической части проекта .....  | 13 |
| <b>Тема 2 Условные обозначения на электрических схемах и планах<br/>расположения</b> ..... | 15 |
| 2.1 Условно графические обозначения на электрических схемах .....                          | 15 |
| 2.2 Условные обозначения электрооборудования на планах<br>расположения .....               | 20 |
| <b>Тема 3 Проектирование электроснабжения</b> .....  | 23 |
| 3.1 Расчет электрических нагрузок .....  | 23 |
| 3.2 Картограмма электрических нагрузок .....   | 25 |
| 3.3 Определение центра электрических нагрузок предприятия.....                             | 26 |
| 3.4 Проектирование схемы внутреннего электроснабжения .....                                | 28 |
| 3.4.1 Определение количества ТП .....  | 28 |
| 3.4.2 Выбор схемы внутреннего электроснабжения .....                                       | 30 |
| 3.4.3 Выбор напряжения внутреннего электроснабжения .....                                  | 31 |
| 3.4.4 Определение расчетных нагрузок ТП – 10 / 0,38 кВ .....                               | 31 |
| 3.4.5 Компенсация реактивной мощности .....  | 33 |
| 3.4.6 Выбор мощности силовых трансформаторов ТП – 10 / 0,4 кВ.....                         | 34 |
| 3.4.7 Выбор сечения кабельных линий 0,38 кВ .....  | 36 |
| 3.4.8 Выбор сечения КЛ 10 кВ .....   | 38 |
| 3.5 Выбор схемы внешнего электроснабжения .....  | 39 |
| 3.5.1 Общие указания .....   | 39 |
| 3.5.2 Определение расчетной нагрузки предприятия .....                                     | 39 |
| 3.5.3 Обоснование принимаемых значений напряжения внешнего<br>электроснабжения .....       | 41 |
| 3.5.4 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения объекта .....                          | 41 |
| 3.5.5 Выбор оптимальной мощности трансформаторов ГПП .....                                 | 45 |
| 3.5.6 Выбор сечения питающей линии электропередачи .....                                   | 46 |
| 3.6 Расчет токов короткого замыкания (к.з.) .....  | 47 |
| 3.6.1 Расчет токов к.з на напряжении выше 1000 В .....                                     | 47 |
| 3.6.2 Расчет токов к.з. на напряжении 0,38 кВ .....  | 51 |
| 3.7 Выбор электрооборудования и его проверка по работе в режиме к.з.                       | 53 |
| 3.7.1 Выбор электрических аппаратов .....  | 53 |
| 3.7.2 Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения .....                          | 55 |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.7.3 Выбор и проверка шин .....                                     | 56        |
| 3.7.4 Выбор опорных изоляторов .....                                 | 56        |
| 3.7.5 Выбор трансформаторов собственных нужд .....                   | 56        |
| 3.7.6 Проверка сечений кабелей по термической стойкости к токам к.з. | 56        |
| 3.7.7 Выбор автоматических выключателей напряжением 0,38 кВ.....     | 57        |
| 3.8 Проектирование молниезащиты и заземления .....                   | 58        |
| <b>Тема 4 Организация самостоятельной работы .....</b>               | <b>67</b> |
| 4.1 Этапы выполнения работы .....                                    | 70        |
| 4.1.1 Ознакомление с литературой.....                                | 70        |
| 4.1.2 Выбор методов проектирования .....                             | 71        |
| 4.2 Содержание и структура работы .....                              | 72        |
| 4.3 Правила оформления работы .....                                  | 74        |
| 4.3.1 Основные требования к оформлению пояснительной записки.....    | 74        |
| 4.3.2 Основные требования к графической части проекта.....           | 79        |
| <b>Список использованных источников .....</b>                        | <b>81</b> |
| <b>Приложения .....</b>  | <b>84</b> |

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Настоящее учебное пособие разработано на основании следующих документов:

- Правила организации работы по подготовке, экспертизе, апробации и проведению мониторинга, изданию учебников, учебно-методических комплексов и учебно-методических пособий. Утверждены приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 24 июля 2012 года №344 (с изменениями 2016 года)
- ОСТ 29.115-88. «Оригиналы авторские и текстовые издательские. Общие технические требования».
- ГОСТ 7.1-2003. «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».
- ГОСТ 7.86-2005. «Издания. Общие требования к издательской аннотации».
- ГОСТ Р 7.0.4-2006 Издания. Выходные сведения.
- ГОСТ 7.88-2003. «Правила сокращения заглавий и слов в заглавиях публикаций».
- ГОСТ 7.9-95. «Реферат и аннотации. Общие требования».
- ГОСТ Р 7.0.53-2007. «Издания. Международный стандартный книжный номер».
- ГОСТ Р 7.0.3-2003. «Издания. Основные элементы. Термины и определения».
- ГОСТ 7.84-2002. «Издания. Обложки и переплеты. Общие требования и правила оформления».
- ГОСТ 5373-90. «Издания книжные и журнальные. Форматы».
- ГОСТ Р 7.0.1-2003. «Издания. Знак охраны авторского права».

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

СЭС – система электроснабжения  
ТП – трансформаторная подстанция  
ГРП – главный распределительный пункт  
ГПП – главная понизительная подстанция  
КЛЭП – кабельная линия электропередачи  
РК – Республика Казахстан;  
СТ РК – Стандарт Республики Казахстан;  
ГОСО – Государственный общеобязательный стандарт образования;  
ПК – персональный компьютер;  
ГОСТ – Государственный стандарт;  
НТО – новые технологии обучения;  
МОН РК – Министерство образования и науки Республики Казахстан;  
ГАК – Государственная аттестационная комиссия.

## Введение

Учебное пособие предназначено для студентов электроэнергетических специальностей. В нем подобран широкий методический и справочный материал по основам проектирования электроснабжения объектов, необходимый для выполнения индивидуальных заданий, курсовых и выпускных квалификационных работ. Пособие содержит четыре раздела, охватывает вопросы расчета нагрузок потребителей, проектирования внутризаводских и цеховых систем электроснабжения, компенсацию реактивной мощности в электрических. Даны рекомендации по расчету и выбору распределительных воздушных и кабельных линий низкого (до 1000 В) и высокого напряжения, указания по выбору силовых трансформаторов, коммутационной и защитной аппаратуры, методика расчета токов короткого замыкания и проверка выбранного оборудования на устойчивость к их действию. Кроме того рассмотрены общие вопросы обеспечения электро и пожаробезопасности объектов электроснабжения, методы и их расчета и проектирования. Наличие настоящего учебного пособия никак не освобождает бакалавров от нужды применения иной нормативно-технической документации при подробной проработке отдельных задач проектирования электроустановок, которая представлена в списке литературы учебного пособия.

В первом разделе представлены материалы по основам проектирования, как процесса определения архитектуры, компонентов, интерфейсов и других характеристик определенной системы или составной её части. Показано, что процесс проектирования всегда подчинён необходимости учёта интересов двух групп людей: производителей и потребителей продукции. Изложено, что процесс решения практической задачи всегда многовариантен, и перед разработчиком встает проблема аргументированного выбора окончательного варианта.

Показано, что согласно СН РК 1.02-03-2011 существуют стадии проектирования, такие как: технико-экономическое обоснование (ТЭО); технико-экономический расчет (ТЭР); эскизный проект (ЭП); проект (П); рабочий проект (РП); рабочая документация (Р). Подробно рассмотрено характеристика каждой стадии. Также представлен анализ состава электротехнической части рабочего проекта.

Второй раздел посвящен вопросам чтения схем и конструкций электрических сетей. Даны разновидности электрических схем, которые насчитывается около множество различных элементов. Даны основные положения и правила выполнения электрических принципиальных схем. В разделе изложена информация по условным графическим и буквенно-цифровым обозначениям в электрических схемах. Приведены примеры оформления схемы электрической принципиальной.

В третьем разделе систематизированы сведения об основах проектирования систем электроснабжения напряжением до и выше 1000 В, включающие в себя: требования к организации проектирования, текстовым и

графическим документам, проектирование различных элементов системы электроснабжения, выбор электрооборудования, а также расчеты основных характеристик и элементов электрических сетей. Также приведены расчеты характеристик электроустановок и сетей, порядок выбора электрооборудования на основании полученных данных: расчет электрических нагрузок; компенсация реактивной мощности; расчеты при выборе электрических проводов и кабельных линий; расчет защиты от импульсных перенапряжений и выбор защитных устройств; методы выбора и проверки выбранных сечений проводников по потере напряжения; определение потерь мощности и электроэнергии в линиях и трансформаторах; устройство и расчеты характеристик электрических сетей промышленных предприятий ; выбор аппаратов защиты в электрических сетях напряжением до и выше 1000 В; выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения; расчеты при выборе заземляющих устройств и молниезащиты объектов. Также в разделе кратко изложен метод расчета токов симметричных и несимметричных коротких замыканий в распределительных сетях, даны рекомендации по проверке оборудования на их действие.

В четвертый раздел вошли материалы по организации самостоятельной работы студентов, рекомендации к выполнению курсового проекта. Сделана попытка рассмотреть все этапы проектирования, начиная с общих требований к организации, оформления пояснительной записки и графических материалов и заканчивая непосредственным выбором электроустановок. Отражены организация и содержание консультаций, порядок защиты и оценки курсового проекта.

В приложении систематизирован материал о технических характеристиках высоковольтного и низковольтного оборудования систем электроснабжения, активных и индуктивных сопротивлений проводников, трансформаторов, сведения о батареях конденсаторов, и других элементах сетей электроснабжения.

Разнообразие обстоятельств, какие следует принимать во внимание при проектировании электроснабжения объектов разных сфер индустрии, не дает возможность в ряде ситуаций предоставить конкретные советы по определенным проблемам. Они обязаны решаться посредством тщательного рассмотрения своеобразных условий, предъявляемых к электроснабжению производством либо областью индустрии. По этой причине приведенные в пособии советы не следует расценивать как исключительно допустимые. В отдельных вариантах вероятны и неизбежны отступления от них, вытекающие с навыка проектирования в определенной сфере индустрии, и особенности деятельности объектов.

Поскольку пособие предназначено для учебных целей, не представляется возможным всюду делать ссылки на первоисточники. В основном справочный и теоретический материал заимствован из [1–8, 12]. По вопросам, которые изложены только частично, по тексту даются ссылки на соответствующую литературу.

Материалы справочника могут быть использованы как на стадии проектирования электроснабжения объектов и установок, так и при проработке вопросов оптимизации развивающихся сетей и систем электроснабжения, повышения надежности, безопасности и экономичности их работы.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

***знать***

– принципы, методы и алгоритмы проектирования систем электроснабжения и электроустановок предприятий минерально-сырьевого комплекса с применением современных технических средств.

***уметь***

– производить расчеты электрических нагрузок и показателей надежности объектов горного производства, режимов напряжения и реактивной мощности; производить выбор оптимальных схем и параметров электроснабжения, проектировать электроподстанции, установки поперечной и продольной компенсации, фильтрокомпенсирующие устройства; устройства защиты и электросетевой автоматики линий электропередачи, трансформаторов, шин, распределительных устройств и потребителей электроэнергии.

***владеть***

– навыками работы с проектно-сметной документацией, нормативными базами и методами обеспечения электробезопасности на стадии проектирования систем электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса.

– навыками применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

– навыками обработки результатов экспериментов.

***быть компетентным***

– в вопросах обобщения, анализа, восприятия информации, постановке цели и выбору путей ее достижения;

– к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции;

– демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовностью использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

– готовым работать над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и их компонентов;

– в разработке простых конструкций электроэнергетических и электротехнических объектов;

– в обосновании принятия конкретного технического решения при создании электроэнергетического и электротехнического оборудования;

– в расчетах схем и элементов основного оборудования, вторичных цепей, устройств защиты и автоматики электроэнергетических объектов



## Тема 1 Общие вопросы проектирования электроснабжения

### 1.1 Основные положения

Современная активность научно-технической деятельности и логическое усовершенствование производства любой продукции, призывают к формированию концепции электроснабжения предприятий в реализации функций простоты, гибкости и надёжности обеспечения электроэнергией объектов хозяйственной деятельности.

При всем этом, промышленные объекты разных сфер хозяйствования, обладают собственными, нередко уникальными условиями к проектированию системы электроснабжения.

Поэтому каждый выпускник электротехнических специальностей бакалавриата или магистратуры должен уметь правильно спроектировать систему электроснабжения промышленного предприятия, которая впоследствии способно существенным образом оптимизировать издержки, и в результате, сократить себестоимость продукции.

В учебном пособии даны практические материалы к проектированию электроснабжения производственных площадок с закладкой следующих основных принципов:

*Простота и возможность развития.* Система электроснабжения промышленных предприятий не должна быть многоступенчатой, питающие сети не должны быть длинными, а способ прокладки сети должен быть максимально простым. Кроме того, система обязана обеспечивать возможность внедрения нового оборудования, то есть быть масштабируемой.

*Оптимальная схема распределения электроэнергии.* При проектировании цехов промышленных предприятий значение имеет как размещение оборудования в цехах, так и расположение трансформаторных подстанций. По возможности каждый участок должен быть снабжен отдельным распределительным устройством, которое устанавливается рядом с центром нагрузки. Другие потребители и участки не должны иметь возможности подключения к данному устройству во избежание перегрузки.

*Обеспечение надёжности электроснабжения.* На производствах с параллельными технологическими потоками сеть должна быть построена так, чтобы при необходимости отключения одного элемента сети (в случае аварии, с целью ремонта) отключались только те механизмы, которые относятся к данному потоку. Другие технологические потоки при этом должны оставаться в рабочем состоянии.

*Безопасность.* Все используемое электрооборудование должно обладать степенью защиты, соответствующей условиям работы конкретного производства.

Если все эти факторы учтены на этапе проектирования системы, повышаются возможности расширения производства, внедрения новых технологий, применения инновационного оборудования

При проектировании или реконструкции системы электроснабжения предприятия учитывают многочисленные факторы, к числу которых относятся:

- потребляемая мощность;
- категория надежности;
- характер изменения и графики нагрузок потребителей;
- сосредоточение электрических нагрузок на территории предприятия;
- количество и электрическая мощность подстанций;
- уровень напряжения потребителей;
- число, расположение, мощность, напряжение и другие параметры источников питания;
- требования энергетической системы;
- требования аварийного и послеаварийного режимов, необходимость ограничения токов короткого замыкания;
- уровень экологической безопасности;
- условия выполнения простой и надежной РЗ, автоматики и телемеханики и др.

## **1.2 Основные требования к проекту**

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

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

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

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

- применение наиболее прогрессивных технологий базирующихся на современной системе технологического и инженерного оборудования;
- рациональное использование сырья и материалов;

- рациональное использование существующих инженерных коммуникаций и привязка к ним проектируемого объекта;
- выполнение требований экологии и рационального использования земли;
- организация оптимальной системы организации и управления производством;
- оптимальность принимаемых технических решений;
- взрыво-пожаробезопасность и электробезопасность при сооружении и эксплуатации объекта;
- учет перспектив развития объекта (как правило, на 7-10 лет) ;
- высокий уровень организации строительства объекта;
- использование типовых проектных решений.

Процесс проектирования является творческой инженерной работой, при выполнении которой могут быть предложены не известные ранее науке и практике инженерные решения. Вместе с тем при проектировании всегда следует считаться с рядом ограничений, к основным из которых относятся следующие:

- ограничения вытекающие из требований обязательных нормативных, директивных и руководящих документов, к основными из которых относятся строительные нормы и правила (СНиП), инструкции по проектированию (СН), правила устройства электроустановок (ПУЭ), правила технической эксплуатации (ПТЭ), правила техники безопасности (ПТБ), государственные стандарты (ГОСТ), отраслевые стандарты (ОСТ), руководящие документы (РД), руководящие материалы по проектированию (РУМ);
- ограничения, вызванные особенностями и свойствами оборудования (габаритами, расположением точек подключения энергоносителей, требованиями к режиму работы оборудования и др.);
- строительные ограничения, вызванные нормируемыми строительными габаритами (размерами пролетов, проходов, проемов), а также взаимной увязкой различных технологических и инженерных коммуникаций;
- привязочные ограничения, вызванные необходимостью увязки проектируемых инженерных сооружений с существующими на площадке, а также с необходимостью выполнения требований технических условий на подключение к существующим инженерным коммуникациям, выданных эксплуатирующими организациями;
- ограничения возникающие в процессе проектирования, обусловленные принятыми в начале проектирования решениями, на основании которых выдается задание смежным специальностям и заказывается оборудование.

При проектировании систем электроснабжения промышленных объектов необходимо учитывать специфические условия каждого производственного сектора, оказывающие влияние на принимаемые инженерные решения. К основным условиям по выбору источника питания относятся следующие:

- На предприятиях с электроприемниками I и II категорий должно быть два и более независимых взаимно резервируемых источника питания.
- для электроприемников особой группы I категории должен быть предусмотрен третий независимый источник питания.
- питание энергоемких предприятий от сетей энергосистемы следует осуществлять при напряжении 110 или 220 кВ.
- предприятия с незначительной нагрузкой могут работать при напряжении 6, 10 и реже 35 кВ. При малой нагрузке достаточно напряжения 0,4 кВ от сетей энергосистемы либо соседнего предприятия.
- распределительная сеть промышленных предприятий должна работать на напряжении 10 кВ, в некоторых случаях — 6 кВ, энергоемких — на напряжении 110 кВ.

### **1.3 Стадии проектирования, задание на проектирование, состав рабочего проекта**

При необходимости разработки проекта, заказчику и проектной организации необходимо понимать какая стадия проектирования необходима для того или иного объекта. Для некоторых объектов возможно выполнение проектных работ в одну стадию, для других — в две стадии, для особо сложных объектов необходимо выполнить три стадии проектирования. Например, проект электроснабжения жилого дома выполняется в одну стадию, проект электроснабжения административного здания — в две стадии, проект электроснабжения завода или большого супермаркета выполняется в три стадии.

Проектирование в две стадии — проект со сводным сметным расчетом (П) и рабочая документация со сметами (Р) выполняется для крупных и сложных объектов на основании проектного задания, включающего технико-экономическое обоснование (ТЭО). В задании ставится цель: определить техническую возможность, экономическую целесообразность и хозяйственную необходимость проектирования и строительства объекта в данном месте и в намеченные сроки. Для обоснования прорабатывается несколько альтернативных вариантов. Сравнивая варианты определяют тот, у которого приведенные расчетные затраты минимальны. В выбранном варианте прорабатывают основные принципиальные решения по всем разделам проекта и составляют сметно-финансовый расчет. Разработанная первая стадия (проект) утверждается заказчиком в установленном порядке. На основании утвержденного проекта выполняется вторая стадия проектирования — разработка рабочей документации для строительства объекта.

Наиболее часто проектирование различных объектов народного хозяйства ведется в одну стадию — рабочий проект (РП), на основании утвержденного задания на проектирование. Задание на проектирование это основной документ, на основании которого выполняется проектирование. В задании на проектирование указывается основание для проектирования, вид строительства (новое, реконструкция или расширение), местоположение объекта и сведения

об особых условиях строительства, технические характеристики объекта, требования к технологии и инженерному оборудованию, мероприятия по защите окружающей среды, задания по основным технико-экономическим показателям.

Задание утверждается в установленном порядке, и согласовывается с проектной организацией.

К заданию прилагается: акт выбора площадки под объект проектирования, согласованный со всеми заинтересованными организациями и технические условия на подключение объекта к существующим инженерным коммуникациям. Под площадку расположения объекта проектирования выполняются топографические и геологические изыскания.

Сам рабочий проект включает в себя следующие составляющие:

- паспорт проекта, в котором указываются основные технические и экономические показатели проекта;
- пояснительная записка, содержащая описание принятых технических решений по всем разделам проекта;
- организация строительства;
- рабочая документация, включающая в себя комплекты рабочих чертежей по всем разделам проекта, спецификацию оборудования, ведомости потребности в материалах и сметы на строительство.

#### **1.4 Состав электротехнической части проекта**

Состав электротехнической части проекта регламентирован ГОСТ 21.613-2014 Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования; СН РК 1.02-03-2011 «Порядок разработки, согласования, утверждения и состав проектной документации на строительство»; М788-1073 Электротехническая рабочая документация. Общие требования и рекомендации по составу и оформлению и ряд других документов.

Электротехническая часть сравнительно крупных объектов проектирования содержит комплекты рабочих чертежей по следующим разделам:

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

Для сложных объектов, проектирование которых ведется крупными проектными институтами, обычно существует узкая специализация выполнения вышеуказанных разделов электротехнической части, т.е. каждый

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

### Контрольные вопросы

1. На основании чего разрабатывается строительный проект?
2. Какие основные принципы формирования рациональной системы электроснабжения?
3. Перечислите факторы, учитываемые при проектировании или реконструкции системы электроснабжения.
4. Что является основными задачами любого проектного инженерного решения?
5. Какие нормативные документы в РК, предусмотрены для руководства к проектированию электроосвещения?
6. Какие нормативные документы в РК, предусмотрены для руководства к проектированию электрооборудования?
7. Стадии проектирования
8. Какие существуют разделы комплектов рабочих чертежей электротехнической части проекта?
9. На какое количество категорий разделяются электроприемники в отношении обеспечения надежности электроснабжения?
10. Кто несет ответственность, в соответствии с законодательством, за соответствие выпускаемой в обращение (размещаемой на рынке) проектной документации требованиям нормативов?

## **Тема 2 Условные обозначения на электрических схемах и планах расположения**

### **2.1 Условно графические обозначения на электрических схемах**

Основным назначением принципиальных электрических схем является отображение с достаточной полнотой и наглядностью взаимной связи отдельных электрических аппаратов, приборов и вспомогательной аппаратуры, входящих в состав электрического изделия или узла системы электрификации, с учетом последовательности их работы и принципа действия. Эти схемы служат для изучения принципа действия систем электрификации и автоматизации. Принципиальные схемы являются основанием для разработки монтажных схем, схем внешних соединений и др.

Схемы выполняются без соблюдения масштаба. Действительное пространственное расположение составных частей не учитывается или учитывается приблизительно.

Графическое обозначение элементов схемы и соединяющих их линий следует располагать так, чтобы обеспечивалось наилучшее представление о структуре установок и взаимодействии её основных элементов. Расстояние между двумя соседними линиями графического изображения должно быть не менее 1 мм. Расстояние между параллельными линиями должно быть не менее 3 мм. Расстояние между отдельными условными графическими изображениями должно быть не менее 2 мм.

Условное графическое изображение элементов схем устанавливаются ЕСКД. Могут использоваться изображения в виде упрощённых внешних очертаний элементов схем.

При необходимости возможно применение нестандартизованные условные графические обозначения и упрощённые внешние очертания. При этом на схемах необходимо привести принятые условные обозначения и дать соответствующие пояснения.

Размеры некоторых условных графических обозначений устанавливаются стандартами. Толщина линий должна быть одинаковой на всех схемах. Размеры графических обозначений допускается изменить пропорционально.

Наиболее часто используемый вид это принципиальная электрическая схема – первый рабочий документ, на основании которого анализируют схему в процессе проектирования, изготовления и эксплуатации. Схема позволяет проверить правильность выполненных соединений, задать уставки аппаратам защиты, настроить датчики, путевые и конечные выключатели.

В общем случае принципиальные схемы содержат:

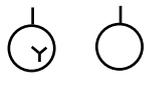
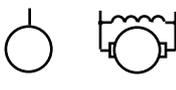
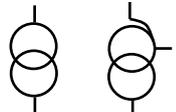
- условные изображения принципа действия того или иного функционального узла схемы;
- поясняющие надписи;
- части отдельных элементов из других схем;
- диаграммы переключений контактов многопозиционных устройств;
- перечень используемых в данной схеме приборов и аппаратуры;

Принципиальные электрические схемы составляются с помощью условных графических обозначений приведенных в стандартах. Условные графические обозначения образуются из простейших геометрических фигур: квадратов, прямоугольников, окружностей, треугольников, а так же из сплошных и пунктирных линий и точек. Их сочетание по системе предусмотренной стандартом дает возможность изобразить любые виды электрических машин, аппаратов и устройств, линии электрической и механической связи, виды соединений обмоток и т.п.

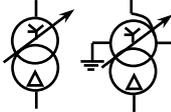
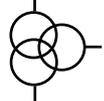
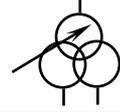
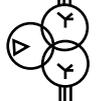
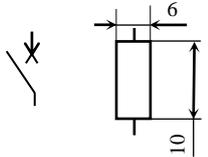
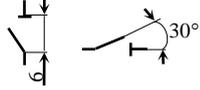
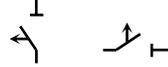
Наиболее часто встречающиеся условные обозначения элементов принципиальных электрических схем приведены в таблице 2.1.

Графические условные обозначения обязательно должны иметь буквенно–цифровые обозначения, которые определяют их функциональное назначение, место расположения и маркировку в схеме. Условные буквенно–цифровые обозначения составляют из букв латинского алфавита и арабских цифр. Все знаки в обозначении должны иметь одинаковую высоту.

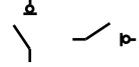
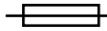
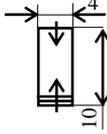
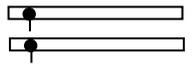
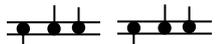
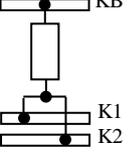
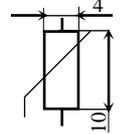
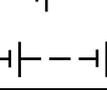
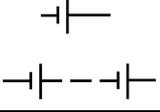
Таблица 2.1 - Обозначение условное графическое и буквенный код элементов электрических схем

| Наименование элемента схемы  | Графическое обозначение   | Буквенный код |
|--|---|---------------|
| 1  | 2   | 3             |
| Машина электрическая. Общее обозначение.<br>Примечание. Внутри окружности допускается размещение квалифицирующих символов и дополнительной информации, при этом диаметр окружности при необходимости изменяют          |  | G, M          |
| Генератор переменного трёхфазного тока с отмоткой статора, соединенной в звезду с параллельными ветвями  |  | G             |
| Синхронный компенсатор   |  | GC            |
| Электродвигатель переменного тока  |   | M             |
| Генератор постоянного тока (возбудитель)   |   | GE            |
| Обмотка статора (каждой фазы) машины переменного тока  |   | –             |
| Обмотка возбуждения синхронного генератора   |   | LG            |
| Трансформатор (автотрансформатор) силовой. Общее обозначение.<br>Примечание. Внутри окружности допускается размещение квалифицирующих символов и дополнительной информации. Допускается увеличение диаметра окружности |   | T             |

Продолжение таблицы 2.1

| 1  | 2   | 3         |
|--|---|-----------|
| Трансформатор и автотрансформатор с РПН с указанием схемы соединений обмоток                     |     | Т         |
| Трансформатор силовой, трёхобмоточный. Трансформатор собственных нужд основного напряжения       |    | Т         |
| Трансформатор силовой, двухобмоточный с расщеплением обмотки НН на две, с РПН                    |     | Т         |
| Обмотка (одной фазы) трансформатора, дросселя. Начало обмотки указывается точкой                 |     | Т         |
| Трансформатор напряжения.  |    | TV        |
| Два однофазных трансформатора натяжения, соединённых в открытый треугольник                      |    | TV        |
| Трансформатор натяжения трёхфазный, трёхобмоточный. Трансформатор натяжения обходной системы шин |  | TV<br>TVB |
| Трансформатор тока измерительный   |  | TA        |
| Дугогасительный реактор Реактор токоограничивающий   |  | L<br>LR   |
| Реактор линии Реактор сдвоенный  |  | LW<br>LR  |
| Выключатель высокого напряжения Выключатель генератора (синхронного компрессора)                 |   | Q<br>QG   |
| Разъединитель  |   | QS        |
| Разъединитель заземляющий  |  | QSG       |
| Отделитель   |   | QR        |
| Короткозамыкатель  |   | QN        |

Окончание таблицы 2.1

| 1  | 2   | 3                   |
|--|---|---------------------|
| Выключатель нагрузки   |     | QW                  |
| Предохранитель плавкий   |    | F                   |
| Разрядник вентильный магнетовентильный                                   |    | FV                  |
| Выключатель автоматический в силовых цепях (автомат), в цепях управления |    | QF<br>SF            |
| Выключатель неавтоматический (рубильник)                                 |    | S                   |
| Контактор, магнитный пускатель   |    | KM                  |
| Сборные шины распределительных устройств высокого напряжения             |    | K1<br>K2            |
| Секция сборных шин   |   | K1,K2<br>BA, BB, BC |
| Секция сборных шин с.н. 6...10 кВ  |   | CV, CP, CN          |
| Секция сборных шин с.н. 0,4 кВ   |   | QK                  |
| Шиносоединительный выключатель   |   | QK                  |
| Секционный выключатель   |   | QB                  |
| Обходной выключатель   |   | QB                  |
| Ограничитель перенапряжений  |  | RU                  |
| Аккумуляторная батарея   |   | GB                  |

Пример принципиальной схемы приведен на рисунке 2.1

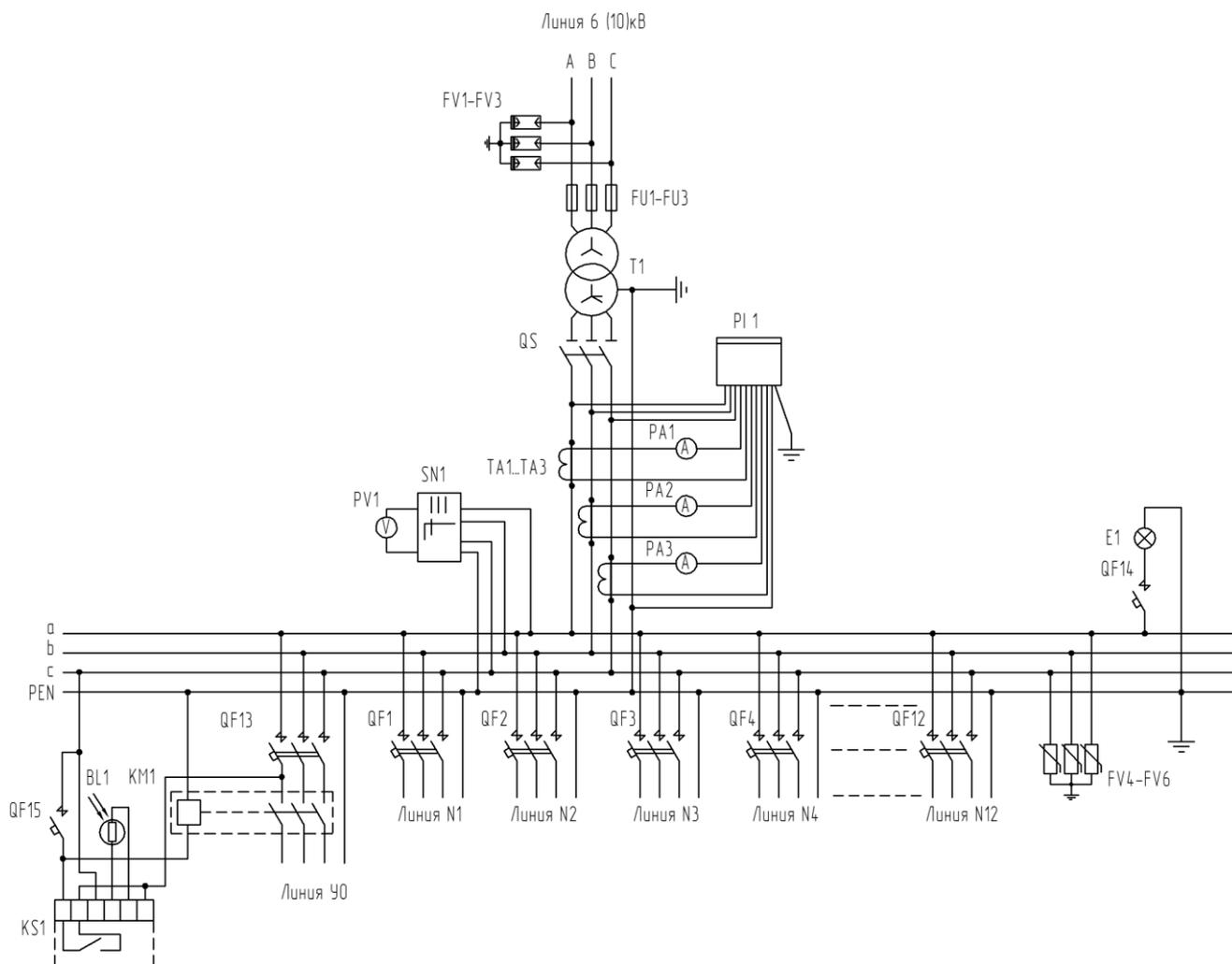


Рисунок 2.1 – Принципиальная электрическая схема КТП

Порядковые номера элементам следует присваивать, начиная с единицы, в пределах группы элементов, которым на схеме присвоено одинаковое буквенное позиционное обозначение, например, Q1, Q2, Q3, в соответствии с последовательностью их расположения на схеме сверху вниз и слева направо. Позиционные обозначения проставляют рядом с условными графическими обозначениями элементов с правой стороны или под ними.

При изображении на схеме элемента «разнесённым» способом позиционное обозначение элемента проставляется около каждой составной части.

На принципиальной схеме должны быть однозначно определены все элементы, входящие в состав установки и изображённые на схеме. При выполнении схемы на неполных листах должны выполняться следующие требования:

- нумерация позиционных обозначений элементов должна быть сквозной в пределах установка;
- перечень элементов должен быть общим;
- при повторном изображении отдельных элементов на других листах схемы следует охранять позиционные обозначения, присвоенные им на одном из первых листов схемы.

## **2.2 Условные обозначения электрооборудования на планах расположения**

В электрической части проектов зданий и сооружений обязательно приводятся планы расположения силового и осветительного электрооборудования. Обозначения электропроводок и электрооборудования на планах должны выполняться в соответствии со стандартом Республики Казахстан Ст РК21.614.2002 «Изображения условные графические электрооборудования и проводок на планах».

Пример плана расположения электрооборудования приведен на рисунке 2.2.

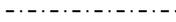
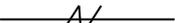
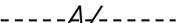
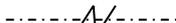
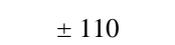
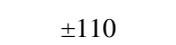
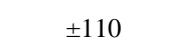
Рисунок 2.2 – План расположения силового оборудования

В состав электрической части проекта обязательно должна входить принципиальная схема распределительной сети, выполняемая в соответствии со стандартом СтРК21.613.2002 «Силовое оборудование. Рабочие чертежи.». Графические обозначения электрических объектов на планах представлены в таблице 2.2 .

Таблица 2.2 - Графическое обозначение электроэнергетических объектов на планах

| Наименование объекта   | Обозначение объекта   |   |   |
|--|---|---|---|
|  | существующего   | проектируемого  | намечаемого   |
| 1  | 2   | 3   | 4   |
| Электростанция. Общее обозначение                                  |    |    |    |
| Электростанция тепловая ТЭС. Общее обозначение, ГРЭС               |    |    |    |
| Электростанция тепловая с выдачей тепловой энергии потребителю ТЭЦ |    |    |    |
| Электростанция гидравлическая. Общее обозначение                   |    |    |    |
| Электростанция атомная   |  |  |  |
| Подстанция. Общее обозначение                                      |  |  |  |
| Подстанция переменного тока 35 кВ                                  |  |  |  |
| Подстанция переменного тока 110 кВ                                 |  |  |  |
| Подстанция переменного тока 220 кВ                                 |  |  |  |
| Подстанции переменного тока 500 кВ                                 |  |  |  |
| Подстанции тяговые переменного тока                                |  |  |  |
| Подстанция тяговая постоянного тока                                |  |  |  |

## Окончание таблицы 2.2

| 1                                       | 2   | 3  | 4   |
|---|---|--|---|
| Линия электропередач. Общее обозначение |  |  |  |
| Линия электропередачи до 1 кВ           |  |  |  |
| Линия электропередач свыше 1 кВ         |  |  |  |
| Кабельная линия                         |  |  |  |
| Воздушная линия                         |  |  |  |
| Линия электропередач постоянного тока   |  |  |  |

### Контрольные вопросы

1. Какой графический документ называется схемой?
2. Что такое элемент схемы?
3. Что называется схемой принципиальной?
4. Как присваивают код схемам электрическим принципиальным?
5. Что такое УГО в схемах электрических принципиальных?
6. В каком положении на схемах электрических принципиальных изображают УГО?
7. УГО и позиционные обозначения коммутационных изделий.
8. Как на схемах электрических принципиальных учитывают масштаб элементов?
9. Как на схемах электрических принципиальных учитывают компоновку УГО?
10. Как на схемах присваивают позиционные обозначения элементам?
11. Как на схемах наносят позиционные обозначения элементов?
12. Какие линии применяют при выполнении схем электрических принципиальных?
13. Какие размеры шрифта используют при оформлении схем?
14. Как на схемах электрических принципиальных оформляют выводы?
15. Где и как на схемах указывают характеристики входных и выходных цепей?
16. Как на схемах электрических принципиальных заполняют основную надпись?
17. Каков общий состав схем электрических принципиальных?
18. Какой документ называется перечнем элементов?
19. Как выполняется обозначение на плане проектируемой и существующей подстанций?

## Тема 3 Проектирование электроснабжения

### 3.1 Расчет электрических нагрузок

Электрические нагрузки являются исходными данными для решения комплекса технико-экономических задач, возникающих при проектировании систем электроснабжения (СЭС) любого промышленного или аграрного предприятия. Определение расчетных электрических нагрузок составляет начальный этап проектирования СЭС и производится с целью выбора силового электрооборудования, токоведущих частей элементов СЭС, выбора компенсирующих устройств (батарей конденсаторов, реакторов, устройств УПК и т.д. ), защитных устройств и их проверки по техническим и экономическим условиям. Многие технико - экономические параметры СЭС зависят от правильной оценки ожидаемых электрических нагрузок, поэтому достоверный выбор значения расчетных нагрузок является одним из главных условий проектирования системы электроснабжения [1, 3, 5, 12].

Зная электрические нагрузки, можно выбрать нужную мощность силовых трансформаторов, мощность и место подключения компенсирующих устройств, выбрать и проверить токоведущие части по условию допустимого нагрева, рассчитать потери и колебания напряжения, выбрать виды защит.

В зависимости от стадии проектирования и места расположения расчетного узла в схеме электроснабжения применяют различные методы определения электрических нагрузок - упрощенные или более точные. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, отличается сложностью или простотой в расчетах и в сборе исходных данных.

Существуют различные методы расчета электрических нагрузок, которые в свою очередь делятся на:

- основные;
- вспомогательные.

К основным методам расчета электрических нагрузок относят:

- по номинальной мощности и коэффициенту использования;
- по номинальной мощности и коэффициенту спроса;
- по средней мощности и расчетному коэффициенту;
- по средней мощности и отклонению расчетной нагрузки от средней;
- по средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузки.

Применение того или иного метода определяется допустимой погрешностью расчетов и наличия исходных данных.

В курсовом проекте определение расчетной электрической нагрузки силовых электроприемников рекомендуется выполнять по методу коэффициента спроса, расчетную нагрузку электроосвещения - по удельным мощности электроосвещения на единицу производственной площади.

Коэффициентом спроса электрической нагрузки называется отношение расчетной активной мощности к номинальной или установленной мощности группы приёмников [1, 2, 3, 12]:

$$K_c = P_p / P_{уст} \quad (1)$$

Значение коэффициента спроса для различных отраслей промышленности и предприятий в целом определяются из опыта эксплуатации и принимаются по справочным данным (Приложение 1.Е).

Используя значение коэффициента спроса, а также номинальную (установленную) мощность потребителей, можно определить силовую расчетную активную нагрузку группы потребителей или объекта [1, 2, 3].

$$P_{pc} = K_c \cdot P_{уст. с} \quad (2)$$

Расчетная силовая реактивная нагрузка определяется по выражению:

$$Q_{pc} = P_{pc} \cdot \operatorname{tg}\phi; \quad (3)$$

где  $\operatorname{tg}\phi$  - коэффициент реактивной мощности нагрузки.

Расчетная нагрузка электроосвещения определяется по методу удельной мощности на единицу производственной площади. Расчет рекомендуется для предприятий и объектов, характеризующихся большим числом приемников малой мощности или относительно равномерно распределенных по площади. Расчетная мощность электроосвещения определяется по формулам:

$$P_{po} = P_{уд} \cdot F; \quad (4)$$

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg}\phi; \quad (5)$$

где  $P_{уд}$  - удельная мощность электроосвещения на 1 м<sup>2</sup> производственной площади (Приложение 1.Е);

$\operatorname{tg}\phi$  - коэффициент реактивной мощности осветительной нагрузки.

Суммарные расчётные нагрузки определяются по выражениям [1, 2, 3]:

$$P_p = P_{po} + P_{pc}; \quad (6)$$

$$Q_p = Q_{po} + Q_{pc}; \quad (7)$$

Полная расчетная нагрузка объекта [1, 2, 3]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (8)$$

Удельная нагрузка освещения  $P_{уд}$  определяется по справочным данным в зависимости от вида источников света (газоразрядные лампы или лампы накаливания), а также назначения объекта проектирования. Площадь  $F$  определяется по заданному масштабу генерального плана. Коэффициент реактивной мощности  $\operatorname{tg}\phi$  рассчитывается по заданному коэффициенту мощности нагрузки  $\cos\phi$ .

Результаты расчетов электрических нагрузок потребителей на напряжении 0,38 кВ сводят в таблицу 3.1

Таблица 3.1 – Расчет электрических нагрузок на напряжении 0,38 кВ

| № п.о ГП | Наименование потребителя (объекта) | $P_y$ , кВт | $\cos\varphi$ | $\operatorname{tg}\varphi$ | $F$ , м <sup>2</sup> | $K_c$ | $P_{уд}$ , Вт/м <sup>2</sup> | $P_{p.c.}$ , кВт | $Q_{p.c.}$ , кВАр | $P_{p.o.}$ , кВт | $Q_{p.o.}$ , кВАр | $P_p$ , кВт | $Q_p$ , кВАр | $S_p$ , кВА |
|----------|------------------------------------|-------------|---------------|----------------------------|----------------------|-------|------------------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------|--------------|-------------|
|          |                                    |             |               |                            |                      |       |                              |                  |                   |                  |                   |             |              |             |

Расчет электрических нагрузок для электроприёмников на напряжении 10 кВ выполняется отдельно также по методу коэффициента спроса, результаты вычислений сводятся в таблицу 3.2 .

Таблица 3.2 – Расчет электрических нагрузок на напряжении 10 кВ

| № п.о ГП | Наименование | $P_y$ , кВт | $\cos\varphi$ | $\operatorname{tg}\varphi$ | $K_c$ | $P_p$ , кВт | $Q_p$ , кВАр | $S_p$ , кВА |
|----------|--------------|-------------|---------------|----------------------------|-------|-------------|--------------|-------------|
|          |              |             |               |                            |       |             |              |             |

#### Контрольные вопросы

1. Что такое графики нагрузок электроприемников?
2. Какие способы определения расчетных электрических нагрузок в сети трехфазного тока до 1000 В?
3. Охарактеризуйте основные методы расчета электрической нагрузки?
4. Охарактеризуйте дополнительные методы расчета электрической нагрузки?
5. Каким способом определяются расчетные электрические нагрузки однофазных электроприемников?
6. Как определить пиковые нагрузки?
7. Способы определения расчётных нагрузок в сети 10 кВ.

### **3.2 Картограмма электрических нагрузок**

Картограмма нагрузок дает первое представление о распределении нагрузок по территории объекта.

Геометрические изображения электрических нагрузок на картограмме выполняется различными способами. Наиболее простой из них состоит в изображении интенсивности распределения нагрузок приемников при помощи кругов [2,5].

Центр нагрузок цеха или предприятия является символическим центром потребления электрической энергии цеха или предприятия. ГПП или ТП следует располагать в ЦЭН. Это позволит снизить затраты на проводниковый

материал и уменьшить потери электрической энергии. Картограмма электрических нагрузок позволяет проектировщику наглядно представить распределение нагрузок по территории промышленного предприятия.

Для построения картограммы на генеральном плане предприятия наносится в масштабе электрическая нагрузка в виде кругов, площади которых представляют собой электрические нагрузки потребителей.

Радиус круга, представляющего электрические силовые и осветительные нагрузки потребителей, определяется по выражению [1, 2]:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}}, \quad (9)$$

где  $P_i$  - расчетная активная мощность с учетом освещения, кВт;

$\pi$  - математическая постоянная, равна 3,14;

$m$  - масштаб, кВт/см<sup>2</sup>.

Масштаб выбирается из условия, чтобы наименьшую мощность можно было показать, и самая большая мощность поместилась на генеральном плане.

Нагрузка освещения выделяется в данном геометрическом изображении отдельно в виде сектора с углом  $\alpha$ , величина которого рассчитывается по выражению [1, 2]:

$$\alpha = \frac{P_o}{P_{p\Sigma}} \cdot 360 \quad (10)$$

Результаты расчетов сводятся в таблицу 3.3

Таблица 3.3 – Построение картограммы электрических нагрузок

| № п.о ГП | Наименование | $P_p$ , кВт | $Q_p$ , кВАр | $m$ , кВт/см <sup>2</sup> | $r_a$ , см | $r_p$ , см | $P_{p.o.}$ , кВт | $\alpha$ , град |
|----------|--------------|-------------|--------------|---------------------------|------------|------------|------------------|-----------------|
|          |              |             |              |                           |            |            |                  |                 |

#### Контрольные вопросы

1. Назначение картограммы электрических нагрузок?
2. Способ построения картограммы электрических нагрузок?
3. Способы построения картограмм на генпланах активной и реактивной нагрузок?
4. Принципы размещения цеховых ТП на картограммах.

### **3.3 Определение центра электрических нагрузок предприятия**

Для нахождения места расположения главной понизительной подстанции (ГПП) или главного распределительного пункта (ГРП) необходимо найти

условный центр электрических нагрузок (ЦЭН) [1,5]. Подстанции ГПП или ГРП должны располагаться как можно ближе к ЦЭН.

В настоящее время существует ряд математических методов, позволяющих аналитическим путём определить центр электрических нагрузок как отдельных цехов, так и всего промышленного предприятия. Среди них можно выделить три основных метода. Первый метод, использующий некоторые положения из курса теоретической механики, позволяет определить ЦЭН цеха (предприятия) с большей или меньшей точностью (приблизённо) в зависимости от конкретных требований. Так, если считать нагрузки цеха равномерно распределёнными по площади цеха, то центр нагрузок цеха можно принять совпадающим с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане. Если учитывать действительное распределение нагрузок в цехе, то центр нагрузок уже не будет совпадать с центром тяжести фигуры цеха в плане, и нахождение центра нагрузок сведётся к определению центра тяжести масс. Третий подход заключается в том, что, исследования показали, что такое положение нельзя считать правильным и ЦЭН следует рассматривать как некоторый условный центр, так как определение его еще не решает до конца задачи выбора местоположения подстанции. Дело в том, что положение, найденное по тому или иному математическому методу условного центра электрических нагрузок не будет постоянным. Это объясняется изменением потребляемой приемниками мощности, развитием предприятия. В соответствии со сказанным выше ЦЭН описывает на плане фигуру сложной формы. Поэтому правильнее говорить не о ЦЭН как некоторой постоянной точке на плане, а о зоне рассеяния ЦЭН. Зона рассеяния может определяться для статического состояния системы и с учетом динамики (развития) системы электроснабжения. Для определения зоны рассеяния ЦЭН необходимо прежде всего найти закон распределения координат ЦЭН. Обычно предполагают, что распределение случайных координат ЦЭН следует нормальному закону распределения (закону Гаусса-Лапласа). Однако практического интереса этот метод не имеет и, как правило, при расчетах принимают, что нагрузка распределена по территории цеха равномерно, и ЦЭН любого цеха совпадает с центром тяжести фигуры цеха в плане.

В нашем случае координаты ЦЭН определяются следующим образом.

Координаты ЦЭН по активной нагрузке определяем следующим образом [1]:

$$X_{o.a} = \sum P_{pi} \cdot X_i / \sum P_{pi} \quad (11)$$

$$Y_{o.a} = \sum P_{pi} \cdot Y_i / \sum P_{pi} \quad (12)$$

где  $P_{pi}$  - расчетные активные нагрузки потребителей, кВт;

$X_i, Y_i$  – расстояние от центра круга по картограмме нагрузок до координатных осей X и Y, выбранных произвольно, см.

Для определения ЦЭН по реактивной нагрузке в расчетные выражения подставляют значения расчётной реактивной мощности  $Q_p$ . [1]:

$$X_{o.p} = \sum Q_{pi} \cdot X_i / \sum Q_{pi} \quad (13)$$

$$Y_{o.p} = \sum Q_{pi} \cdot Y_i / \sum Q_{pi} \quad (14)$$

где  $Q_{pi}$  - расчетные реактивные нагрузки потребителей, кВАр.

Результаты определения ЦЭН сводятся в результирующую таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Определение центра электрических нагрузок предприятия

| Наименование | $P_p$ ,<br>кВт | $Q_p$ ,<br>кВАр | $x_i$ ,<br>см | $y_i$ ,<br>см | $P_i X_i$ ,<br>кВт*см | $Q_i X_i$ ,<br>кВАр*см | $P_i Y_i$ ,<br>кВт*см | $Q_i Y_i$ ,<br>кВАр*см |
|--------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
|              |                |                 |               |               |                       |                        |                       |                        |

#### Контрольные вопросы

1. Для чего производят поиск центра электрических нагрузок предприятия?
2. Способ определения ЦЭН предприятия?
3. Способы построения ЦЭН с учетом величин электрических нагрузок объектов?
4. Способы построения ЦЭН с учетом величин электрических нагрузок объектов и продолжительностью работы потребителей в течение расчетного периода времени.
5. Способы построения ЦЭН по минимуму приведенных затрат.
6. Расчет зоны рассеяния условного центра электрических нагрузок.

### **3.4 Проектирование схемы внутреннего электроснабжения**

#### **3.4.1 Определение количества ТП**

При определении количества ТП в СЭС предприятия руководствуемся принципом максимального приближения электрической энергии на высоком напряжении к местам её потребления. При определении количества ТП исходим прежде всего из величины максимальной мощности на вводе потребителя. Для СЭС промышленных потребителей доказано, что если нагрузка потребителей превышает 250 кВА, то для них целесообразно устанавливать отдельную ТП. Исходя из этого количество ТП, необходимое для каждого потребителя определяют по выражению [1, 2]:

$$N_{ТП1} = \frac{S_{pi}}{250} \quad (15)$$

Кроме того необходимо учитывать количество трансформаторов ТП и их максимальную мощность. Для промышленных предприятий, относящихся ко второй категории по надёжности электроснабжения, обычно проектируются двухтрансформаторные ТП. При выборе мощности силовых трансформаторов учитываем возможность аварийной перегрузки трансформаторов. При проектировании ориентируемся на коэффициент аварийной перегрузки равный 1,4.

Согласно ПТЭ, масляные трансформаторы марки ТМ допускают перегрузку в 40% в течение 2ч, по условиям пожарной безопасности при установке трансформаторов в цехах максимальная мощность масляного трансформатора для двухтрансформаторных ТП не должна превышать 1600 кВА. С учетом этого максимальная расчетная нагрузка одной внутрицеховой ТП составит:

$$S_{\max \text{ ТП}} \geq 1,4 \cdot 1600 = 2240 \text{ кВА}$$

Поэтому для потребителей с мощностью больше  $S_{\max}$  количество ТП больше одного [1, 2].

$$N_{\text{ТП2}} \geq \frac{S_{pi}}{2240} \quad (16)$$

Результаты определения количества ТП сводятся в результирующую таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Определение количества ТП

| № потребителя по ГП | Наименование | $S_p$ , кВА | $N_{\text{ТП1}}$ | $N_{\text{ТП2}}$ | Принятое количество ТП | № потребителей, запитанных от ТП | $S_p$ ТП, кВА |
|---------------------|--------------|-------------|------------------|------------------|------------------------|----------------------------------|---------------|
|                     |              |             |                  |                  |                        |                                  |               |

#### Контрольные вопросы

1. Для чего производят выбор количества трансформаторных подстанций на объект электроснабжения?
2. Способ определения предварительного количества ТП на объект электроснабжения?
3. Способ определения окончательного количества ТП на объект электроснабжения?
4. Каким показателем оценивается длительность ежедневно допустимой систематической перегрузки трансформатора?

5. Назначение и характеристика графика нагрузочной способности трансформаторов.

### 3.4.2 Выбор схемы внутреннего электроснабжения

Выбор схемы внутреннего электроснабжения проектируемого предприятия осуществляется с учетом размещения источника питания и объектов потребителей, уровней их напряжений и величин мощности, требуемой надежности, расположения и конструктивного исполнения линий, РП и цеховых ТП.

Надежность схемы повышается, если будут выполнены следующие условия:

- сокращается число ступеней трансформации;
- не предусматриваются резервные, не работающие, линии и трансформаторы. Все элементы схемы в нормальном режиме должны находиться под нагрузкой и работать отдельно, при аварии одного из элементов (линии, трансформатора) оставшийся элемент может работать с допустимой перегрузкой, предусмотренной ПУЭ РК, и с отключением части неответственных потребителей.

- во всех звеньях системы распределения энергии, начиная от шин ГПП и кончая шинами на напряжения до 1000 В цеховых ТП, а иногда и цеховых силовых РП, осуществляется секционирование шин, а при преобладании нагрузок первой и второй категории предусматривается устройство автоматического ввода резерва (АВР),

- параллельная работа линий и трансформаторов предусматривается при ударных резкопеременных нагрузках (прокатные станы, мощные сварочные агрегаты, электропечи) или когда АВР не обеспечивает необходимое быстрое восстановление питания, определяемое режимом электроприемников. Вариант параллельной работы принимается только при технико-экономическом обосновании его целесообразности.

Электроэнергия на напряжениях 6—10 кВ распределяется по радиальным и магистральным схемам.

Радиальные схемы применяются при размещении потребителей в различных направлениях от источника питания.

При наличии электроприемников первой и второй категорий, РП и подстанции питаются не менее чем по двум отдельно работающим линиям. Если в цехе преобладают приемники третьей категории, то он питается от однострансформаторной подстанции, а питание отдельных ответственных нагрузок резервируется переключками между подстанциями.

При магистральной схеме электроснабжения одна линия обслуживает несколько распределительных пунктов, присоединенных к ней в различных ее точках. В общем комплексе сети радиальная и магистральная линии могут сочетаться.

Так, цеховое распределение может осуществляться магистралями, каждая из которых питает ряд пунктов, от последних же к приемникам могут отходить радиальные линии.

Рекомендуется в курсовом проекте наиболее ответственные и наиболее мощные потребители запитывать по радиальным линиям, менее ответственные и менее мощные потребители - по магистральным ЛЭП, там, где это возможно.

#### Контрольные вопросы

1. Схемы электроснабжения напряжением до 1 кВ.
2. Схемы электрических сетей напряжением выше 1000 В, радиальные
3. Схемы электрических сетей выше 1000 В, магистральные
4. Разомкнутые схемы электрических сетей. Достоинства и недостатки.

Область применения.

5. Замкнутые схемы электрических сетей. Достоинства и недостатки.

Область применения

6. Способы присоединения подстанций к электрической сети
7. Особенности типовых схем распределительных устройств

понижающих подстанций 35 – 220 кВ.

### **3.4.3 Выбор напряжения внутреннего электроснабжения**

Номинальное напряжение электрической сети значительно влияет на технико – экономические показатели СЭС. Например, при повышении номинального напряжения снижаются потери мощности и электроэнергии, растут предельные мощности, передаваемые по линиям, но увеличиваются капитальные вложения на сооружение сети. Сеть меньшего напряжения требует, наоборот, меньших капитальных затрат, но приводит к большим эксплуатационным расходам из-за роста потерь мощности и электроэнергии, и обладает меньшей пропускной способностью. Поэтому важность правильного выбора номинального напряжения очевидна.

Величина оптимального номинального напряжения в СЭС зависит от многих факторов: мощности нагрузки, удаленности от источника питания, их расположения друг от друга, от выбранной конфигурации сети, способов регулирования и др.

На выбор оптимальной величины напряжения во внутренней схеме СЭС прежде всего влияют стандартные номинальные напряжения силовых электроприемников потребителей. В настоящее время для силовых электроприемников на стороне ниже 1000 В обычно используется стандартное напряжение 0,38 кВ, на стороне выше 1000 В – 6 или 10 кВ. В проекте электроприёмниками потребителей являются электродвигатели напряжением 380 В и 10 кВ, электронагреватели и электроосвещение. На стороне до 1000 В в схемах внутреннего электроснабжения предприятия, в настоящее время наибольшее распространение получило напряжение 0,38 кВ. В связи с тем, что силовые электроприёмники на стороне выше 1000 В имеют номинальное напряжение 10 кВ и применение других стандартных значений напряжения приведёт к удорожанию СЭС за счет применения специальных трансформаторов, то напряжение 10 кВ, в большинстве случаев, является оптимальным.

### 3.4.4 Определение расчетных нагрузок ТП – 10 / 0,38 кВ

Расчетную нагрузку на шинах низкого напряжения ТП определяют суммированием нагрузок всех потребителей подключенных к ТП с учетом коэффициента одновременности  $K_o$  [1, 2] отдельно для дневного и вечернего максимумов. Допускается определение нагрузок по одному режиму - дневному, если суммируются производственные потребители, или вечернему, если суммируются бытовые потребители. Данный коэффициент характеризует смещение максимума нагрузок во времени отдельных групп электроприемников, формирующих общую нагрузку элемента СЭС. Это смещение вызывает снижение суммарного максимума нагрузок узла по сравнению с суммой максимумов нагрузок отдельных групп. Отметим, что в разных литературных источниках могут встречаться и другие названия данного коэффициента: коэффициент разновременности, коэффициент несовпадения максимумов, коэффициент участия в максимуме и др.

Коэффициенты одновременности для суммирования электрических нагрузок в сетях 6-20 кВ можно принять равным «1» при одном потребителе и равным «0,9» при числе потребителей равным 2 [1]. При трех присоединенных объектах  $K_o = 0,85$  [1].

Расчётная нагрузка подстанций определяется по формулам:

$$P_{pТП} = K_o \cdot \sum P_{pi} \quad (17)$$

$$Q_{pТП} = K_o \cdot \sum Q_{pi} \quad (18)$$

$$S_{p.ТП-1} = \sqrt{P_{p.ТП}^2 + Q_{p.ТП}^2} \quad (19)$$

По заданным выражениям (17) – (19) определяем расчетную мощность каждой ТП предприятия, результаты вычислений сводим в таблицу 3.6

Таблица 3.6 – Определение расчетных нагрузок ТП 10/0,38кВ

| № ТП | №-№ потребителей, подключенных к ТП | $\sum P_p$ , кВт | $\sum Q_p$ , кВАр | $K_o$ | $P_{pТП}$ , кВт | $Q_{pТП}$ , кВАр | $S_{pТП}$ , кВА |
|------|-------------------------------------|------------------|-------------------|-------|-----------------|------------------|-----------------|
|      |                                     |                  |                   |       |                 |                  |                 |

В заключении отметим, что расчет электрических нагрузок питающих сетей потребителей до 1000 В производится, как правило, в целях определения расчетного тока, согласно которому выбирается сечение кабеля по нагреву. В РТМ 36.18.32.4–92 «Указания по расчету электрических нагрузок» и РДС РК 4.04-11-2003, для выбора кабелей и проводов питающих сетей напряжением до 1 кВ принята постоянная времени нагрева  $T_o = 10$  мин. Это означает, что питающие сети с проводниками сечением 25 мм<sup>2</sup> и более выбираются с некоторым запасом. Учитывая известную неопределенность низковольтной

электрической нагрузки из-за частых изменений в технологии и оборудовании, это допущение следует считать приемлемым.

### Контрольные вопросы

1. Методы определения рационального номинального напряжения сети. Эмпирическая формула Стилла. Формула Зелесского. Формула Илларионова. Кривые равной экономичности.
2. Как определяется номинальное напряжение сети по таблицам пропускной способности и дальности ЛЭП?
3. Технические ограничения при выборе номинального напряжения.
4. Шкала номинальных напряжений электрической сети?
5. Что такое «глубокий ввод»? Характерные особенности схемы.
6. Выбор места расположения и типа цеховой подстанции.
7. Метод определения расчетной нагрузки подстанции 10/0,4 кВ при помощи коэффициента одновременности.

### **3.4.5 Компенсация реактивной мощности**

Как правило, в промышленных сетях наблюдается опережающий рост потребления реактивной мощности (РМ) по сравнению с активной, обусловленный ростом промышленных силовых нагрузок. Для выполнения задач баланса РМ, снижения потерь электрической энергии, регулирования напряжения, применяется важное техническое мероприятие, называемое компенсацией реактивной мощности. При проектировании электроснабжения предприятия необходимо выполнить необходимые мероприятия по компенсации реактивной мощности, которые включают в себя выбор и установку оптимальных компенсирующих устройств (КУ).

В проекте компенсация РМ может производиться как на высшем напряжении распределительного устройства ГРП (ГПП), так и непосредственно у потребителей на шинах 0,38 кВ РП и цеховых ТП. В первую очередь следует выполнять компенсацию РМ на стороне 0,38 кВ.

Если предполагаемые реактивные нагрузки объектов в большей мере имеют индуктивный характер, то для их компенсации используются конденсаторные установки. Если нагрузка имеет емкостной характер, для компенсации РМ применяют индуктивность - реактор.

В более сложных случаях используют автоматизированные фильтрокомпенсирующие конденсаторные установки. Они позволяют избавить сети от высокочастотных гармонических составляющих, повысить помехоустойчивость оборудования.

Установки для компенсации РМ делятся по степени управления делятся на регулируемые и нерегулируемые. Нерегулируемые проще и дешевле, но учитывая изменение  $\cos\varphi$  от степени нагрузки, они могут вызвать перекомпенсацию. Регулируемые установки хороши тем, что отслеживают изменение в электросети в динамическом режиме. С их помощью можно

поднять  $\cos\varphi$  до значений 0.97-0.98. Кроме того, происходит мониторинг, запись и индикация текущих показаний, что очень актуально в условиях современной цифровизации технологических процессов.

Наиболее распространенным средством компенсации РМ на промышленных предприятиях являются батареи конденсаторов, устанавливаемые на шинах 0,38 кВ цеховых ТП.

Необходимую мощность конденсаторных установок для компенсации РМ определяем по выражению [1, 2, 3]:

$$Q_{ку} = Q_{рТП} - 0,33 \cdot P_{рТП} \quad (20)$$

$$S_{рК} = \sqrt{P^2_{рТП} - (Q_{рТП} - Q_{БК})^2}$$

Этому соответствует значение коэффициента мощности после компенсации равное 0,95.

После определения значения расчетной мощности конденсаторной батареи по справочникам определяется тип стандартной комплектной конденсаторной установки (Приложение Е Таблица 2.Е). Значение коэффициента мощности на шинах ТП после компенсации РМ должно находиться в интервале значений 0,93 – 0,97.

Результаты расчета мощностей конденсаторных установок для цеховых ТП сводятся в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Компенсация реактивной мощности

| № ТП | №-№ электроприемников, запитанных от ТП | $P_{р\Sigma}$ , кВт | $Q_{р\Sigma}$ , кВАр | $K_o$ | $P_{рТП}$ , кВт | $Q_{рТП}$ , кВАр | $Q_{ку}$ ,кВ Ар | Принята я БК | $Q_{БК,К}$ ВАр | $S_{рК}$ ,кВА | $\cos\varphi_k$ |
|------|---|---------------------|----------------------|-------|-----------------|------------------|-----------------|--------------|----------------|---------------|-----------------|
|      |   |                     |                      |       |                 |                  |                 |              |                |               |                 |

### 3.4.6 Выбор мощности силовых трансформаторов ТП – 10 / 0,4 кВ

Выбор числа и мощности силовых трансформаторов для понизительных подстанций промышленных предприятий должен быть технически и экономически обоснован, так как это оказывает существенное влияние на рациональное построение схем промышленного электроснабжения. При выборе числа и мощности силовых трансформаторов используют методику технико-экономических расчетов, а также учитывают такие показатели, как надежность электроснабжения потребителей, расход цветного металла и потребная трансформаторная мощность. Для удобства эксплуатации систем промышленного электроснабжения стремятся к применению не более двух-трех стандартных мощностей трансформаторов, что ведет к сокращению складского резерва и облегчает взаимозаменяемость трансформаторов. Желательна установка трансформаторов одинаковой мощности, но такое

решение не всегда выполнимо. Выбор трансформаторов следует производить с учетом схем электрических соединений подстанций, которые оказывают существенное влияние на капитальные вложения и ежегодные издержки по системе электроснабжения в целом, определяют ее эксплуатационные и режимные характеристики.

Выбор номинальной мощности силовых трансформаторов выполняется по полной расчетной нагрузке потребителей, подключенных к рассматриваемой подстанции, с учетом компенсации реактивной мощности.

Для проведения технико - экономических расчетов сравнения вариантов выбора номинальной мощности ТП используют справочные данные [1, 3, 5] и исходные данные к проекту:

- время максимальных потерь  $\tau$  (Приложение Е, таблица 3Е, рисунок 1Е);
- стоимость потерь электрической энергии  $\text{Ц}_э$ ;
- норма амортизационных отчислений  $P_a$  (Таблица 4Е, Приложение Е);
- потери холостого хода трансформатора  $\Delta P$  (Таблица 5.Е Приложения Е);
- потери мощности режима короткого замыкания  $\Delta P_k$  (Таблица 5.Е Приложения Е).

По методу приведенных затрат экономические расчеты на силовой трансформатор подстанции определяются по выражению [1, 2, 4]:

$$Z = (E_n + P_a/100) \cdot K + (\Delta P_x \cdot 8760 + K_3^2 \cdot \Delta P_k \cdot \tau) \cdot \text{Ц}_э, \quad (21)$$

где  $K$  – капитальные затраты на трансформаторную подстанцию соответствующей ступени мощности, тыс. тенге;

$K_3$  – коэффициент загрузки,  $K_3 = S_p / (n \cdot S_n)$ , где  $n$  – количество трансформаторов подстанции.

При сравнении вариантов для каждой ТП рассматривают трансформатор минимальной мощности обеспечивающей питание потребителей от одного трансформатора с учетом допустимой перегрузки, т.е. выбранный по условию:

$$S_{н.т.} \geq \frac{S_{pk}}{1,4} \quad (22)$$

и трансформатор следующей большей стандартной мощности.

К установке принимаются трансформаторы с наименьшими приведенными расчетными затратами.

Выбор типа и марки трансформаторов производят с учетом условий их установки, температуры окружающей среды и т. п. Основное применение на промышленных предприятиях находят двухобмоточные трансформаторы. Для цеховых ТП с высшим напряжением 6 — 20 кВ применяют масляные трансформаторы типов ТМ, ТМН, ТМЗ, сухие трансформаторы типа ТСЗ (с естественным воздушным охлаждением) и трансформаторы типа ТНЗ с

негорючей жидкостью (совтол). Масляные трансформаторы цеховых ТП мощностью  $S_{НОМ.Т} < 2500$  кВ \*А устанавливаются на открытом воздухе и внутри зданий. Внутрицеховые ТП, в том числе и КТП, применяют только в цехах I и II степени огнестойкости с нормальной окружающей средой (категории Г и Д по противопожарным нормам).

Стандартный ряд мощностей серийно изготавливаемых трансформаторов напряжением 10/0,4, в кВА: 100; 160; 250; 400; 630; 1000; 1600; 2500.

Расчет приведенных затрат проводится для каждой проектируемой ТП и сводится в результирующую таблицу 3.8.

Таблица 3.8 – Выбор мощности трансформаторов ТП

| № ТП | $S_p$ , кВА | $S_{нт}$ , кВА | К, тыс. тенге | $P_x$ , кВт | $P_k$ , кВт | $K_3$ | $\tau$ , час | $\Sigma$ , тен/кВт·ч | $p$ , о.е. | $pK$ , тыс.тен/год | $I_{пэ}$ , тыс.тен/год | $Z$ , тыс.тен/год |
|------|-------------|----------------|---------------|-------------|-------------|-------|--------------|----------------------|------------|--------------------|------------------------|-------------------|
|      |             |                |               |             |             |       |              |                      |            |                    |                        |                   |

#### Контрольные вопросы

1. Перечислите средства компенсации реактивной мощности в электрической сети.
2. Перечислите методы компенсации реактивной мощности в электрической сети.
3. Расчетные затраты на генерацию реактивной мощности.
4. Выбор оптимального числа и мощности силовых трансформаторов с учетом компенсации, выбор места расположения и типа цеховой подстанции.
5. Выбор средств компенсации реактивной мощности.
6. Определение суммарной мощности компенсирующих устройств.
7. Конструктивное выполнение и размещение компенсирующих устройств.
8. Расчет потерь мощности и электроэнергии в трансформаторе и линии.

#### **3.4.7 Выбор сечения кабельных линий 0,38 кВ**

При выборе сечения жил кабельных линий должны соблюдаться нормативные технические и экономические требования.

Сопоставление и анализ всех технико-экономических показателей, характеризующих возможные варианты, позволяет произвести выбор наилучшего решения.

Выбираемые сечения проводников КЛ должны обязательно отвечать нормативным техническим требованиям:

– расчетный ток линии не должен быть больше допустимого по длительному нагреву тока для данного сечения проводника;

– сечение проводника должно быть термически стойким к протеканию токов к.з.;

– потеря напряжения в проводнике не должна превышать допустимое значение;

– выбранное сечение должно обеспечивать надежное срабатывание аппаратов защиты и запуск мощных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (для КЛ-0,38 кВ).

При выборе сечения проводников следует стремиться к обеспечению минимальных приведенных расчетных затрат на эксплуатацию электрических сетей.

Если исключить затраты на обслуживание сетей, которые практически одинаковы для проводников стандартных смежных сечений, то приведенные расчетные затраты на КЛЭП можно определить по выражению [1-5]:

$$Z_i = pK_{oi} + 3 I^2 \cdot r_{oi} \cdot \tau \cdot C_{\text{Э}} \cdot 10^{-3} \quad (23)$$

где  $p$  – нормативный коэффициент отчислений от стоимости линии;

$K_{oi}$  – удельная стоимость линии, тенге/км;

$I$  – расчетный ток, А;

$r_{oi}$  – удельное сопротивление линии, Ом/км (Приложения, таблица 6.Е);

$\tau$  – время максимальных потерь электроэнергии, ч;

$C_{\text{Э}}$  – стоимость потерь электроэнергии тенге/кВт·ч.

Для каждой проектируемой КЛЭП-0,38 по выражению (23) просчитывают приведенные расчетные затраты для нескольких стандартных сечений, начиная с минимально допустимого. Марку кабеля определяют самостоятельно, для сети 0,38 кВ рекомендуется бронированный с оболочкой жил из негорючего ПВХ-пластиката, и защитным покрытием ББШв либо ББШнг (не поддерживают горение). Стоимостные характеристики КЛЭП-0,38 кВ использовать по существующим каталогам от заводов-изготовителей.

Целью вычислений является определение минимума функции приведенных расчетных затрат от сечения проводников линии. Расчеты ведутся до тех пор пока не определится точка минимума функции, т.е. если затраты для очередного стандартного сечения начинают увеличиваться расчет можно прекращать. Если затраты уменьшаются для всего диапазона стандартных сечений, то в качестве оптимального принимается стандартное наибольшее сечение.

При выборе сечений кабелей для потребителей II категории по надежности электроснабжения, учитываем, что эти кабельные линии в аварийном режиме должны выдерживать всю нагрузку резервируемых потребителей, с учетом допустимой кратковременной перегрузки в 30%, согласно ПУЭ РК. Окончательно принимают сечение, имеющее минимальные приведенные затраты.

Результаты расчетов сечений КЛ- 0,38 кВ сводят в таблицу 3.9.



Таблица 3.9 – Выбор сечения КЛ 0,38 кВ

| Линия | $P_p$ , кВт | $Q_p$ , кВт | $S_p$ , кВт | $I_{раб}$ , А | $I_{ав}$ , А | L, км | F, мм <sup>2</sup> | $I_n$ , А | $\Gamma_0$ , Ом/км | $X_0$ , Ом/км | $K_0$ , тыс.т ен./км | P, о.е. | $\tau$ , час | Ц <sub>э</sub> , тен/кВт·ч | РК, тыс.те н/год | И <sub>п</sub> , тыс.те н/год | З, тыс.тен/год | $\Delta U$ , % |
|-------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------|-------|--------------------|-----------|--------------------|---------------|----------------------|---------|--------------|----------------------------|------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
|       |             |             |             |               |              |       |                    |           |                    |               |                      |         |              |                            |                  |                               |                |                |

### 3.4.8 Выбор сечения КЛ 10 кВ

Выбор сечения КЛ-10 кВ производится таким же образом, как и в изложенном методе для кабелей 0,38 кВ. Марку кабеля 10 кВ рекомендуется выбирать с изоляцией из сшитого полиэтилена в броне, на напряжение 10 кВ, с прокладкой в земле.

Предлагаемые кабели в СПЭ-изоляции обладают рядом преимуществ:

- 1) меньшие расходы на реконструкцию и содержание кабельных линий;
- 2) низкие диэлектрические потери;
- 3) большая пропускная способность за счёт увеличения допустимой температуры нагрева жил: длительной (90 °С вместо 70 °С), при перегрузке (130 °С вместо 90 °С);
- 4) низкое влагопоглощение;
- 5) меньший вес, диаметр и радиус изгиба, что облегчает прокладку на сложных трассах;
- 6) более экологичный монтаж и эксплуатация (отсутствие свинца, масла, битума).

Данные по кратким характеристикам кабелей 10 кВ указаны в Таблице 6.Е Приложения Е.

Стоимостные характеристики КЛЭП-10 кВ использовать по существующим каталогам от заводов-изготовителей Республики Казахстан.

Расчет провести для нескольких сечений кабельной линии, начиная с минимально допустимой.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 3.10.

Таблица 3.10 – Выбор сечения КЛ 10 кВ

| Линия | Участок | $\sum P_p$ , кВт | $\sum Q_p$ , кВАр | $K_0$ | $P_p$ , кВт | $Q_p$ , кВАр | $S_p$ , кВА | $I_{раб}$ , А | $I_{ав}$ , А | L, км | F, мм <sup>2</sup> | $I_n$ , А | $\Gamma_0$ , Ом/км | $X_0$ , Ом/км | $K_0$ , тыс.тен./км |
|-------|---------|------------------|-------------------|-------|-------------|--------------|-------------|---------------|--------------|-------|--------------------|-----------|--------------------|---------------|---------------------|
|       |         |                  |                   |       |             |              |             |               |              |       |                    |           |                    |               |                     |

## Продолжение таблицы 10

| Р,<br>о.е. | $\tau$ ,<br>час | $\Sigma$ ,<br>тен/кВт·ч | РК,<br>тыс.тен/год | $I_{\text{п}}$ ,<br>тыс.тен/год | $\Sigma$ ,<br>тыс.тен/год | $\Delta U$ ,<br>% |
|------------|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------|
|            |                 |                         |                    |                                 |                           |                   |

### Контрольные вопросы

1. Схемы цеховых электрических сетей
2. Расчет и выбор проводов и кабелей для сетей до 1000В методом приведённых затрат. Сущность метода.
3. Расчет и выбор проводов и кабелей для внутривозвонских сетей напряжением 10 кВ методом приведённых затрат.
4. Капиталовложения в воздушные линии 10 кВ. Влияющие факторы.
5. Капиталовложения в кабельные линии до 1000 В. Влияющие факторы.
6. Издержки на эксплуатацию сети.
7. Издержки на возмещение потерь электроэнергии в сети.
8. Удельный ущерб от недоотпуска электроэнергии. Влияющие факторы.
9. Проверка сечений проводов и жил кабелей, выбранных по экономическому критерию, по условиям длительно допустимого нагрева. Понятие длительно допустимого тока. Поправочные коэффициенты.
10. Выбор сечений проводов и жил кабелей в электрических сетях по условиям обеспечения допустимой потери напряжения: сущность метода, основные расчетные выражения для радиальных и магистральных сетей, дополнительные условия, область применения.

## **3.5 Выбор схемы внешнего электроснабжения**

### **3.5.1 Общие указания**

Схема внешнего электроснабжения включает в себя часть системы электроснабжения предприятия начиная с источника питания и заканчивая шинами напряжением 6-10 кВ главной понизительной подстанции (ГПП) или главного пункта распределения электроэнергии на территории предприятия (ГРП). Для предприятий малой и средней мощности, как правило, применяют схемы с одним приемным пунктом ( ГПП или ГРП ). Система внешнего электроснабжения предприятий предусматривает секционирование шин приемных пунктов электроэнергии и питание каждой секции в нормальном режиме по отдельной линии, по каждой из которых передается примерно половина общей нагрузки предприятия.

### **3.5.2 Определение расчетной нагрузки предприятия**

Расчетные нагрузки предприятия уточняются после расчета компенсации реактивной мощности.

Расчетная активная нагрузка предприятия определяется по выражениям

$$P_{p.нр.} = k_0 \cdot (P_{\Sigma.p.ТП} + P_{p.\Sigma 10кВ}) \quad (24)$$

где  $P_{\Sigma.p.ТП}$  – суммарная расчетная активная мощность ТП, кВт;

$P_{p.\Sigma 10кВ}$  – суммарная расчетная активная мощность объектов, имеющих электрооборудование на напряжении 10 кВ;

$k_0$  - коэффициент одновременности,  $k_0=0.9$ .

Реактивная нагрузка предприятия:

$$Q_{p.нр.} = k_0 \cdot (Q_{\Sigma.p.ТП.к} + Q_{p.\Sigma 10кВ}) \quad (25)$$

где  $Q_{\Sigma.p.ТП}$  – суммарная расчетная реактивная мощность ТП после компенсации, кВАр;

$Q_{p.\Sigma 10кВ}$  – суммарная расчетная реактивная мощность объектов, имеющих электрооборудование на напряжении 10 кВ;

$k_0$  - коэффициент одновременности,  $k_0=0.9$ .

Расчетная реактивная нагрузка ТП определяется с учетом установки в них компенсирующих устройств, т.е.

$$Q_{\Sigma РТПк} = (Q_{\Sigma РТП} - Q_{\Sigma КУ0,38})$$

Полная расчетная нагрузка предприятия [1]:

$$S_{p.нр.} = \sqrt{P_{p.нр.}^2 + Q_{p.нр.}^2} \quad (26)$$

Коэффициент мощности электрической нагрузки предприятия в целом определяется по выражению [1]:

$$\cos \varphi = \frac{P_{p.нр.}}{S_{p.нр.}} \quad (27)$$

Значение коэффициента мощности электрической нагрузки предприятия должно находиться в диапазоне 0,93 – 0,97. Если это требование не выполняется, следует предусмотреть компенсацию реактивной мощности для силовой нагрузки 10 кВ (на шинах 10 кВ РП).

### Контрольные вопросы

1. Особенности выбора схемы внешнего электроснабжения предприятия?

2. Задачи и виды проектных работ по перспективному развитию электроснабжения потребителей.
3. Условия выбора трансформаторов подстанций в крупных населенных пунктах. Условия построения электрической сети предприятия.
4. Схемы и конструктивное исполнение ГПП (ГРП)?
5. Особенности определения расчётной нагрузки всего предприятия с учетом потребителей 0,38 и 10 кВ.
6. Условия и характер компенсации реактивной мощности на шинах ГПП (ГРП) низкого напряжения всего предприятия.

### **3.5.3 Обоснование принимаемых значений напряжения внешнего электроснабжения**

Величина напряжения в схеме внешнего электроснабжения предприятия определяется наличием конкретных источников питания, уровнями напряжения в них, расстоянием до источников питания, возможностью сооружения воздушных линий для передачи электроэнергии и другими факторами. Из всех возможных вариантов внешнего электроснабжения нужно выбрать оптимальный, то есть имеющий наилучшие технико-экономические показатели.

В курсовом проекте необходимо сравнить два основных варианта схем внешнего электроснабжения предприятия:

- вариант без трансформации питающей электроэнергии, установка на территории предприятия главного распределительного пункта (ГРП)
- вариант с трансформацией питающей электроэнергии, установка на территории предприятия главной понизительной подстанции (ГПП).

В первом случае напряжение в схеме внешнего электроснабжения будет таким же, что и на стороне выше 1000 В схемы внутреннего электроснабжения, т.е. 10 кВ. Во втором случае напряжение принимается из имеющихся стандартных напряжений (35 или 110 кВ) на источнике питания. Для этого предварительно следует найти величину рационального напряжения (кВ), которую возможно оценить по формуле Стилла [2]:

$$U = 4.34\sqrt{l + 16P} \quad (28)$$

где  $l$  – расстояние передачи электроэнергии, км;  
 $P$  – передаваемая мощность МВт.

По рассчитанному значению рационального напряжения предварительно принимают для сравнения ближайшее к нему стандартное (35 или 110 кВ).

### **3.5.4 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения объекта**

Технико – экономический анализ вариантов схем внешнего электроснабжения заключается в сравнении приведенных расчетных затрат на сооружение ГРП или ГПП с учетом технических и экономических показателей питающей линии электропередачи от источника питания.

Приведенные затраты по варианту [1, 2]

$$Z_i = E_n \cdot K_i + I_{Гi} \quad (29)$$

где  $K_i$  – капиталовложение на строительство по варианту, тен;

$I_{Гi}$  – соответствующие годовые издержки на эксплуатацию, тен/год;

$E_n$  – нормативных коэффициент эффективности капиталовложений, равный 0,12 [1,3,4].

По каждому из сравниваемых вариантов проводятся соответствующие расчеты приведенных расчетных затрат и выбирается вариант с меньшими приведенными затратами (данные в Приложении Е).

Одним из главных технико-экономических показателей сравниваемых вариантов систем электроснабжения являются капитальные (инвестиционные) затраты на их сооружение. Для выявления наиболее экономичного варианта капиталовложений с достаточной степенью точности можно подсчитать их по укрупненным показателям (стоимость ячейки распределительного устройства, подстанции, 1 км электрической линии и т. п.), что значительно упрощает расчеты. Для определения капитальных затрат на ЛЭП, предварительно определяют их сечение по экономической плотности тока [2].

$$F_{\text{эк}} = I_p / j_{\text{эк}} \quad (30)$$

где  $j_{\text{эк}}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>, определяется по ПУЭ РК-2015, таблица 36;

$I_p$  – расчетный ток линии, А, определяемый по выражению [1, 2]:

$$I_p = \frac{S_{P.нр}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (31)$$

где  $n$  – количество питающих ЛЭП рассматриваемого напряжения в схеме.

По вычисленному значению сечения принимают ближайшее стандартное.

Предварительное определение мощности силовых трансформаторов ГПП выполняют по техническим требованиям, т.е. принимают к установке минимально необходимую мощность силового трансформатора позволяющего обеспечить питание всех потребителей I и II категорий с учетом допустимой аварийной перегрузки (40%) [2, 3].

$$S_{HT} = \frac{S_{PIPK}}{K_{AB}} \quad (32)$$

Капитальные затраты на ЛЭП определяют по выражению [5]:

$$K_{ЛЭП} = n \cdot \kappa_o \cdot l \quad (33)$$

где  $n$  – количество питающих ЛЭП рассматриваемого напряжения в схеме;  
 $k_0$  – стоимость 1 км ЛЭП (по каталогам предприятий);  
 $l$  – длина одной ЛЭП.

Капитальные затраты на ГПП (ГРП) определяют по выражению [2, 3]:

$$K_{ПС} = K_{ОРУВН} + 2 \cdot K_{ТР} + K_{ЗРУ-10}, \quad (34)$$

где  $K_{ОРУВН}$  – стоимость открытого распределительного устройства высшего напряжения (ОРУВН) ГПП [1];

$K_{ТР}$  – стоимость силовых трансформаторов ГПП [1];

$K_{ЗРУ-10}$  – стоимость закрытого распределительного устройства (ЗРУ) 10 кВ [1].

Для варианта без трансформации электроэнергии стоимость ГРП равна стоимости ЗРУ-10 кВ.

Общие капитальные затраты для варианта с ГРП [1, 2]:

$$K_1 = K_{ЛЭП} + K_{ГРП} \quad (35)$$

Капитальные затраты для варианта внешнего электроснабжения с ГПП:

$$K_2 = K_{ЛЭП} + K_{ПС} \quad (36)$$

Годовые издержки на эксплуатацию сетей определяются по выражению:

$$I_{ГП} = I_a + I_{об} + I_{пэ} \quad (37)$$

где  $I_a$  – издержки на амортизацию, тен/год;

$I_{об}$  – издержки на обслуживание, тен/год;

$I_{пэ}$  – издержки на потери эл. энергии, тен/год.

Годовые эксплуатационные издержки для электроустановок включают три основных составляющих:

– амортизационные отчисления от стоимости, предназначенные для полного восстановления и капитальных ремонтов электроустановки;

– затраты на обслуживание электроустановки, включающие в себя заработную плату персонала, расходы на текущие ремонты и испытания оборудования, стоимость электроэнергии, топлива и других видов энергии;

– издержки на потери электрической энергии в электрических сетях.

Издержки на амортизацию определяют по выражению [1, 2, 3]:

$$I_a = \frac{P_a}{100} \cdot K, \quad (38)$$

где  $P_a$  – нормативные годовые амортизационные отчисления (Приложение Е, таблица 4.Е), %;

$K$  – стоимость капитальных вложений, тенге.

Нормативные амортизационные отчисления для некоторых электроустановок приведены в [3].

Годовые затраты на обслуживание электроустановок могут определяться так же как и амортизационные отчисления [1, 2, 3].

$$I_{об} = \frac{P_{об}}{100} \cdot K \quad (39)$$

где  $P_{об}$  – нормативные годовые отчисления от стоимости на обслуживание, % (приведены в [3] и Приложение Е, таблица 4.Е).

Издержки на потери электрической энергии в электрических сетях определяются по выражению [1, 2, 3]:

$$I_{п.э.} = \Delta W \cdot Ц_э \quad (40)$$

где  $\Delta W$  - количество теряемой в электрических сетях электроэнергии, кВт · ч.

$Ц_э$  – стоимость потерь электроэнергии, тенге./кВт · ч.

Стоимость потерь электроэнергии в электрических сетях потребителей принимают равной тарифу на электроэнергию.

Количество теряемой в электрических сетях электроэнергии можно определить, суммируя потери энергии в линиях и трансформаторах [1, 2, 3]

$$\Delta W = \Delta W_{л} + \Delta W_{т} \quad (41)$$

Потери электроэнергии в линиях [1, 2, 3]:

$$\Delta W_{л} = n \cdot 3 I^2 \cdot r_{0i} \cdot L \cdot \tau \cdot 10^{-3} \quad (42)$$

где  $n$  – количество линий;

$I$  – расчетный ток линии, А;

$r_{0i}$  – удельное сопротивление линии, Ом/км;

$\tau$  - время максимальных потерь электроэнергии, ч (Приложение Е, рисунок 1Е) ;

$L$  – длина линии, км.

Потери электроэнергии в трансформаторах [1, 2, 3]:

$$\Delta W_{т} = P_x T_B + kз^2 \cdot P_k \tau \quad (43)$$

где  $P_x$ ,  $P_k$  – номинальные потери мощностей холостого хода и короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

$k_3$  - коэффициент загрузки элементов электрической сети, кВт ( $k_3 = S_p/S_{НОМ}$ );

$T_v, \tau$  - время включения электрооборудования и максимальных потерь электроэнергии, час (Приложение Е, таблица 3Е и рисунок 1Е).

Сравнивая приведенные затраты по рассматриваемым вариантам, выбирают оптимальный из них (имеющий минимальные приведенные затраты).

### Контрольные вопросы

1. Выбор месторасположения ГПП (ГРП). Выбор рационального напряжения системы внешнего электроснабжения предприятия.

2. Выбор количества и мощности силовых трансформаторов; нагрузочная способность трансформаторов.

3. Виды распределительных устройств высшего и низшего напряжения, их схемы и область применения.

4. Эмпирические выражения для оценки номинального напряжения.

5. Технико-экономический метод сравнения и выбора типа приема и распределения электроэнергии по территории проектируемого предприятия – ГПП или ГРП.

### **3.5.5 Выбор оптимальной мощности трансформаторов ГПП**

Трансформаторы ГПП являются важнейшим звеном системы электроснабжения, так как рассматриваются в качестве основных источников питания потребителей всего предприятия. Для выбора трансформаторов необходимо знать уровни напряжения внешнего электроснабжения и внутривозовских сетей.

Число трансформаторов на ГПП определяется требованиями надежности электроснабжения. Мощность трансформаторов ГПП определяется с учетом допустимой перегрузочной способности в аварийном режиме и необходимостью резервирования, перспективой развития, а также по величине коэффициента экономической загрузки. При выборе номинальной мощности трансформаторов ГПП учитывается его способность к систематичным перегрузкам, так чтобы один трансформатор мог обеспечить работу в аварийном режиме с допустимой длительной перегрузкой на 40 % в течении не более пяти суток (по ПУЭ РК), каждые сутки по шести часов, исходя из нормальной загрузки на 70 %.

Выбор оптимальной мощности трансформаторов ГПП производится по той же методике, что и для выбора трансформаторов цеховых ТП (см. раздел 2.4.6). Данные к расчету приведены в Приложении Е, таблицы 7.Е и 8.Е.

Расчет сводится в таблицу 3.11.

Таблица 3.11 – Выбор мощности трансформаторов ГПП

| $S_p$ ,<br>кВА | $S_{нт}$ ,<br>кВА | $K$ , тыс.<br>тенге | $P_x$ ,<br>кВт | $P_k$ ,<br>кВт | $K_3$ | $\tau$ ,<br>час | $\Sigma$ ,<br>тен/кВт·<br>ч | $P$ ,<br>о.е. | $pK$ ,<br>тыс.тен<br>/год | $I_{пз}$ ,<br>тыс.тен/<br>год | $Z$ ,<br>тыс.тен/<br>год |
|----------------|-------------------|---------------------|----------------|----------------|-------|-----------------|-----------------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|                |                   |                     |                |                |       |                 |                             |               |                           |                               |                          |

### 3.5.6 Выбор сечения питающей линии электропередачи

Передача электроэнергии от источника питания до ГПП проектируемого предприятия осуществляется воздушными линиями. Сечение и марку выбирают по техническим и экономическим условиям.

К техническим условиям относят выбор сечения по нагреву расчетным током, условиям коронирования при напряжении сети выше 110 кВ, механической прочности, нагреву от кратковременного выделения тепла током  $K_3$ , потерям напряжения в нормальном и послеаварийном режимах.

Экономические условия выбора заключаются в определении сечения линии, приведенные затраты на сооружение которой будут минимальными.

Нахождение экономически целесообразного сечения питающих линий электропередачи в схеме внешнего электроснабжения выполняется по тому же методу минимума приведенных затрат, что и для кабельных линий 0,38 и 10 кВ (см. раздел 3.4.7).

Расчет провести для нескольких сечений проектируемой воздушной линии электропередачи, начиная с минимально допустимого сечения для расчетного напряжения сети.

Результаты расчета сводятся в таблицу 3.12.

Таблица 3.12 – Выбор сечения питающих линий

| $P_p$ ,<br>кВт | $Q_p$ ,<br>кВАр | $S_p$ ,<br>кВА | $I_{раб}$ ,<br>А | $I_{ав}$ ,<br>А | $L$ ,<br>км | $F$ ,<br>мм <sup>2</sup> | $I_{п}$ ,<br>А | $r_0$ ,<br>Ом/км | $X_0$ ,<br>Ом/<br>км | $K_0$ ,<br>тыс.тен.<br>/км | $P$ ,<br>о.е. | $\tau$ ,<br>час | $\Sigma$ ,<br>тен/<br>кВт·<br>ч | $PK$ ,<br>тыс.т<br>с.т<br>ен/<br>год | $I_{пз}$ ,<br>тыс.т<br>ен/го<br>д | $Z$ ,<br>тыс.т<br>ен/го<br>д | $\Delta U$<br>, % |
|----------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|-------------|--------------------------|----------------|------------------|----------------------|----------------------------|---------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------|
|                |                 |                |                  |                 |             |                          |                |                  |                      |                            |               |                 |                                 |                                      |                                   |                              |                   |

### Контрольные вопросы

1. Условия оптимального определения номинальной мощности трансформаторов ГПП
2. Напишите формулу определения приведенных затрат.
3. Напишите формулу определения срока окупаемости.
4. Как учитываются при сравнении вариантов различные величины потерь энергии по вариантам?

5. Как определяются капиталовложения по вариантам?
6. Как определяются ежегодные издержки?
7. Учет ограничений при прокладке трасс внешних сетей.
8. Задача построения сети рациональной конфигурации Принципы построения внешней сети линии электропередачи. Расположение и число точек питания в сети.

### **3.6 Расчет токов короткого замыкания (к.з.)**

При эксплуатации электрических сетей, объектов электроснабжения и электроустановок в них часто возникают короткие замыкания, являющиеся одной из основных причин нарушения нормального режима работы электроустановок

Коротким замыканием называют замыкание, при котором токи в ветвях электроустановки резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток нормального режима. Замыкание – это всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальными условиями работы, соединение двух точек электрической цепи непосредственно или через малое переходное сопротивление (дуга). Причинами короткого замыкания являются механические повреждения изоляции, ее пробой из-за перенапряжения и старения, обрывы, набросы, схлестывания проводов воздушных линий, ошибочные действия персонала и т.п. Вследствие короткого замыкания в цепях возникают опасные для элементов сети токи, ведущие к отказу электрооборудования или аварии, а также к сбоям работы энергосистем. Потому для обеспечения надежной работы электрической сети, электрооборудования, устройств релейной защиты необходимо производить расчет токов короткого замыкания.

В курсовом проекте токи к.з. предлагается определять одним из двух методов:

- а) относительных единиц (токи 3-х и 2-х фазного к.з в расчетных точках схемы, заканчивая шинами 0,4 кВ цеховых ТП);
- б) именованных единиц (токи 1-но фазного к.з. в конце проектируемых линий 0,38 кВ).

#### **3.6.1 Расчет токов к.з на напряжении выше 1000 В**

При расчете методом относительных единиц за базисные величины (обычно их обозначают буквами со звездочкой) принимают базисную мощность и базисное напряжение. Исходя из удобства вычислений, обычно за базисную мощность принимают значения кратные 10 МВА. Расчет токов короткого замыкания выполняется на основании расчетной схемы системы электроснабжения, в которой должны быть учтены сопротивления всех элементов системы электроснабжения, влияющие на величину токов к.з. сопротивлениями и указаны расчетные точки, в которых определяются токи к.з. На основании расчетной схемы электроснабжения составляется эквивалентная схема замещения, в которой все элементы системы электроснабжения

представлены активными и реактивными сопротивлениями. Расчетная схема электроснабжения и эквивалентная схема замещения должны быть представлены в пояснительной записке. Примеры расчетной и эквивалентной схем приведены на рисунках 3.1 и 3.2.

Базисные напряжения для схемы замещения принимают для каждой ступени напряжения равные средне номинальному значению напряжения соответствующей ступени из следующего ряда: 0,4; 6,3; 10,5; 37,5; 115; 231 кВ.

Базисные токи на всех ступенях напряжения определяются по выражению [1, 2]:

$$I_{\text{бi}} = \frac{S_{\text{бi}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{бi}}}, \text{ кА} \quad (44)$$

Реактивное сопротивление системы определяется по выражению [1, 2]:

$$X_{\text{с*}} = \frac{I_{\text{б.}}}{I_{\text{кш}}^{(3)}} \quad (45)$$

где  $I_{\text{кш}}^{(3)}$  - ток трехфазного короткого замыкания на шинах высшего напряжения ГПП (ГРП);

$I_{\text{б.}}$  - базисный расчетный ток высшей ступени напряжения системы электроснабжения предприятия.

Последовательно, от источника питания до цеховых ГП, согласно схеме замещения, определяются активные и реактивные сопротивления всех элементов расчетной схемы.

Исходные данные по параметрам элементов проектируемой электрической сети заданы в Приложении Е, таблицах 6.Е, 7.Е, 8.Е и 12.Е, настоящего учебного пособия.

Для трансформатора ГПП определяется реактивное сопротивление  $x_{\text{T1}}$

$$x_{\text{T*}} = \frac{U_{\text{k}} \% \cdot S_{\text{б}}}{100 \cdot S_{\text{HT}}} \quad (46)$$

где  $U_{\text{k}}$  – напряжение короткого замыкания силового трансформатора, %;

$S_{\text{б}}$  – базисная мощность,

$S_{\text{HT}}$  – номинальная мощность трансформатора.

Активное сопротивление питающей линии:

$$r_{\text{лл}}^* = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{б}}^2} \quad (47)$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление провода (кабеля), Ом/км;

$l$  – длина линии, км;

$U_{\text{б}}$  – базисное напряжение первой ступени.

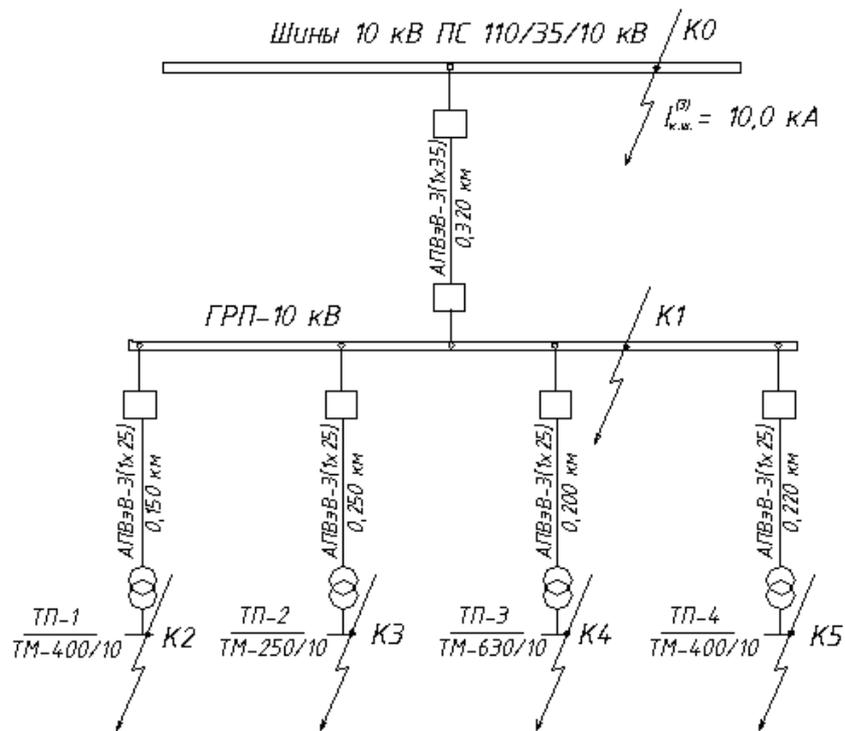


Рисунок 3.1- Расчетная схема для определения токов короткого замыкания (пример).

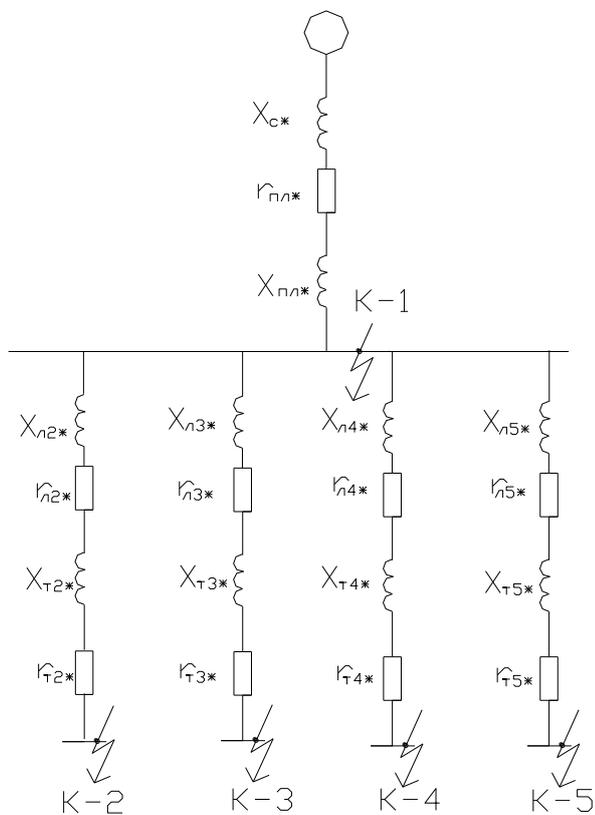


Рисунок 3.2-Эквивалентная схема замещения для расчета токов к.з.

Реактивное сопротивление питающей линии [1, 2]:

$$x_{пл}^* = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \quad (48)$$

где  $x_0$  – удельное реактивное сопротивление провода (кабеля), Ом/км.

Результаты расчетов сопротивлений ЛЭП сводят в таблицу 3.13.

Таблица 3.13 – Расчет сопротивлений ЛЭП

| Линия | $U_{\delta}$ , кВ | L, км | $r_0$ , Ом/км | $x_0$ , Ом/км | $X_{л*}$ , Ом | $r_{л*}$ , Ом |
|-------|-------------------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|       |                   |       |               |               |               |               |

Определение сопротивлений трансформаторов цеховых ТП.

Полное сопротивление ТП определяется по выражению [1, 2]:

$$z_{ТП*} = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{н.т.}}, \quad (49)$$

где  $U_{к\%}$  – напряжение короткого замыкания,

$S_{н.т.}$  – ном. мощность трансформатора, МВА.

Активное сопротивление ТП определяется по выражению [1, 2]:

$$r_{ТП*} = \frac{P_k \cdot S_{\delta}}{S_{н.т.}^2}, \quad (50)$$

где  $P_k$  – потери короткого замыкания, МВт.

Реактивное сопротивление ТП определяем по выражению [1, 2, 3]:

$$x_{ТП*} = \sqrt{z_{ТП*}^2 - r_{ТП*}^2} \quad (51)$$

Результаты расчетов сопротивлений трансформаторов сводят в таблицу 3.14

Таблица 3.14 – Расчет сопротивлений ТП

| № ТП | $P_k$ , кВт | $P_x$ , кВт | $U_k$ , % | $S_{н.т.}$ , кВА | $R_{тр}$ , Ом | $Z_{тр}$ , Ом | $X_{тр}$ , Ом |
|------|-------------|-------------|-----------|------------------|---------------|---------------|---------------|
|      |             |             |           |                  |               |               |               |

После определения сопротивлений элементов сети определяются результирующие сопротивления до точек КЗ на схеме замещения по формуле [1-4]:

$$Z_{рез\Sigma^*} = \sqrt{(\sum r_{рез*})^2 + (\sum x_{рез*})^2} \quad (46)$$

где  $\sum r_{рез}$ ,  $\sum x_{рез}$ , – результирующие активное и реактивное сопротивления до каждой расчетной точки КЗ по схеме замещения.

Рассчитав результирующие сопротивления элементов сети до точек КЗ, определяют установившиеся значения трехфазного тока короткого замыкания в расчетных точках КЗ по схеме замещения, по формуле [1-4]:

$$I_{к.і}^{(3)} = \frac{I_{б.і}}{Z_{рез.і*}} \quad (52)$$

Установившееся значение двухфазного тока короткого замыкания в расчетной схеме (металлическое замыкание) [1-4]:

$$I_{к.і}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{к.і}^{(3)}}{2} \quad (53)$$

Мгновенные значения ударного тока в расчетных точках схемы замещения:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{к}^{(3)} \quad (54)$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент, находится по справочным данным в зависимости от отношения  $x/r$  (Приложение Е, рисунок 2.Е)

Действующие значения ударного тока в точках КЗ в расчетной схеме замещения [1, 2, 4]:

$$I_y = I_{к}^{(3)} \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2} \quad (55)$$

где  $I_{к}^{(3)}$  - периодическая составляющая тока к.з., кА;

Расчет значений токов короткого замыкания для удобства рассмотрения и анализа сводят в таблицу 3.15.

Таблица 3.15 – Расчет токов к.з.

| Точка к.з. | U <sub>б</sub> , кВ | I <sub>б</sub> ,кА | x <sub>p*</sub> , Ом | r <sub>p*</sub> , Ом | Z <sub>p*</sub> , Ом | I <sub>к</sub> <sup>3</sup> , кА | I <sub>к</sub> <sup>2</sup> , кА | K <sub>y</sub> | I <sub>y</sub> , кА | S, МВА | X/R |
|------------|---------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|---------------------|--------|-----|
|            |                     |                    |                      |                      |                      |                                  |                                  |                |                     |        |     |

### 3.6.2 Расчет токов к.з. на напряжении 0,38 кВ

Для линий напряжением 0,38 кВ требуется определить минимальное значение однофазного тока короткого замыкания (в конце линий), которое определяется методом именованных единиц по выражению [1- 4]:

$$I_{K3,i}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_T + Z_{п\text{"ф-о"}}}, \text{кА} \quad (.56)$$

где  $Z_T$  – сопротивление трансформатора при 1-но фазных к. з.

$Z_{п\text{ ф-о}}$  – сопротивление петли “фаза-ноль” кабеля 0,38 кВ (Приложение, таблица 9Е)

$Z_T$  и  $Z_{п\text{ ф-о}}$  принимается по справочным данным [1,3,4].

Результаты расчета однофазных токов к.з. сводят в таблицу 3.16.

Таблица 3.16 – Результаты расчета однофазных токов к.з.

| Линия | Тип трансформатора | $Z_{то}, \text{Ом}$ | Сечение кабеля, $\text{мм}^2$ | Длина, км | $Z_{л.уд.}, \text{ом/км}$ | $Z_{л}, \text{ом}$ | $Z_{то} + Z_{л}, \text{ом}$ | $I_{к}^1, \text{А}$ |
|-------|--------------------|---------------------|-------------------------------|-----------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|
|       |                    |                     |                               |           |                           |                    |                             |                     |

### Контрольные вопросы

1. Каковы причины возникновения КЗ в электроустановках?
2. Какие виды КЗ возможны в сетях с эффективно заземленными и незаземленными нейтралью?
3. Каковы преимущества и недостатки сетей с изолированными, компенсированными, эффективно заземленными и глухо заземленными нейтралью?
4. Для какой цели определяют ток КЗ в сети напряжением 0,38 кВ?
5. Характеристика метода расчёта токов КЗ с помощью относительных (базисных) величин.
6. В каких случаях удобнее рассчитывать токи методом именованных единиц?
7. При каких условиях при расчете токов КЗ в сети напряжением 0,38 кВ можно пренебречь сопротивлением системы и питающих линий напряжением 35 и 10 кВ?
8. Дайте определение ударного тока КЗ.
9. Почему при вычислении тока КЗ в сети напряжением 0,38 кВ нужно обязательно учитывать активное сопротивление?
10. Почему сети 110 кВ и выше работают с эффективно заземленной нейтралью?
11. Сети какого напряжения работают с изолированной нейтралью?
12. В сетях какого напряжения применяется компенсированная нейтраль?

13. Какой величины достигает ток однофазного замыкания на землю в сетях с изолированными нейтральными?

14. Для чего определяется однофазный ток КЗ в сети напряжением 0,38 кВ?

### 3.7 Выбор электрооборудования и его проверка по работе в режиме к.з.

Все элементы распределительного устройства проектируемого ГРП (ГПП) предприятия должны надёжно работать в условиях длительных нормальных режимов, а также обладать термической и динамической стойкостью при возникновении самых тяжелых коротких замыканий. Поэтому при выборе аппаратов, шин, кабелей и других элементов РУ очень важна проверка соответствия их параметров длительным рабочим и аварийным кратковременным режимам, возникающим в эксплуатации. Кроме этого, следует учитывать внешние условия работы РУ (влажность, загрязнённость воздуха, окружающую температуру и т.д.), так как эти условия могут потребовать оборудования специального исполнения повышенной надёжности [2,3].

#### 3.7.1 Выбор электрических аппаратов

Электрические аппараты должны удовлетворять следующим требованиям:

Изоляция аппаратов соответствует номинальному напряжению установки [1, 2,7-11].

$$U_{\text{ном.ап.}} \geq U_{\text{ном.уст.}} \quad (57)$$

Рабочий ток присоединения в максимальном режиме не превышает номинальный ток аппарата [1, 2,7-11].

$$I_{\text{раб.уст.}} \leq I_{\text{ном.ап.}} \quad (58)$$

Аппарат противостоит электродинамическому действию тока к.з. [1, 2,7-11]

$$i_{\text{уд.уст.}} \leq i_{\text{нс.с}} \quad (59)$$

где  $i_{\text{уд.уст.}}$  – ударный ток к.з. в цепи, где установлен аппарат, кА;

$i_{\text{нс.с.}}$  – номинальный ток электродинамической стойкости аппарата, кА.

При коротких замыканиях температура токоведущих частей не превышает предельно допустимые значения [1, 2,7-11].

$$B_K \leq I_{\text{пр.т}} \cdot t_{\phi} \quad (60)$$

где  $B_K$  – тепловой импульс к.з.,  $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$ ;

$$B_K = (I_K)^2 \cdot t_{\phi} \quad (62)$$

$t_{\phi}$  – время от начала к.з. до его отключения;

$I_{пр.т.}$  – предельный ток термической стойкости аппарата.

Предельно отключаемый ток выключателей должен быть больше максимального тока к.з. в месте его установки. [1, 2]

$$I_{пр.отк.} \geq I_K^{(3)} \quad (63)$$

Допустимая предельная мощность выключателя должна быть больше мощности к.з. в месте его установки [1, 2].

$$S_{пр.отк.} \geq S_K \quad (64)$$

$$S_{к.з.} = \sqrt{3} \cdot U_{ном.} \cdot I_K^{(3)} \quad (65)$$

Выбор силовых выключателей напряжением выше 1000 В в схеме электроснабжения сводят в таблицу 3.17

Таблица 3.17 – Выбор силовых выключателей напряжением выше 1000 В

| Расчетн. параметры | $I_n$ , А | $i_y$ , кА | $I_k^2 \cdot t_{пр}$ , кА <sup>2</sup> ·с | $S_k$ , МВА | Параметры выключателя | $I_n$ , А | $i_y$ , кА | $I_k^2 \cdot t$ , кА <sup>2</sup> ·с | $S_{от}$ , МВА |
|--------------------|-----------|------------|---|-------------|-----------------------|-----------|------------|--------------------------------------|----------------|
|                    |           |            |   |             |                       |           |            |                                      |                |

### 3.7.2 Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения

#### 3.7.2.1 Трансформаторы тока

Условие выбора трансформаторов тока [1, 2,7-11]:

$$а) U_{ном.Т.Т.} \geq U_{ном.сети} \quad (66)$$

$$б) I_{ном.} \geq I_{раб.мах.} \quad (67)$$

$$в) k_{дин.} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном.} \geq i_{уд.} \quad (68)$$

$$г) (k_T \cdot I_{ном.})^2 \cdot t_T \geq B_k \quad (69)$$

$$д) z_{2ном.} \geq z_2 \quad (70)$$

Для выбора конкретной марки необходимо использовать данные приложения таблиц 14.Е-16.Е. Выбор трансформаторов тока на напряжением выше 1000 В в схеме электроснабжения сводим в таблицу 3.18

Таблица 3.18 – Выбор трансформаторов тока U=10кВ

| Расч. пар | $I_n, A$ | $i_y, kA$ | $I_k^2 \cdot t_{пр}, kA^2 \cdot c$ | $S_n, MVA$ | пар тран | $I_n, A$ | $K_d$ | $i_y, kA$ | $K_T$ | $I_{тс}^2 \cdot t, kA^2 \cdot c$ | $S_{вт}, MVA$ |
|-----------|----------|-----------|------------------------------------|------------|----------|----------|-------|-----------|-------|----------------------------------|---------------|
| W1        |          |           |                                    |            |          |          |       |           |       |                                  |               |

### 3.7.2.2 Трансформаторы напряжения

Условие выбора трансформаторов напряжения [1, 2,7-11]:

$$a) U_{ном.Т.Н.} \geq U_{ном.сети} \quad (71)$$

$$б) S_{2ном.Т.Н.} \geq S_2 \quad (72)$$

где  $S_2$  – вторичная нагрузка трансформатора напряжения.

Для выбора конкретной марки измерительного трансформатора напряжения использовать данные приложения таблиц 13.Е.

### 3.7.3 Выбор и проверка шин

Сечение сборных шин выбирают по условию нагрева  $I_{раб.мах.} \leq I_{дл.доп.шин}$  и проверяют по термической и механической прочности.

Условие термической стойкости шин [1, 2,7-11]:

$$(F \cdot C)^2 \geq (I_K^{(3)})^2 \cdot t_\phi = B_K \quad (73)$$

где  $F$  – сечение сборных шин,  $мм^2$ ;

$C$  – коэффициент, значение которого для алюминиевых проводников равно 91.

Условие механической стойкости шин [1, 2,7-11]:

$$\sigma_{доп.} \geq \sigma_{расч.} \quad (74)$$

где  $\sigma_{доп.}$  – допустимое механическое напряжение для шин (для алюминиевых шин марки АД31Т  $\sigma_{доп.} = 137 МПа$ ), [1, 2,7-11]

$$\sigma_{расч.} = \frac{M}{10 \cdot W} \quad (75)$$

где  $M$  – момент нагрузки,  $H \cdot м$ .

$$M = 1,76 \cdot i_y^2 \cdot \frac{l^2}{a} \cdot 10^{-7} \quad (76)$$

где  $l$  – длина шины, между точками опоры,  $м$ ;

$a$  – расстояние между шинами, м;  
( Обычно для шин 10 кВ  $l = 2$  м;  $a = 0,30$  м.)  
 $W$ - момент сопротивления шины, м<sup>3</sup>;

$$W = \frac{v \cdot h^2}{6} \quad (77)$$

где  $v$  – ширина шины, м;  
 $h$  – толщина шины, м.

### 3.7.4 Выбор опорных изоляторов

Условия проверки изоляторов на соответствие параметрам сети.

а) по напряжению

$$U_H \geq U_C$$

б) по механической прочности [1, 2,7-11]

$$F_{доп.} \geq F_{расч.}$$
$$F_{расч.} = 1,76 \cdot (i_y)^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7} \quad (78)$$

### 3.7.5 Выбор трансформаторов собственных нужд

Состав потребителей собственных нужд (с. н.) электрических подстанций (или ГРП) зависит от типа подстанции и электрооборудования, мощности трансформаторов ГПП.

Наиболее ответственными потребителями собственных нужд ГПП (ГРП) являются система связи, телемеханика, освещение, вентиляция, электрообогрев и системы охлаждения трансформаторов, электроприводы выключателей, аккумуляторный сектор и т.п.

Мощность трансформаторов собственных нужд выбирается по нагрузкам с. н. с учётом коэффициентов загрузки и одновременности, при этом отдельно учитываются летняя и зимняя нагрузки, а также нагрузка в период ремонтных работ на подстанции.

Два трансформатора с. н. устанавливаются на всех двухтрансформаторных подстанциях 35 кВ и выше. Предельная мощность каждого трансформатора собственных нужд должна быть не более 630 кВ А

Ориентировочно можно принять нагрузку с. н. тупиковой ГПП (ГРП) по схеме без выключателей на стороне высокого напряжения 63—160 кВ А, транзитной подстанции 160—250 кВ А, узловой 400—630 кВА.

### 3.7.6 Проверка сечений кабелей по термической стойкости к токам к.з.

Для выбора термически устойчивого к токам к.з. сечения жил кабелей необходимо иметь значения установившегося тока к.з. и возможное время прохождения этого тока через кабель.

Определение сечения по термической стойкости выполняется по выражению [1, 2,7-11]:

$$S_T = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \quad (79)$$

где  $B_k$  – тепловой импульс тока к.з. (определяется по РД 153-34.0-20.527-98);

$C$  – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника. Его рекомендуемые значения: - кабели до 10 кВ с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами = 90; - кабели и провода с полиэтиленовой изоляцией, алюминиевыми жилами = 65.

### 3.7.7 Выбор автоматических выключателей напряжением 0,38 кВ

Выбор автоматических выключателей для защиты сети напряжением до 1000В, определяется электрическими характеристиками электроустановки, условиями ее эксплуатации, электрическими нагрузками и необходимостью дистанционного управления.

Основными показателями на которые ссылаются при выборе автоматов являются [1, 2, 7-11]:

- количество полюсов;
- номинальное напряжение;
- номинальный рабочий ток;
- отключающая способность (токи короткого замыкания).

а) по напряжению [1, 2, 7-11], В::

$$U_{авт.} \geq U_{сети}$$

б) по номинальному току [1, 2, 7-11], А:

$$I_{н.авт.} \geq I_{р.мах.}$$

в) по номинальному току теплового расцепителя [1, 2,7-11], А:

$$I_{н.р.} \geq k_H \cdot I_{р.мах.}$$

где  $k_H$  – коэффициент надежности,  $k_H = 1,1 \dots 1,3$ ;

г) по предельно отключаемому току, А:

$$I_{пр.от.авт.} \geq I_k^{(3)}$$

д) по условию отключения однофазных к.з. [1, 2,7-11]

$$\frac{I_k^{(1)}}{I_{н.р.авт.}} \geq 3. \quad (80)$$

Данные выбора автоматов сводят в таблицу 3.19.

Таблица 3.19 – Результаты выбора автоматических выключателей

| Линия | Данные сети   |            |              | Данные выключателя |               |               |                  |                       |
|-------|---------------|------------|--------------|--------------------|---------------|---------------|------------------|-----------------------|
|       | $I_p$ макс, А | $I_k$ , кА | $I_k$ мин, А | Тип, марка         | $I_{ном}$ , А | $I_n$ расц, А | $I_{пр}$ откл, А | $I_k \setminus I_n$ р |
|       |               |            |              |                    |               |               |                  |                       |

### Контрольные вопросы

1. Главные понизительные подстанции (ГПП): назначение, основные требования, конструктивное исполнение, принципиальные электрические схемы.
2. Главный распределительный пункт (ГРП): назначение, основные требования, конструктивное исполнение, принципиальные электрические схемы.
3. Основное электрооборудование главной понизительной подстанции предприятия (показать на принципиальной схеме места установки).
4. Выключатели высокого напряжения: назначение, конструктивное исполнение, основные технические характеристики, условия выбора
5. Разъединители, отделители короткозамыкатели: назначение, конструктивное исполнение, основные технические характеристики, условия выбора
6. Измерительные трансформаторы тока и напряжения: назначение, конструктивное исполнение, основные технические характеристики, условия выбора
7. Разрядники, ограничители перенапряжения: назначение, конструктивное исполнение, основные технические характеристики, условия выбора.
8. Характерные схемы распределительных устройств в сетях напряжением 0,4 кВ.
9. Аппараты защиты цеховых электрических сетей: назначение, область применения, достоинства и недостатки.
10. Автоматические воздушные выключатели: назначение, конструктивное исполнение, основные технические характеристики, условия выбора.

### **3.8 Проектирование молниезащиты и заземления**

Для защиты здания, сооружений, коммуникаций и людей от опасного воздействия ударов молнии выполняют устройства молниезащиты.

Защита от прямых ударов молнии осуществляется молниеотводами, воспринимающими удар молнии и отводящими его в землю. Для защиты от вторичных воздействий молнии выполняют соединение всех металлических конструкций и корпусов оборудования и аппаратов, находящихся в защищаемом здании, и присоединение их к заземляющему устройству электроустановок или к железобетонному фундаменту здания, а также ряд других мероприятий.

Молниезащита зданий и сооружений выполняется в соответствии с требованиями. Для защиты здания, сооружений, коммуникаций и людей от опасного воздействия ударов молнии выполняют устройства молниезащиты.

Защита от прямых ударов молнии осуществляется молниеотводами, воспринимающими удар молнии и отводящими его в землю. Для защиты от вторичных воздействий молнии выполняют соединение всех металлических конструкций и корпусов оборудования и аппаратов, находящихся в защищаемом здании, и присоединение их к заземляющему устройству электроустановок или к железобетонному фундаменту здания, а также ряд других мероприятий.

Молниезащита зданий и сооружений выполняется в соответствии с требованиями СН РК 2.04-29-2005, Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений, и, ведомственными нормативными документами и утвержденного рабочего проекта.

Выбор и размещение производят так, чтобы иметь возможность максимально использовать проводящие элементы защищаемого объекта при максимальной эффективности молниезащиты.

Внешняя молниезащитная система, в общем случае, состоит из молниеприемников, токоотводов и заземлителей.

Молниеприемники могут быть выполнены из произвольной комбинации стержней; проводов (тросов) натянутых над сооружением; проводников выполненных в виде сеток. Такие молниеприемники называются искусственными. Если функции молниеприемника выполняют конструктивные элементы защищаемого объекта, то они называются естественными молниеприемниками.

Молниеприемники могут быть изолированы от сооружения (отдельно стоящие молниеприемники, стержневые или тросовые, а также соседние сооружения, выполняющие функции естественных молниеотводов), или могут быть установлены на защищаемом сооружении и даже быть его частью.

**Токоотводы** это металлические проводники, которые служат для соединения молниеприемников с заземлителем.

**Заземлители** обеспечивают растекание токов молнии в земле. Заземлители устройств молниезащиты во всех случаях, за исключением использования отдельно стоящего молниеотвода, совмещаются с заземлителями электроустановок или средств связи. Если эти заземлители разделяются по каким-либо технологическим соображениям, их следует объединить в общую систему с помощью системы уравнивания потенциалов

Исходные данные для проектирования молниезащиты объектов составляются заказчиком с привлечением при необходимости проектной организации. Они должны включать:

- генеральный план объектов с указанием расположения всех объектов, подлежащих молниезащите, автомобильных и железных дорог, наземных и подземных коммуникаций (теплотрасс, технологических и сантехнических трубопроводов, электрических кабелей и проводок любого назначения и т.п.);
- уровень надежности молниезащиты каждого объекта;
- данные о климатических условиях в районе размещения защитных устройств и сооружений (интенсивности грозовой деятельности, скоростном напоре ветра, толщине стенки гололеда и т. п.), характеристику грунта с указанием структуры, агрессивности и рода почвы, уровня грунтовых вод;
- удельное электрическое сопротивление грунта ( $\text{Ом}\cdot\text{м}$ ) в местах расположения объектов.

Основной задачей проектирования устройств молниезащиты является определение требуемого уровня надежности; а также выбор и размещение элементов устройств молниезащиты. Выбор и размещение элементов устройств молниезащиты производят так, чтобы иметь возможность максимально использовать проводящие элементы проектируемого объекта. Это позволит улучшить внешний вид объекта, повысить эффективность молниезащиты. При разработке технической документации необходимо максимально использовать типовые конструкции молниеотводов и заземлителей.

На основании принятых решений определяются зоны защиты молниеотвода. Зона защиты молниеотвода — пространство внутри которого объект защищен от прямых ударов молнии с надежностью не ниже определенного уровня. Для определения зоны защиты необходимо произвести расчеты.

Существуют методики расчетов зон защиты молниеотводов с различными типами молниеприемников: отдельно стоящего со стержневым молниеприемником, одиночного тросового, двойного стержневого (со стержневым молниеприемником), двойного тросового, замкнутого тросового.

Рекомендуется применять упрощенные методы определения зон защиты для объектов высотой до 60 м: метод защитного угла, метод фиктивной сферы и способ защиты с применением молниеприемника в виде защитной сетки.

При проектировании способ защиты и метод расчета выбирается по рекомендациям приведенным в таблице 20. Практика проектирования показывает целесообразность использования определенных методов расчета в следующих случаях:

- метод защитного угла используется для простых по форме сооружений или для малых частей больших сооружений;
- способ защиты с применением молниеприемника в виде защитной сетки и соответствующий метод расчета целесообразно применять в общем случае и особенно для защиты поверхностей;
- метод фиктивной сферы — для сооружений сложной формы.

В таблице 3.20 приводятся значения углов при вершине зоны защиты, радиусы фиктивной сферы, а также предельно допустимый шаг ячейки сетки для уровней защиты 1-IV.

Таблица 3.20 – Параметры для расчета молниеприемников

| Уровень защиты | Радиус фиктивной сферы R, м | Угол $\alpha$ при вершине молниеотвода для зданий различной высоты h, м |    |    |    | Шаг ячейки сетки, м |
|----------------|-----------------------------|---|----|----|----|---------------------|
|                |                             | 20  | 30 | 45 | 60 |                     |
| I              | 20                          | 25  | *  | *  | *  | 5                   |
| II             | 30                          | 35  | 25 | *  | *  | 10                  |
| III            | 45                          | 45  | 35 | 25 | *  |                     |
| IV             | 60                          | 55  | 45 | 35 | 25 | 20                  |

\*В этих случаях применимы только сетки или фиктивные сферы.

При использовании метода защитного угла, стержневые молниеприемники, мачты и тросы размещаются так, чтобы все части защищаемого сооружения, находились в зоне защиты, образованной под углом  $\alpha$  к вертикали. Защитный угол выбирается по таблице 4, причем h является высотой молниеотвода над поверхностью, которая будет защищена.

Метод защитного угла не используется, если h больше, чем радиус фиктивной сферы, определенный в таблице 20 для соответствующего уровня защиты.

Метод фиктивной сферы используется, чтобы определить зону защиты для части или областей сооружения, когда согласно таблицы 4 исключено определение зоны защиты по защитному углу. Объект считается защищенным, если фиктивная сфера, касаясь поверхности молниеотвода и плоскости, на которой тот установлен, не имеет общих точек с защищаемым объектом.

Сетка обеспечивает защиту поверхности здания или сооружения, при выполнении определенных условий, о которых будет сказано ниже.

Приведем основные методики расчета зон защиты.

Методика расчета зон защиты отдельно стоящего молниеотвода со стержневым молниеприемником

На рисунке 3.3 показана схема для расчета зоны защиты отдельно стоящего молниеотвода.

Для зоны защиты требуемой надежности радиус горизонтального сечения  $r_x$  на высоте  $h_x$  определяется по формуле

$$r_x = \frac{r_o(h_o - h_x)}{h_o} r_x \quad (81)$$

Приведенные в формуле (81) параметры  $h_o, r_o, h, r_x$  определяются по таблице 21 в зависимости от высоты молниеотвода  $h$ .

Формула пригодна для молниеотводов высотой до 150 м. При более высоких молниеотводах следует пользоваться специальной методикой расчета.

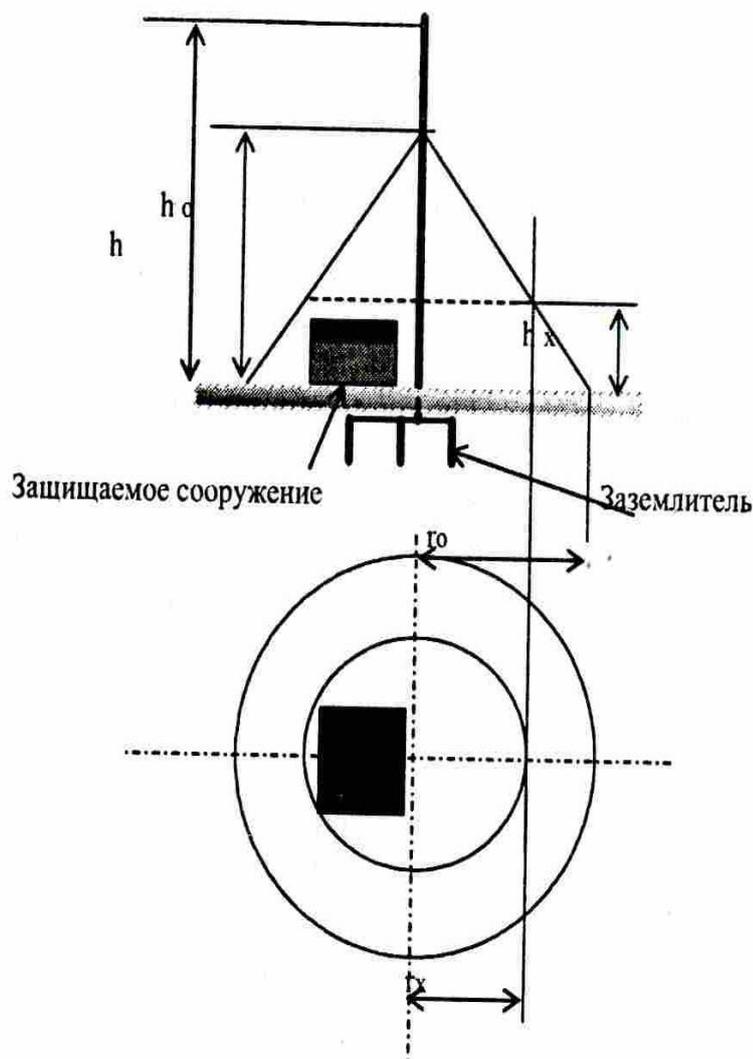


Рисунок 3.3 – Схема для расчета зоны защиты отдельно стоящего молниеотвода

**Методика расчета зон защиты одиночного тросового молниеприемника.** Стандартные зоны защиты одиночного тросового молниеотвода высотой  $h$  ограничены симметричными двускатными поверхностями, образующими в вертикальном сечении равнобедренный треугольник с вершиной на высоте  $h_o < h$  и основанием на уровне земли  $2r_o$  (рисунок 3.5)

Приведенные выше расчетные формулы (таблица 3.21) пригодны для молниеотводов высотой до 150 м. Здесь и далее под  $h$  понимается минимальная высота троса над уровнем земли (с учетом провеса).

Таблица 3.21 – Данные для расчета зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

| Надежность защиты $P$ , | Высота молниеотвода $h$ , м | Высота конуса $h$ , м                  | Радиус конуса $r$ , м                  |
|-------------------------|-----------------------------|--|--|
| 0,9                     | от 0 до 100                 | 0,85h                                  | 1,2h                                   |
|                         | от 100 до 150               | 0,85h                                  | $[1,2 - 10^{-3}(h - 100)]h$            |
| 0,99                    | от 0 до 30                  | 0,8h                                   | 0,8h                                   |
|                         | от 30 до 100                | 0,8h                                   | $[0,8 - 1,43 \times 10^{-3}(h - 30)]h$ |
|                         | от 100 до 150               | $[0,8 - 10^{-3}(h - 100)]h$            | 0,7h                                   |
| 0,999                   | от 0 до 30                  | 0,7h                                   | 0,6h                                   |
|                         | от 30 до 100                | $[0,7 - 7,14 \times 10^{-4}(h - 30)]h$ | $[0,6 - 1,43 \times 10^{-3}(h - 30)]h$ |
|                         | от 100 до 150               | $[0,65 - 10^{-3}(h - 100)]h$           | $[0,5 - 2 \times 10^{-3}(h - 100)]h$   |

**Полуширина**  $gx$  зоны защиты требуемой надежности (рисунок 3.4) на высоте  $hx$  от поверхности земли определяется выражением (81).

При необходимости расширить защищаемый объем, к торцам зоны защиты собственного тросового молниеотвода могут добавляться зоны защиты несущих опор, которые рассчитываются по формулам одиночных стержневых молниеотводов, представленным в таблице 3.22

**Расчет молниеотвода с сетчатым молниеприемником** сводится к выбору шага ячейки сетки и выполнению определенных условий ее размещения на защищаемом объекте. Сетка обеспечивает защиту поверхности если выполнены следующие условия:

- проводники сетки проходят по краю крыши, крыша выходит за габаритные размеры здания;

Таблица 3.22 – Данные для расчета зоны защиты одиночного тросового молниеотвода

| Надежность защиты $P$ | Высота молниеотвода $h$ , м | Высота конуса $h$                       | Радиус конуса. $r$                      |
|-----------------------|-----------------------------|---|---|
| 0,9                   | 0 до 150                    | 0,87h                                   | 1,5h                                    |
| 0,99                  | от 0 до 30                  | 0,8h                                    | 0,95h                                   |
|                       | от 30 до 100                | 0,8h                                    | $[0,95 - 7,14 \times 10^{-4}(h - 30)]h$ |
|                       | от 100 до 150               | 0,8h                                    | $[0,9 - 10^{-3}(h - 100)]h$             |
| 0,999                 | от 0 до 30                  | 0,75h                                   | 0,7h                                    |
|                       | от 30 до 100                | $[0,75 - 4,28 \times 10^{-3}(h - 30)]h$ | $[0,7 - 1,43 \times 10^{-3}(h - 30)]h$  |

|               |                              |                            |
|---------------|------------------------------|----------------------------|
| от 100 до 150 | $[0,72 - 10^{-3}(h - 100)]h$ | $[0,6 - 10^{-3}(h - 30)]h$ |
|---------------|------------------------------|----------------------------|

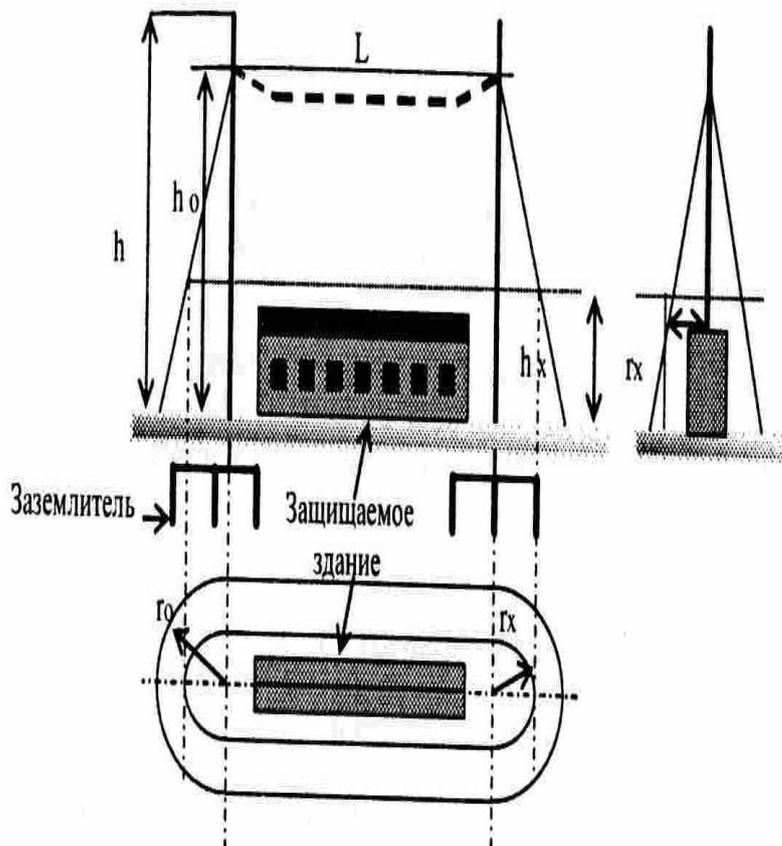


Рисунок 3.4 – Зона защиты одиночного тросового молниеотвода L — расстояние между точками подвеса тросов

- проводник сетки проходит по коньку крыши, если наклон крыши превышает 1/10;
- боковые поверхности сооружения на уровнях выше, чем радиус фиктивной сферы (таблица 3.21), защищены молниеотводами или сеткой;
- размеры ячейки сетки не больше, чем приведенные в таблице 3.21;
- сетка выполняется таким способом, чтобы ток молнии всегда имел не менее двух различных путей к заземлителю; никакие металлические части не должны выступать за внешние контуры сетки.

Проводники сетки прокладываются, насколько это возможно, кратчайшими путями.

В ходе проектирования необходимо выбрать тип молниеприемника, определить место прокладки токоотводов, место присоединения к существующему заземлителю или место размещения вновь сооружаемого заземлителя

В качестве естественных молниеприемников могут использоваться следующие конструктивные элементы зданий и сооружений:

а) металлические кровли защищаемых объектов при условии, что:

– электрическая непрерывность между разными частями обеспечена на длительный срок;

– толщина металла кровли составляет не менее значений, приведенных в таблице 23;

– допускаются толщины металла кровли менее приведенных в таблице 3.23, но не менее 0,5 мм. Это допустимо, если кровлю не обязательно защищать от повреждений и, если нет опасности воспламенения находящихся под кровлей горючих материалов;

– кровля не имеет изоляционного покрытия. При этом небольшой слой антикоррозионной краски или слой 0.5 мм асфальтового покрытия, или слой толщиной 1 мм пластикового покрытия не считается изоляцией;

– неметаллические покрытия на или под металлической кровлей не выходят за пределы защищаемого объекта;

б) металлические конструкции крыши (фермы, соединенная между собой стальная арматура);

в) металлические элементы типа водосточных труб, украшений, ограждений по краю крыши и т.п., если их сечение не меньше значений, предписанных для обычных молниеприемников;

Таблица 3.23 – Толщина кровли, трубы или корпуса резервуара, выполняющих функции молниеприемника

| Уровень защиты | Материал | Толщина<br>не менее, мм |
|----------------|----------|-------------------------|
| I-IV           | Сталь    | 4                       |
| I-IV           | Медь     | 5                       |
| 1-IV           | Алюминий | 7                       |

г) технологические металлические трубы и резервуары, если они выполнены из металла толщиной не менее 2,5 мм и прожог этого металла не приведет к опасным или недопустимым последствиям;

д) металлические трубы и резервуары, если они выполнены из металла толщиной не менее значения, приведенного в таблице 23, и если повышение температуры с внутренней стороны объекта в точке удара молнии не представляет опасности.

**Защита от прямых ударов молнии неметаллических труб, башен, вышек** высотой более 15 м, должна быть выполнена путем установки на этих сооружениях молниеприемников. При высоте сооружения до 50 м - одного стержневого молниеприемника высотой не менее 1 м, при высоте от 50 до 150 м — двух стержневых молниеприемников высотой не менее 1 м, соединенных

на верхнем торце трубы. При высоте более 150 м - не менее трех стержневых молниеприемников высотой 0,2 - 0,5 м или по верхнему торцу трубы должно быть уложено стальное кольцо из стали сечением не менее 160 мм».

Металлические обелиски и скульптуры защищаются от прямых ударов молнии путем присоединения их к заземлителю любой конструкции.

**Токоотводы**, служат для соединения молниеприемников с заземляющим устройством. Токоотводы, в целях снижения вероятности возникновения опасного искрения, располагаются таким образом, чтобы между точкой поражения и землей:

а) металлические конструкции.

Токоотводы располагаются по периметру защищаемого объекта таким образом, чтобы среднее расстояние между ними было не меньше значений, приведенных в таблице 3.24) ток растекался по нескольким параллельным путям;

б) длина этих путей была ограничена до минимума.

Если молниеприемник состоит из стержней, установленных на отдельно стоящих опорах (или одной опоре), на каждой опоре предусматривается не менее одного токоотвода.

Если молниеприемник состоит из отдельно стоящих горизонтальных проводов (тросов) или из одного провода (троса), на каждом конце провода (троса) выполняется не менее одного токоотвода.

Если молниеприемник представляет собой сетчатую конструкцию, подвешенную над защищаемым объектом, на каждой ее опоре выполняется не менее одного токоотвода. Количество токоотводов принимается не менее 2.

При высоте сооружения до 50 м от молниеприемников прокладывается один токоотвод; при высоте более 50 м токоотводы должны быть проложены не реже чем через 25 м, но не менее двух. Токоотводы соединяются горизонтальными поясами вблизи поверхности земли и через каждые 20 м по высоте здания.

В качестве токоотводов могут использоваться ходовые металлические лестницы и прочие вертикальные металлические конструкции.

Таблица 3.24 – Среднее расстояние между токоотводами в зависимости от уровня защиты

| Уровень защиты | Среднее расстояние, м |
|----------------|-----------------------|
| I              | 10                    |
| II             | 15                    |
| III            | 20                    |
| IV             | 25                    |

Токоотводы располагают равномерно по периметру защищаемого объекта. По возможности они прокладываются вблизи углов зданий.

Токоотводы прокладываются по прямым и вертикальным линиям, так чтобы путь до земли был по возможности кратчайшим.

В качестве естественных токоотводов могут использоваться следующие конструктивные элементы зданий:

- металлические конструкции;
- металлический каркас здания или сооружения;
- металлическая арматура железобетонных строений (при обеспечении электрической непрерывности).

**Заземлители** устройств молниезащиты во всех случаях, за исключением использования отдельно стоящего молниеотвода, совмещаются с заземлителями электроустановок или средств связи.

В том случае, если ранее выполненные заземлители отсутствуют, выполняют заземляющее устройство для молниеотвода.

Целесообразно использовать следующие типы заземлителей:

- в виде контуров;
- вертикальные заземляющие электроды;
- заземляющий контур, уложенный на дне котлована;
- заземляющие сетки.

Заземлитель в виде наружного контура необходимо прокладывать на глубине не менее 0,5 м от поверхности земли и на расстоянии не менее 1 м от стен. Заземляющие электроды должны располагаться на глубине не менее 0,5 м.

### Контрольные вопросы

1. Какие типы электрических сетей наиболее распространены на производстве?
2. Назовите источники электрической опасности на производстве.
3. Что такое напряжение прикосновения и шаговое напряжение? Как зависят их величины от расстояния от точки стекания тока в землю?
4. Как классифицируются помещения по степени электрической опасности?
5. Как воздействует электрический ток на человека? Перечислите и охарактеризуйте виды электротравм.
6. Почему прикосновение рукой к предметам электрически соединённым с землёй (например, водопроводной трубой) при работе с электрическими устройствами резко увеличивает опасность поражения электрическим током?
7. Категории помещений по опасности поражения электрическим током.
8. Основные и дополнительные электрозащитные средства до 1000 В.
9. Защитное заземление, устройство, область применения.
10. Защитное зануление: устройство, область применения
11. Защитное отключение: устройство, область применения
12. Категории молниезащиты зданий.
13. Какие типы молниеотводов существуют?

14. Что такое зона защиты молниеотвода?

15. Требования к устройству молниезащиты дымовых труб.

## Тема 4 Организация самостоятельной работы

Исследования вопросов энергетики в настоящее время в Казахстане протекают достаточно интенсивно. Однако по многим проблемам специалисты и ученые имеют принципиально разные точки зрения, отражающиеся в дискуссиях, происходящих не только в форме специальных научно-теоретических исследований, но и на страницах учебной литературы, в средствах массовой информации. Соответственно, обязательным элементом профессиональной подготовки будущих бакалавров является приобретение ими навыков понимания целей оглашения разнообразных сведений и точек зрения, определение ограничений на прикладное применение информации, содержащейся в различных источниках, что предусматривает написание и защиту курсовой работы (проекта).

Написание курсовой работы (проекта) является одной из форм подготовки бакалавров техники и технологий по специальности «Электроэнергетика», способствующей формированию у студентов, как навыков осуществления научно-исследовательской работы, так и умения использовать методы научного исследования для раскрытия содержания конкретной темы, выявления характера противоречий в функционировании исследуемого заданного объекта, поиска и выбора инструментов устранения выявленных проблем.

Одновременно, она является обязательной стадией самостоятельной подготовки к сдаче экзамена по дисциплине, и также завершающей учебный процесс выпускной квалификационной работы.

В курсовом проекте (работе) студент, на основе изученных источников информации и научных представлений, должен определить свой вариант и точку зрения по проблемному вопросу, аргументировать ее результатами критического анализа выявленных решений по исследуемой проблеме.

**Курсовой проект (КП)** по дисциплине является одним из важных видов учебной деятельности, и представляет собой самостоятельную работу студентов университета специальности 5В071800 – Электроэнергетика, на одну из предложенных ему руководителем тем проекта по программе дисциплины.

Целью выполнения курсового проекта, является подготовка студента к дипломному проектированию по направлению организация систем электроснабжения промышленных предприятий.

Задачами курсового проекта являются:

- приобщение студентов к самостоятельной творческой работе с научно-исследовательскими публикациями и источниками нормативной и справочной информации,
- формировать на основе проведенного анализа самостоятельные выводы и оценки собранных данных;
- закрепление навыков четкого, последовательного и профессионально аргументированного изложения своих решений;

– умение использовать при написании курсовой работы (проекта) знания из смежных учебных дисциплин, в первую очередь электроэнергетического направления;

– закрепление, расширение и углубление знаний студентов, полученных при изучении соответствующей дисциплины.

Сроки выполнения определяются учебным планом. Разработка тематики курсовых проектов производится преподавателями кафедры и руководителем программы. Тема может быть связана с производственной (профессиональной) практикой студента. Курсовой проект может стать составной частью (разделом, главой) выпускной работы (дипломного проекта).

Общее руководство и контроль за ходом выполнения курсового проекта осуществляет преподаватель дисциплины (руководитель программы).

На время выполнения проекта планируются консультации за счет объема времени, отведенного в рабочем учебном плане на проведение СРОП.

В ходе консультаций преподаватель разъясняет назначение и задачи, структуру и объем, принципы разработки и оформления, распределение времени, отвечает на вопросы.

Курсовой проект должен обладать:

- целевой направленностью;
- четкой структурой;
- логической последовательностью изложения материала;
- глубиной исследования и полнотой освещения вопросов;
- убедительностью аргументации;
- краткостью и точностью формулировок;
- конкретностью изложения результатов работы;
- доказательностью выводов и обоснованностью рекомендаций;
- соответствием требованиям к ее оформлению.

*Защита курсового проекта* является обязательной, и проводится за счет объема времени, предусмотренного на изучение дисциплины.

Студент, получивший неудовлетворительную оценку, имеет право выбрать новую тему или, по решению преподавателя, дорабатывает выбранную ранее. Сроки устанавливаются новые в период летнего семестра.

*Оценка курсового проекта* производится согласно методике балльно-рейтингового контроля знаний студента по дисциплине «Проектирование СЭС». Рейтинговым контролем охватываются следующие виды учебной работы студентов по курсовому проектированию:

- 1) составление и написание пояснительной записки – организуемая самостоятельная работа студентов (орг. СРС);
- 2) выполнение графической части курсового проекта – организуемая самостоятельная работа студентов (орг. СРС);
- 3) защита курсового проекта.

Распределение баллов по видам контроля дано в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Распределение баллов по видам контроля

| Вид работы  | Оценка |     |
|---|--------|-----|
|   | min    | max |
| Характеристика нагрузок, классификация объектов, расчет нагрузок                    | 0      | 100 |
| Построение картограммы нагрузок   | 0      | 100 |
| Определение количества ТП   | 0      | 100 |
| Расчет и выбор компенсирующих устройств.  | 0      | 100 |
| Выбор мощности трансформаторов ТП   | 0      | 100 |
| Выбор сечения линий 0,38 и 10 кВ  | 0      | 100 |
| Выполнение графической части. Лист 1 - «Генеральный план с сетями электроснабжения» | 0      | 100 |
| Определение расчетных нагрузок предприятия  | 0      | 100 |
| Выбор мощности трансформаторов ГПП  | 0      | 100 |
| Расчет токов короткого замыкания  | 0      | 100 |
| Расчет и выбор аппаратов защиты   | 0      | 100 |
| Выполнение графической части, Лист 2 - «Однолинейная схема электроснабжения»        | 0      | 100 |
| Итого за семестр  | 0      | 100 |
| Защита курсового проекта  | 0      | 100 |
| Итоговая оценка (выставляется в ведомости)  | 0      | 100 |

Тематика курсовых проектов состоит из десяти заданий по три различных варианта расчета:

- Электроснабжение завода режущих инструментов.
- Электроснабжение металлургического завода.
- Электроснабжение нефтеперерабатывающего завода.
- Электроснабжение завода торгового машиностроения.
- Электроснабжение комбината стройиндустрии.
- Электроснабжение химического завода.
- Электроснабжение электроаппаратного завода.
- Электроснабжение завода горношахтного оборудования.
- Электроснабжение деревообрабатывающего завода.
- Электроснабжение текстильного комбината.

#### 4.1 Этапы выполнения работы

##### 4.1.1 Ознакомление с литературой

Начальным этапом работы является изучение литературы: учебников, монографий, периодических отечественных и зарубежных изданий,

нормативно-справочных и патентных материалов, непубликуемых документов (депонированных рукописей; диссертаций, архивных материалов); просмотрены должны быть все виды источников, связанные с темой исследования.

Подбор литературы целесообразно начинать с изучения книг и изданий, которые рекомендованы руководителем. Затем следует ознакомиться с информационными изданиями, цель выпуска которых - оперативная информация, как о самих публикациях, так и об их основном содержании. Такие издания подразделяются на три вида:

- библиографические издания, которые содержат библиографическое описание, извещающие о том, что издано по интересующему вопросу;

- реферативные издания, которые содержат публикации рефератов, включающих краткое изложение содержания, основные фактические сведения и выводы из опубликованных работ (реферативный журнал - РЖ по отраслям наук, реферативные сборники, экспресс- информация);

- обзорные издания, которые содержат обзор публикаций по одной проблеме или направлению

- - нормативные документы и государственные стандарты по направлению электроэнергетика, действующие на территории РК.

Изучение литературы и руководящих материалов к проектированию следует продолжать, переходя от общих работ, дающих представление об основных вопросах, к которым примыкает избранная тема, к поиску нового материала. Возможно использование данных, полученных при помощи глобальной информационной сети Интернет.

Во всех случаях отбирать следует только последние данные, выбирать самые авторитетные источники. При отборе фактов из литературных источников необходимо подходить к ним критически, так как наука, техника и культура постоянно развиваются и то, что считалось абсолютно точным вчера, сегодня может оказаться неточным, а иногда и неверным.

Отобранный материал следует тщательно регистрировать, одновременно составляя библиографическое описание, в которое входят и Интернет-источники и материалы научной периодической печати за 5 последних лет.

#### **4.1.2 Выбор методов проектирования**

Курсовой проект по проектированию системы электроснабжения предприятия состоит в создании модели системы электроснабжения предприятия, представленной в разработанных чертежах, схемах, таблицах и описаниях, и разработанной на основании анализа и логической переработки исходной информации, выполнения инженерных расчетов и технико-экономического сравнения нескольких альтернативных вариантов.

Курсовой проект должна иметь целью достижение оптимального конечного результата, т.е. оптимального проекта. Под оптимальным проектом подразумевается проект, имеющий наименьшие приведенные расчетные затраты при эксплуатации и строительстве объекта, обеспечивающий

выполнение всех нормативных требований к качеству и надежности электроснабжения.

Процесс проектирования является творческой работой, при выполнении которой могут быть предложены не известные ранее науке и практике инженерные решения. Вместе с тем при проектировании всегда следует считаться с рядом ограничений, к основным из которых относятся следующие:

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

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

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

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

Исходя из темы задания на проектирование, студент под руководством научного руководителя решает вопрос о выборе методов проектирования, которые служат инструментом для достижения поставленной в работе цели.

## **4.2 Содержание и структура работы**

Курсовой проект состоит из пояснительной записки объемом 30 ÷ 40 страниц машинописного текста и 2-х чертежей формата А3 (А1).

Пояснительная записка к курсовому проекту должна включать следующие структурные элементы:

- титульный лист;
- задание по выполнению работы,
- содержание;
  - введение;
- основную часть;
- заключение (выводы);
- список использованных источников;
- приложения (при необходимости).

Титульный лист является первой страницей работы и служит источником информации, необходимой для обработки и поиска документа. Образец оформления титульного листа курсовой работы приведен в приложении В.

Титульный лист входит в общую нумерацию страниц работы, но на нем номер страницы (цифра «1») не проставляется.

Задание на курсовую работу выполняется по установленной форме (приложение В) и вкладывается в пояснительную записку, к заданию прикладываются исходные данные для выполнения курсовой работы в соответствии с полученным вариантом (приложение А).

Содержание включает введение, порядковые номера и наименования всех разделов, подразделов, заключение, список использованных источников и наименование приложений с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы работы (проекта). Заголовки содержания (рубрики) должны точно повторять заголовки в тексте, сокращать или давать их в другой формулировке нельзя. Заголовки одинаковых ступеней рубрикации необходимо располагать друг под другом. Заголовки каждой последующей ступени смещать на два-три знака вправо по отношению к заголовкам предыдущей ступени. Все заголовки начинают с заглавной буквы, точку на конце не ставят, последнее слово каждого заголовка соединяют отточием с соответствующим ему номером страницы в правом столбце содержания. Слово «**Содержание**» записывают в виде заголовка вверху страницы, посередине строки с заглавной буквы.

Введение является первым разделом курсовой работы и должно содержать обоснование актуальности и практической значимости, оценку современного состояния решаемой проблемы, а также должны быть сформулированы цель, задачи и объект курсового проектирования. Слово «**Введение**» записывают в виде заголовка посередине строки вверху новой страницы. Объем введения должен быть небольшим – одна - две страницы.

В основной части курсового проекта приводят данные, отражающие сущность, содержание, методику и основные результаты выполненной работы. Стил письменной научной речи - это безличный монолог. Изложение обычно ведется от третьего лица, реже от первого лица множественного числа (употребляется местоимением «мы» вместо «я»). Качествами, определяющими культуру речи, являются точность, ясность и краткость.

В курсовом проекте по дисциплине «Проектирование систем электроснабжения» в основной части пояснительной записки содержатся следующие разделы.

1 Расчет электрических нагрузок.

1.1 Определение центра электрических нагрузок.

1.2 Построение картограммы электрических нагрузок

2 Выбор схемы внутреннего электроснабжения предприятия (напряжения 0,38; 6-10 кВ).

2.1 Обоснование принимаемых значений напряжения.

2.2 Определение количества потребительских (цеховых) трансформаторных подстанций (ТП) и числа трансформаторов в них.

2.3 Определение расчетных электрических нагрузок ТП.

2.4 Компенсация реактивной мощности.

2.5 Выбор оптимальной мощности трансформаторов ТП

- 2.6 Выбор сечения проводников линий электропередачи.
- 3 Выбор схемы внешнего электроснабжения предприятия.
- 3.1 Определение расчетной нагрузки предприятия.
- 3.2 Обоснование принимаемых значений напряжения внешнего электроснабжения.
- 3.3 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения объекта.
- 4 Определение величины токов короткого замыкания (к.з.).
- 4.1 Расчет токов к.з на напряжении выше 1000 В
- 4.2 Расчет токов к.з. на напряжении 0,38 кВ.
- 5 Выбор электрооборудования и его проверка по работе в режиме к.з.
- 5.1 Выбор электрических аппаратов
- 5.2 Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения
- 5.3 Выбор и проверка шин
- 5.4 Выбор опорных изоляторов
- 5.5 Выбор трансформаторов собственных нужд
- 5.6 Проверка сечений кабелей по термической стойкости
- 5.7 Выбор автоматических выключателей
- 6 Расчет молниезащиты и заземления
- 7 Выбор системы учета и контроля

Заключение (выводы) должно содержать краткие выводы по результатам работы, оценку полноты решений поставленных задач, конкретные рекомендации по выполненной работе. Слово «**Заключение**» записывают в виде заголовка заглавными буквами с новой страницы.

Список использованных источников должен содержать сведения об источниках, использованных при написании работы: на каждый источник в тексте работы должна быть ссылка. Ссылки на использованные источники следует приводить в квадратных скобках (например, [1]). Сведения об источниках следует располагать в порядке появления ссылок на них в тексте работы и нумеровать арабскими цифрами без точки и печатать с абзацного отступа. Список использованных источников оформляется по определенным правилам (см. Приложение Г). Слова «**Список использованных источников**» записывают в виде заголовка с заглавной буквы с новой страницы.

**Графическая часть проекта должна содержать следующие чертежи.**

1. Генеральный план объекта с сетями электроснабжения 0,38 ÷ 10 кВ.
2. Однолинейная схема внешнего электроснабжения объекта.

Первый чертёж представляет генеральный план заданного предприятия с расположением сетей системы электроснабжения. Второй чертеж представляет однолинейную принципиальную схему электроснабжения предприятия. Чертежи должны выполняться в соответствии с действующими ГОСТами (ЕСКД, СПДС), с использованием средств компьютерной графики (например, в системе Auto CAD, ArchiCAD).

### **4.3 Правила оформления работы**

#### **4.3.1 Основные требования к оформлению пояснительной записки**

Изложение текста и оформление проекта выполняются в соответствии с Требованиями к выполнению, оформлению и защите курсовых и дипломных работ (проектов). МИ 038.-2017. Утверждена приказом ректора КГУ имени А.Байтурсынова от 02 марта 2017 года № 49 ОД.

Изложение текста и оформление работ (проектов) выполняются в соответствии с требованиями настоящей Инструкции. Страницы текста работы и включенные в нее иллюстрации и таблицы должны соответствовать формату А4. Переплет может быть любым по выбору студента (жесткий, пружинный и др.)

Курсовой проект может выполняться рукописным или печатным способом, а дипломная работа (проект) – только печатным способом на одной стороне листа белой бумаги формата А4 через одинарный интервал. Шрифт – Times New Roman, кегль 14. Номера страниц указываются: шрифт – обычный, кегль 14.

Текст следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: правое – 10 мм, верхнее – 20 мм, левое – 30 мм, нижнее – 20 мм.

Абзацный отступ в пределах текста должен быть одинаковым и равен пяти знакам – 1,25 см.

Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определенных терминах, формулах, теоремах, применяя шрифты разной гарнитуры [12].

Опечатки, описки и графические неточности, обнаруженные в процессе подготовки работы, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста (графики) машинописным способом или черными чернилами, пастой или черной тушью – рукописным способом.

Фамилии, названия организаций, название изделий и другие имена собственные первый раз в работе приводятся на языке оригинала.

Наименования структурных элементов работы (проекта) «Содержание», «Введение», «Заключение», «Список использованных источников» служат заголовками структурных элементов работы.

Курсовой проект следует делить на разделы, подразделы. Каждый раздел и подраздел должен содержать законченную информацию.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов. Заголовки разделов, подразделов и пунктов следует печатать с абзацного отступа с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Разделы курсового проекта должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами без точки.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В

конец номера подраздела точка не ставится. Разделы могут состоять из двух и более подразделов.

Пример

1 Типы и основные размеры

1.1

1.2

1.3

2 Технические требования

2.1

2.2

Страницы работы нумеруются арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту работы. Номер страницы проставляют в центре нижней части листа без точки.

Иллюстрации и таблицы, расположенные на отдельных листах, включают в общую нумерацию страниц. Иллюстрации и таблицы на листе формата А3 учитывают как одну страницу.

Каждый структурный элемент (раздел) работы следует начинать с нового листа (страницы).

Между наименованием раздела и подраздела отступ в одну строку.

Подразделы внутри одного раздела разделяются между собой отступлением в одну строку.

Цифровой материал должен оформляться в виде таблиц, которые применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей.

Название таблицы должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире.

Таблицу следует располагать в работе непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые или на следующей странице.

На все таблицы должны быть ссылки в работе. При ссылке следует писать «Таблица» с указанием номера. Например, (см. Таблицу 1).

Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами порядковой нумерацией в пределах всей работы.

Таблицу каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения.

Если в работе одна таблица, то она должна быть обозначена «Таблица 1» или «Таблица В1», если таблица приведена в Приложении.

Заголовки граф и строк таблицы следует писать со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с заглавной буквы, если они имеют самостоятельное значение.

Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другую страницу. Над перенесенными на следующую страницу частями таблицы справа пишут «Продолжение таблицы» и указывают номер таблицы, например, «Продолжение таблицы 1».

Таблицу с большим количеством граф целесообразно выносить в приложение.

Если повторяющийся в разных строках (графах) таблицы текст состоит из одного слова, то его после первого написания допускается заменять кавычками; если из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами «То же», а далее кавычками. Ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, марок, знаков, математических и химических символов не допускается. Если цифровые или иные данные в какой-либо строке таблицы не приводят, то в ней ставят прочерк.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями. Допускается применять размер шрифта в таблице меньший, чем в тексте.

Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается перпендикулярное расположение заголовков граф. Головка таблицы должна быть отделена линией от остальной части таблицы.

Расстояние между таблицей и текстом, расположенным выше и ниже таблицы, должно быть в одну строку. Пример оформления таблицы приведен в МИ 038.-2017.

Иллюстративный материал является обязательной частью курсовой, дипломной работ (проектов). Его количество, состав и содержание определяется руководителем работы.

Основными видами иллюстративного материала (рисунков) являются чертеж, схема, фотография, диаграмма и график.

Чертеж – основной вид иллюстрации, который используется, когда нужно максимально точно изобразить конструкцию машины, механизма или их части. Он должен соответствовать правилам черчения и требованиям стандарта.

Фотография – особенно убедительное и достоверное средство наглядной передачи действительности. Она применяется, когда необходимо с документальной точностью изобразить предмет или явление со всеми его индивидуальными особенностями.

Технический рисунок используется, когда нужно изобразить явление или предмет таким, каким мы его зрительно воспринимаем, но без лишних деталей или подробностей.

Схема – это изображение, передающее с помощью условных обозначений и без соблюдения масштаба основную идею какого-либо устройства, предмета, сооружения или процесса и показывающее взаимосвязь из главных элементов.

Диаграмма – один из способов графического изображения зависимостей между величинами. Она составляется для наглядного изображения массовых данных.

График – это условное изображение величин и их соотношения через геометрические фигуры, точки и линии. Кроме геометрического образа график должен содержать:

- общий заголовок;

- словесное пояснение условных знаков и смысла отдельных элементов графического образа;
- оси координат, шкалу с масштабами, числовые сетки;
- числовые данные, дополняющие или уточняющие величину нанесенных на график показателей.

Оси координат вычерчиваются линиями; на концах осей стрелки не ставят. По осям короткими рисками наносят масштаб (или координатную сетку), числовые значения масштаба шкал пишут левее оси координат и ниже оси абсцисс. У осей должны быть указаны условные обозначения и размерности отложенных величин. Вместо дробных значений величин следует вводить множители при буквенном обозначении величины.

Иллюстрации следует располагать в работе непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые или на следующей странице. Иллюстрации могут быть в компьютерном исполнении, в том числе и цветные. На все иллюстрации должны быть даны ссылки в работе.

Фотоснимки размером меньше формата А4 должны быть наклеены на стандартные листы белой бумаги.

Иллюстрации за исключением иллюстраций приложений следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией в пределах всей работы.

Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1», слово «Рисунок» и его наименование располагаются по середине строки.

Иллюстрации при необходимости могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисовочный текст), которые располагаются под словом «Рисунок».

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2».

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например: Рисунок А 3.

Иллюстрацию следует выполнять на одной странице. Если иллюстрация не помещается на одной странице, то ее можно переносить на другие страницы, при этом название иллюстрации помещают на первой странице, поясняющие данные - к каждой странице и под ними указывают «Рисунок... лист...».

Расстояние между рисунком и текстом, расположенным выше и ниже рисунка, должно быть один отступ. Пример оформления иллюстрации приведен в МИ 038.-2017.

Формулы и уравнения следует выделять из текста на отдельную строку. Выше и ниже каждой формулы или уравнения должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в которой они даны в формуле. Знак каждого символа и числового коэффициента

следует давать с новой строки. Первую строку пояснения начинают со слова «где» без двоеточия.

Формулы следует нумеровать порядковой нумерацией в пределах всей работы арабскими цифрами в круглых скобках в крайнем правом положении на строке,

$$\text{например: } u = 2g(p - p_0)r^2/9\eta, \quad (1)$$

где  $u$  - скорость седиментации;  
 $g$  - ускорение свободного падения;  
 $p$  - плотность дисперсной фазы;  
 $p_0$  - плотность дисперсионной среды;  
 $r$  - размер частиц;  
 $\eta$  - вязкость дисперсионной среды.

Если уравнение не помещается в одну строку, то оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знаков плюс (+), минус (-), умножения (x), деления (:) или других математических знаков, причем знак в начале следующей строки повторяют.

Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например: в формуле (1).

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед цифрой буквы, обозначающей Приложение, например, формула (А.1).

#### **4.3.2 Основные требования к графической части проекта**

Основные требования к выполнению графической части проектов приведены в государственных стандартах (ГОСТ) систем ЕСКД (единая система конструкторской документации), ЕСТД (единая система технологической документации), СПДС (система проектной документации для строительства). Требования указанных выше документов должны учитываться студентами. Основная надпись на чертежах в курсовых работах кафедры электроэнергетики и физики, заполняется следующим образом (рисунок 1.1).

|            |             |                    |                |             |   |              |                |
|------------|-------------|--------------------|----------------|-------------|---|--------------|----------------|
|            |             |                    |                |             | <b>ЭЭ.ПЭС.333.00.000.Э7</b> (2)                                 |              |                |
|            |             |                    |                |             | <i>Электроснабжение завода<br/>торгового машиностроения</i> (1) |              |                |
| <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ документа</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | <i>Листов</i>   | <i>Масса</i> | <i>Масштаб</i> |
| Выполтил   | Иванов      |                    |                |             | 1   | 5            | 1:500          |
| Руковод.   | Ибраев      |                    |                |             | Лист 1 (7)  | Листов 1 (8) |                |
|            |             |                    |                |             | <i>Схема внешнего<br/>электроснабжения</i> (3)                  |              |                |
|            |             |                    |                |             | ИТУ ИТФ<br>за.07-101-31 (9)                                     |              |                |

(10)      (11)      (12)

Рисунок 1.1 - Основная надпись штампа

В графу 1 записывается наименование темы курсовой работы.

В графу 2 записывается обозначение (шифр) документа.

Шифр документа представляет собой группы букв и цифр, кратко означающих основные параметры разработанного документа. Расшифровка буквенно-цифровых обозначений в шифре следующая:

- ЭЭ - обозначение кафедры (кафедра электроэнергетики);
- ПЭС - обозначение дисциплины по которой выполняется курсовой проект (Проектирование ЭлектроСнабжения);
- 333 – три последние цифры номера зачетной книжки студента;
- 00.000 – группа цифр для обозначения сборочных единиц и позиций детали в сборочных чертежах;

Э7 – обозначение вида схем на чертеже (электрическая) и тип схемы (расположения).

В зависимости от назначения электрические схемы могут быть следующих типов:

- 1 - структурные;
- 2 - функциональные;
- 3 – принципиальные;
- 4 – соединений;
- 5 – подключения;
- 6 – общие;
- 7 – расположения;
- 8 – объединенные.

В графу 3 записывается наименование чертежа.

В графу 4 для курсовых работ проектов записывается литера - У.

В графу 5 записывается масса изделия (при необходимости, для конструкторских документов).

В графу 6 записывается масштаб (при необходимости, для конструкторских документов и для планов расположения).

В графу 7 записывается порядковый номер листа.

В графу 8 записывается общее количество листов для данного чертежа.

В графу 9 записывается сокращенное обозначение университета, факультета и учебной группы.

В графу 10 записывается характер работы выполняемой лицом, подписывающим документ.

В графу 11 записываются фамилии лиц, подписывающих документ.

В графу 12 записываются подписи лиц, подписывающих документ.

На всех чертежах в левом верхнем углу должна быть выполнена вспомогательная основная надпись размером 14x70 мм, содержащая обозначение (шифр) документа, повернутое на 180 градусов относительно главной основной надписи.

## Список использованных источников

- 1 Щербаков, Е.Ф. Электроснабжение. Курсовое проектирование: Учебное пособие / Е.Ф. Щербаков, Д.С. Александров, А.Л. Дубов. - СПб.: Лань, 2014. - 192 с.
- 2 Федоров, А.А., Старкова, Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учебное пособие для вузов / А.Л. Федоров, Л.Е. Старкова. – М.: Энергоатомиздат, 1987.- 408с.
- 3 Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение: Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - М.: РадиоСофт, 2013. - 328 с.
- 4 Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2012. - 416 с.
- 5 Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование / Г.В. Коробов. - СПб.: Лань, 2014. - 192 с.
- 6 Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.
- 7 Назарычев, А.Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. Централизованное и автономное электроснабжение объектов, цехов, промыслов, предприятий и промышленных комплексов / А.Н. Назарычев. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2006. - 928 с.
- 8 Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. - М.: Интернет Инжиниринг, 2005. - 672 с: ил.
- 9 Алиев, И.И. Электротехника и электрооборудование. Справочник. / И.И. Алиев. - М.: Высшая школа, 2010. - 1199 с.
- 10 Правила устройства электроустановок РК (ПУЭ РК). Астана, 2015. – 462 с.
- 11 Идельчик, В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. / В.И. Идельчик. - М.: Альянс, 2016. - 592 с.
- 12 Шеховцев, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: Метод пособие для курсового проекта / В.П. Шеховцев. - М.: Форум, 2007. - 214 с.
- 13 Янукович, Г.И. Электроснабжение сельского хозяйства. Курсовое и дипломное проектирование: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений по специальности "Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства" / Г.И. Янукович и до. - Мн.: ИВЦ Минфина, 2013. - 448 с.
- 14 Галимова, Е.О. Безопасность труда при монтаже, обслуживании и ремонте электрооборудования предприятий: справочник. / Е.О. Галимова. - М.: КноРус, 2011. - 288 с.

- 15 СТ РК ГОСТ Р 51237-2009. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Термины и определения.
- 16 СТ РК 1295-2004. Электробезопасность. Электроустановки зданий производственного и социально-бытового назначения. Общие технические условия.
- 17 СТ РК ИЕС 60364-5-54-2012. Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрического оборудования. Заземляющие приспособления и защитные проводники
- 18 ГОСТ 403-73. Аппараты электрические на напряжение до 1000В. Допустимые температуры нагрева частей аппаратов
- 19 ГОСТ 721-77. Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения свыше 1000 В
- 20 ГОСТ 23366-78. Ряды номинальных напряжений постоянного и переменного тока
- 21 ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ
- 22 ГОСТ 27514-87 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ
- 23 ГОСТ МЭК 61293-2002 Оборудование электротехническое. Маркировка с указанием параметров и характеристик источника питания. Требования безопасности
- 24 ГОСТ 7399-97. Провода и шнуры на номинальное напряжение до 450/750 В. Технические условия. И 1 ИУС № 6-2001 18.10.2000 И П ИУС № 6-2002 01.05.2002
- 25 ГОСТ ИЕС 60227-4-2011 Кабели с поливинилхлоридной изоляцией на номинальное напряжение до 450/750 В включительно. Кабели в оболочке для стационарной прокладки.
- 26 ГОСТ 689-90. Разъединители и заземлители переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия
- 27 ГОСТ 9098-93. Включатели автоматические низковольтные. Общие технические условия
- 28 ГОСТ 12450-82. Выключатели переменного тока на номинальные напряжения от 110 до 750 кВ. Технические требования к отключению ненагруженных воздушных линий и методы испытаний
- 29 ГОСТ 16357-83. Разрядники вентильные переменного тока номинальные напряжения от 3,8 до 600 кВ. Общие технические условия
- 30 ГОСТ 3484.1-88. Трансформаторы силовые. Методы электромагнитных испытаний
- 31 ГОСТ 3484.2-98. Трансформаторы силовые. Допустимые превышения температуры и методы испытания на нагрев
- 32 ГОСТ 3484.3-88. Трансформаторы силовые. Методы измерений диэлектрических параметров изоляции
- 33 ГОСТ 11677-85 . Трансформаторы силовые. Общие технические

условия

34 СН РК 2.04-01-2011 Естественное и искусственное освещение.

35 СН РК 4.04-04-2013 Наружное электрическое освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов.

36 СН РК 4.04-07-2013 Электротехнические устройства.

37 СН РК 4.04-13-2003. Указания по электроснабжению районов малоэтажной застройки.

38 РДС РК 4.04-191-2002. Методические указания по проектированию городских и поселковых электрических сетей Взамен РД 34 РК 20.191-96 (Аутентичен тексту РД 34 РК 20.191-96, введенного с 01.05.1996 Министерством энергетики и угольной промышленности РК от 25.04.1996 с переводом на гос. язык ПА «KAZGOR»)

39 СН РК 4.04-08-2014. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий

40 СП РК 4.04-109-2013. Правила проектирования силового и осветительного оборудования промышленных предприятий. Соответствует СП РК 4.04-22-2013 (приказ КДСиЖКХ МРР РК от 28.12.2013 № 407-НҚ, утративший силу).

41 Требования к выполнению, оформлению и защите курсовых и дипломных работ (проектов). МИ 038.-2017. Утверждена приказом ректора КГУ имени А.Байтурсынова от 02 марта 2017 года № 49 ОД

## Приложения

### Приложение А. Варианты заданий на курсовой проект

#### Задание на курсовой проект

По дисциплине «Проектирование систем электроснабжения»

В курсовом проекте объектом проектирования является промышленное предприятие со средним и большим уровнем силовой нагрузки.

В задании на курсовой проект указывается:

- генеральный план предприятия;
- сведения об электрических нагрузках;
- краткие сведения об источнике питания;
- стоимость электрической энергии;
- расстояние от подстанции системы до объекта проектирования.

Вариант задания может быть задан преподавателем или выбран студентом по шифру зачетной книжки (номер варианта задания выбирается по последней цифре шифра, вариант данных по установленной мощности принимается по предпоследней цифре шифра).

Курсовой проект состоит из пояснительной записки объемом 30-40 страниц и двух чертежей графической части.

#### **Состав пояснительной записки:**

Задание на проектирование

Введение

1 Расчет электрических нагрузок.

1.1 Определение центра электрических нагрузок.

1.2 Построение картограммы электрических нагрузок

2 Выбор схемы внутреннего электроснабжения предприятия (напряжения 0,38; 6-10 кВ).

2.1 Обоснование принимаемых значений напряжения.

2.2 Определение количества потребительских (цеховых) трансформаторных подстанций (ТП) и числа трансформаторов в них.

2.3 Определение расчетных электрических нагрузок ТП.

2.4 Компенсация реактивной мощности.

2.5 Выбор оптимальной мощности трансформаторов ТП

2.6 Выбор сечения проводников линий электропередачи.

3 Выбор схемы внешнего электроснабжения предприятия.

3.1 Определение расчетной нагрузки предприятия.

3.2 Обоснование принимаемых значений напряжения внешнего электроснабжения.

3.3 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения объекта.

4 Определение величины токов короткого замыкания (к.з.).

4.1 Расчет токов к.з. на напряжении выше 1000 В

4.2 Расчет токов к.з. на напряжении 0,38 кВ.

5 Выбор электрооборудования и его проверка по работе в режиме к.з.

5.1 Выбор электрических аппаратов

5.2 Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения

5.3 Выбор и проверка шин

5.4 Выбор опорных изоляторов

5.5 Выбор трансформаторов собственных нужд

5.6 Проверка сечений кабелей по термической стойкости

6 Проектирование систем заземления и молниезащиты

Заключение

Список используемой литературы

Чертежи графической части выполняются на листе формата А1 (при использовании программы AutoCAD допускается формат А3). Первый чертёж представляет генеральный план заданного предприятия с расположением системы электроснабжения. Второй чертёж представляет однолинейную схему внешнего электроснабжения предприятия.

## Индивидуальные задания для выполнения курсового проекта

### Задание №1

Тема Электроснабжение завода режущих инструментов

Исходные данные на проектирование

1. Генеральный план завода – рис унок1.А
2. Сведения об электрических нагрузках завода – таблица 1А.
3. Питание возможно осуществить от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 16000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным 35, 20 и 10 кВ
4. Мощность системы 400 МВА; реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы- 0,6
5. Стоимость электроэнергии 8,0 тенге/ кВт\*ч
6. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 8 км

Таблица 1.А – Ведомость электрических нагрузок

| № по плану | Наименование цеха                   | Уст. мощность $P_{уст}$ , кВт<br>(варианты) |      |      |
|------------|-------------------------------------|---|------|------|
|            |                                     | 1   | 2    | 3    |
| 1          | Склад ГСМ                           | 45  | 30   | 55   |
| 2          | Цехи метчиков, плашек и фрез        | 7600  | 5200 | 4800 |
| 3          | Инструментальный цех                | 460   | 300  | 580  |
| 4          | Учебно- вспомогательные мастерские  | 390   | 250  | 180  |
| 5          | Литейный цех                        | 540   | 400  | 340  |
| 6          | Насосная станция                    | 200   | 150  | 260  |
|            | Насосная станция (10 кВ)            | 1420  | 1280 | 1340 |
| 7          | Заводоуправление                    | 120   | 100  | 130  |
| 8          | Ремонтно- механический цех          | 250   | 210  | 340  |
| 9          | Цех сверления                       | 8200  | 5600 | 6300 |
| 10         | Компрессорная                       | 130   | 180  | 210  |
|            | Компрессорная (10кВ)                | 1200  | 1340 | 1490 |
| 11         | Отдел кадров, ВОХР, столовая        | 420   | 300  | 280  |
| 12         | Освещение цехов и территории завода | Определить по площади                       |      |      |

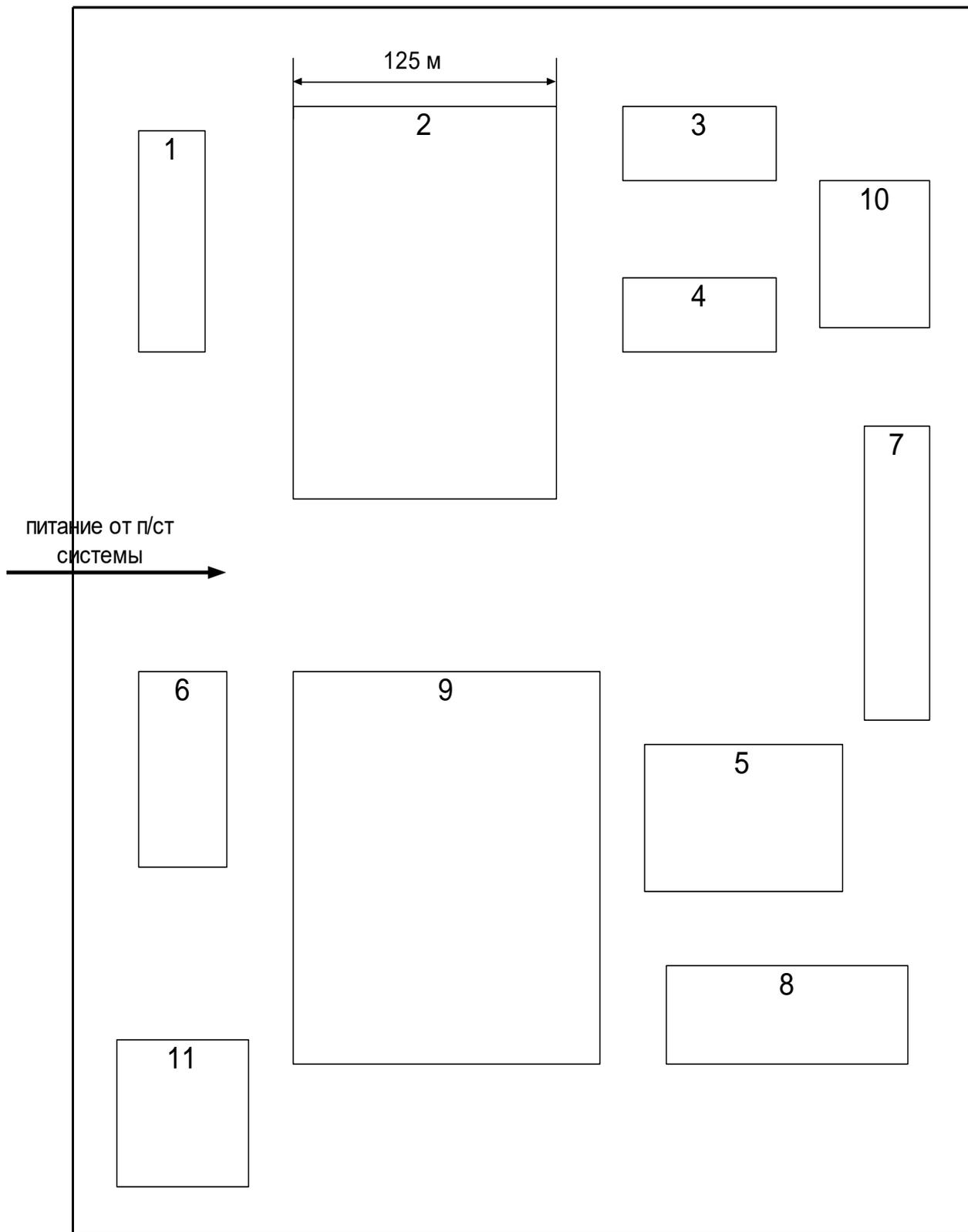


Рисунок 1.А – Генеральный план завода режущих инструментов

## Задание №2

### Тема Электроснабжение металлургического завода

#### Исходные данные на проектирование

1. Генеральный план завода – рисунок 2.А.
2. Сведения об электрических нагрузках завода – таблица 2.А.
3. Питание возможно осуществить от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 60 000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным 35, 20 и 10 кВ
4. Мощность системы 1000 МВА; реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы- 0,7
5. Стоимость электроэнергии 8, 2 тенге/ кВт\*ч
6. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 5 км

Таблица 2.А – Ведомость электрических нагрузок

| № по плану | Наименование цеха                         | Уст. мощность $P_{уст}$ , кВт<br>(варианты) |      |      |
|------------|---|---|------|------|
|            |   | 1   | 2    | 3    |
| 1          | Цех холодной прокатки №1                  | 6130  | 5800 | 6300 |
|            | Цех холодной прокатки №1 (10 кВ)          | 5400  | 3600 | 5140 |
| 2          | Цех трансформаторной и транспортной стали | 4850  | 4125 | 5400 |
| 3          | Цех горячей прокатки                      | 4690  | 3950 | 3650 |
|            | Цех горячей прокатки (10 кВ)              | 6740  | 6300 | 5900 |
| 4          | Цех холодной прокатки №2                  | 5440  | 5130 | 4680 |
|            | Цех холодной прокатки №2 (10 кВ)          | 3650  | 3200 | 4600 |
| 5          | Ремонтно- механический цех                | 3500  | 1200 | 2500 |
| 6          | Трубоэлектросварочный цех №1              | 2200  | 1780 | 1600 |
|            | Трубоэлектросварочный цех №1 (10 кВ)      | 4920  | 4120 | 4560 |
| 7          | Трубоэлектросварочный цех №2              | 2710  | 2500 | 3470 |
|            | Трубоэлектросварочный цех №2 (10 кВ)      | 700   | 530  | 650  |
| 8          | Цех эмали посуды                          | 2170  | 2000 | 2300 |
| 9          | Склад слябов                              | 160   | 145  | 130  |
| 10         | Блок ремонтных цехов                      | 3100  | 2560 | 2990 |
| 11         | ЦЗЛ и заводоуправление                    | 800   | 350  | 670  |
| 12         | Компрессорная                             | 230   | 400  | 380  |
|            | Компрессорная (10кВ)                      | 3125  | 3050 | 3040 |
| 13         | Освещение цехов и территории завода       | Определить по площади                       |      |      |

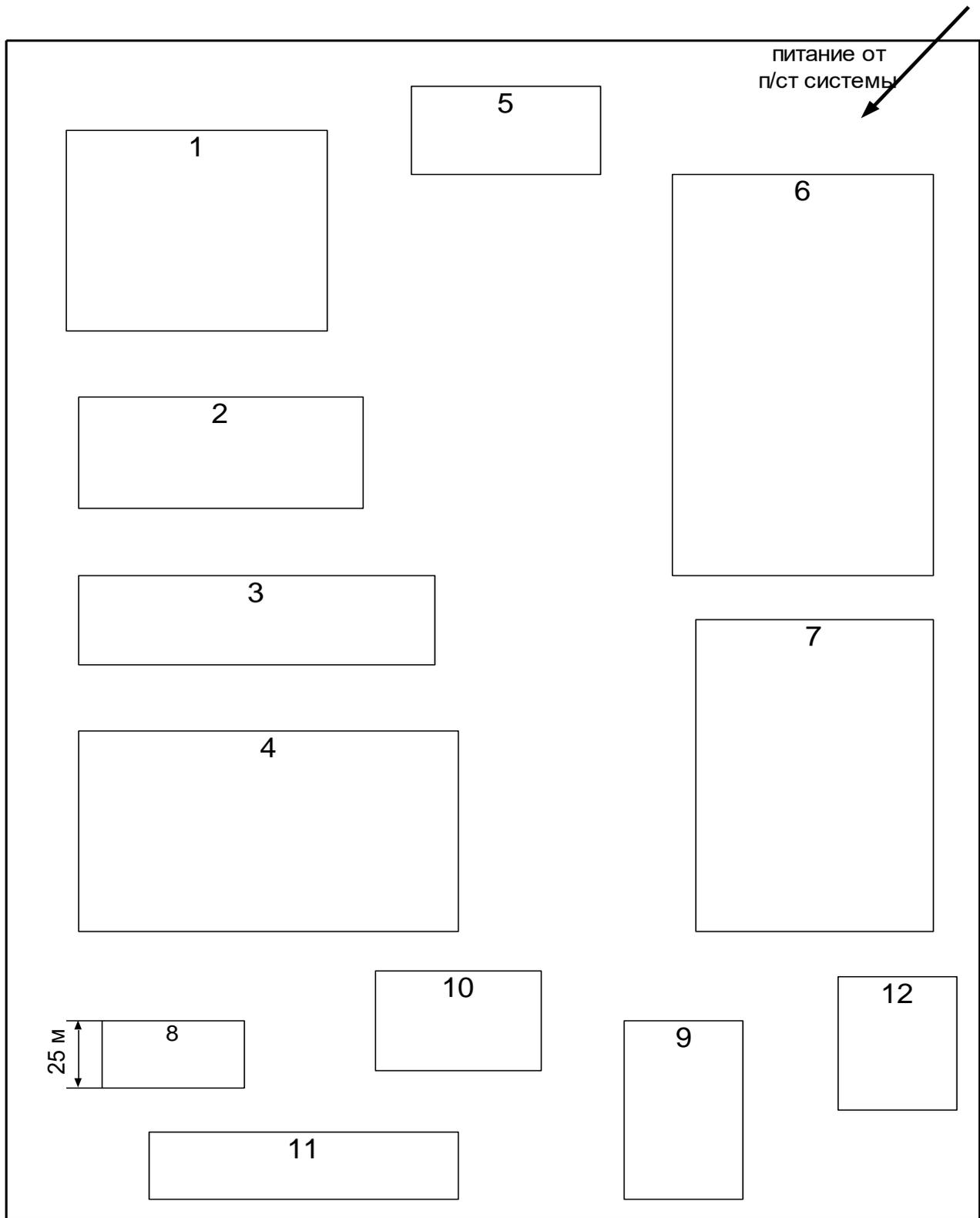


Рисунок 2.А – Генеральный план металлургического завода

### Задание №3

#### Тема Электроснабжение нефтеперерабатывающего завода

##### Исходные данные на проектирование

1. Генеральный план завода – рисунок 3.А.
2. Сведения об электрических нагрузках завода – таблица 3.А.
3. Питание возможно осуществить от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 40 000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным 35, 20 и 10 кВ
4. Мощность системы 600 МВА; реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы- 0,8
5. Стоимость электроэнергии 8,1 тенге/ кВт\*ч
6. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 7, 5 км

Таблица 3.А – Ведомость электрических нагрузок

| № по плану | Наименование цеха                      | Уст. мощность $P_{уст}$ , кВт<br>(варианты) |      |      |
|------------|--|---|------|------|
|            |  | 1   | 2    | 3    |
| 1          | Нефтебаза                              | 480   | 360  | 540  |
| 2          | Котельная                              | 700   | 730  | 675  |
| 3          | Насосная мазута                        | 1100  | 1200 | 950  |
| 4          | Насосная товарного парка №1            | 600   | 800  | 880  |
| 5          | Насосная товарного парка №2            | 390   | 230  | 330  |
| 6          | Электрообессоливающая установка (ЭЛОУ) | 560   | 650  | 480  |
| 7          | Депарафинизированная (ДПУ)             | 340   | 400  | 420  |
| 8          | Водо-насосная                          | 900   | 680  | 800  |
| 9          | Склад                                  | 500   | 455  | 530  |
| 10         | Заводоуправление , гараж               | 270   | 160  | 200  |
| 11         | Цех №1                                 | 420   | 350  | 450  |
|            | Цех№1 (10кВ)                           | 1800  | 1980 | 1600 |
| 12         | Цех №2                                 | 200   | 400  | 300  |
|            | Цех№2 (10кВ)                           | 800   | 560  | 1000 |
| 13         | Цех №3                                 | 450   | 340  | 420  |
|            | Цех№3 (10кВ)                           | 1000  | 1200 | 1100 |
| 14         | Ремонтно- механический цех             | 1200  | 800  | 300  |
| 15         | Освещение цехов и территории завода    | Определить по площади                       |      |      |

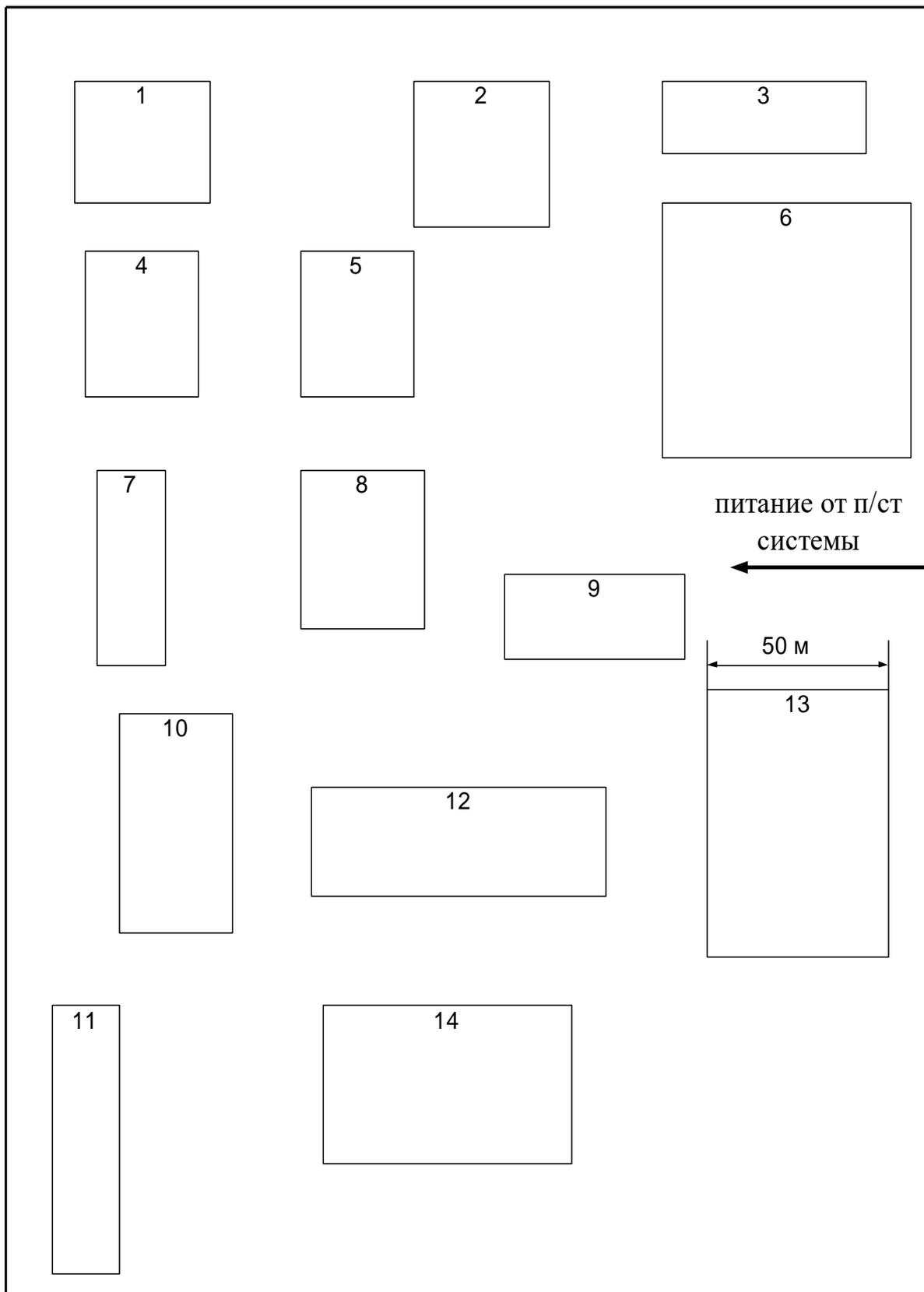


Рисунок 3.А - Генеральный план нефтеперерабатывающего завода

### Задание №4

Тема Электроснабжение завода торгового машиностроения

Исходные данные на проектирование

1. Генеральный план завода – рисунок 4.А
2. Сведения об электрических нагрузках завода – таблица 4.А.
3. Питание возможно осуществить от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 10 000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным 35, 20 и 10 кВ
4. Мощность системы 500 МВА; реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы- 0,4
5. Стоимость электроэнергии 8, 5 тенге/ кВт\*ч
6. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 12 км

Таблица 4.А – Ведомость электрических нагрузок

| № по плану | Наименование цеха                                      | Уст. мощность $P_{уст}$ , кВт<br>(варианты) |      |      |
|------------|--|---|------|------|
|            |  | 1   | 2    | 3    |
| 1          | Деревообрабатывающий цех                               | 500   | 380  | 650  |
| 2          | Цех сборки, компрессорная, испытание холодильных машин | 350   | 430  | 290  |
| 3          | Малярный и опытный цехи                                | 520   | 640  | 450  |
| 4          | Инструментальный и ремонтный цехи                      | 980   | 1020 | 1200 |
| 5          | Цех заготовки пакетов                                  | 100   | 80   | 180  |
| 6          | Центральный цех  | 100   | 10   | 230  |
| 7          | Транспортный цех                                       | 120   | 145  | 75   |
| 8          | Сборочный, заготовительный и механический цехи         | 3200  | 2600 | 2300 |
| 9          | Цех горячего эмалирования                              | 2290  | 1980 | 2300 |
| 10         | Центральная котельная                                  | 1250  | 1390 | 1300 |
| 11         | Заводоуправление и столовая                            | 250   | 350  | 220  |
| 12         | Компрессорная  | 800   | 1000 | 750  |
| 13         | Ремонтно- механический цех                             | 1200  | 2500 | 500  |
| 14         | Освещение цехов и территории завода                    | Определить по площади                       |      |      |

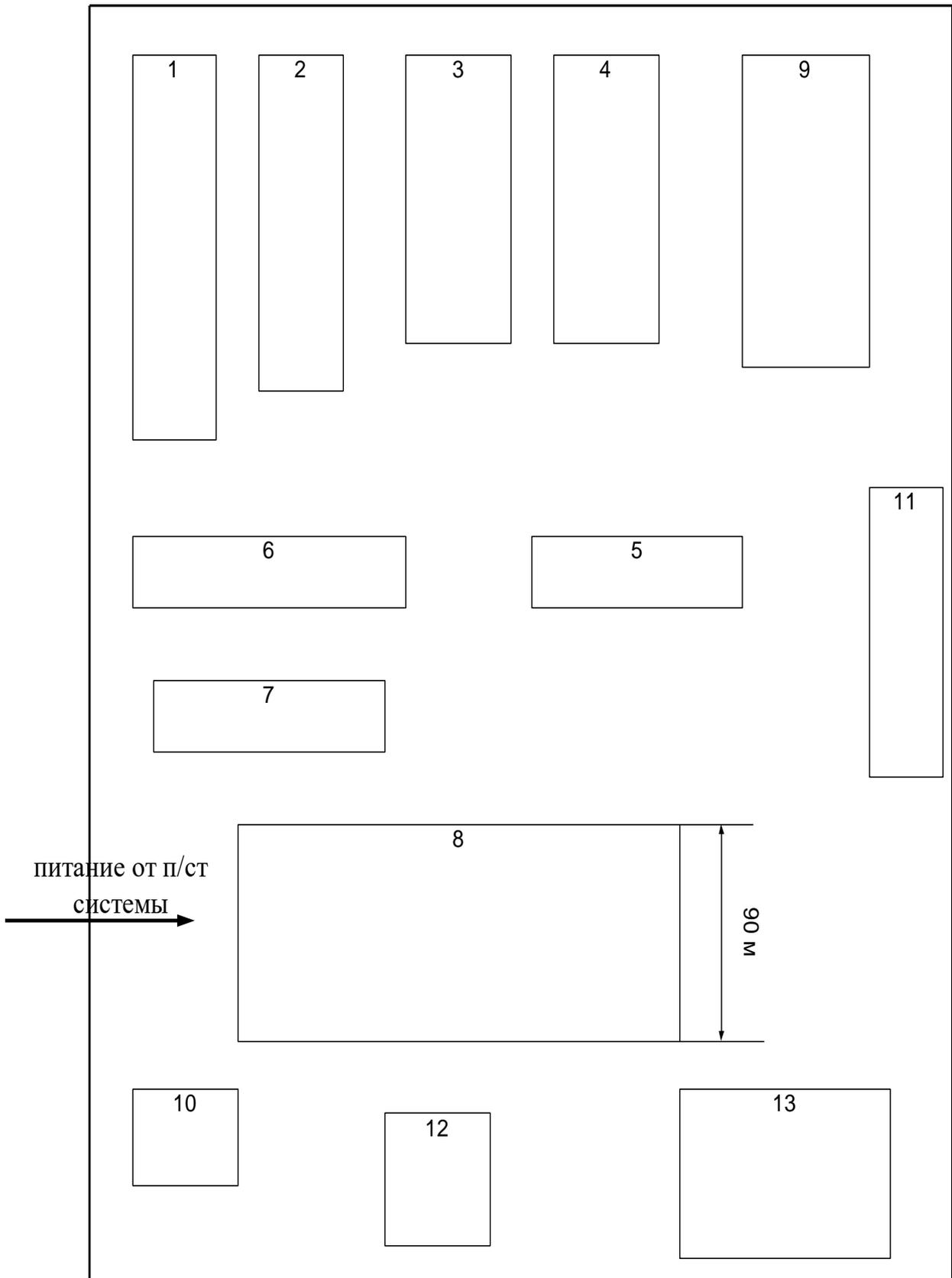


Рисунок 4.А - Генеральный план завода торгового машиностроения

## Задание №5

### Тема Электроснабжение комбината стройиндустрии

#### Исходные данные на проектирование

1. Генеральный план завода – рисунок 5А.
2. Сведения об электрических нагрузках завода – таблица 5.А.
3. Питание возможно осуществить от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 16 000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным 35, 20 и 10 кВ
4. Мощность системы 700 МВА; реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы- 0,8
5. Стоимость электроэнергии 8, 8 тенге/ кВт\*ч
6. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 6 км

Таблица 5.А –Ведомость электрических нагрузок

| № по плану | Наименование цеха                   | Уст. мощность $P_{уст}$ , кВт<br>(варианты) |      |      |
|------------|-------------------------------------|---|------|------|
|            |                                     | 1   | 2    | 3    |
| 1          | Склад заполнителей                  |   | 220  | 160  |
| 2          | Склад цемента                       | 320   | 150  | 370  |
| 3          | Бетонно- растворный завод           | 250   | 300  | 320  |
| 4          | Котельная                           | 580   | 600  | 430  |
| 5          | Арматурный цех                      | 1530  | 1700 | 1320 |
| 6          | Завод крупнопанельного домостроения | 1420  | 1000 | 1600 |
| 7          | Завод железобетонных изделий        | 580   | 670  | 720  |
| 8          | Компрессорная                       | 160   | 200  | 140  |
|            | Компрессорная (10кВ)                | 1200  | 800  | 1320 |
| 9          | Завод ячеистых блоков               | 760   | 545  | 630  |
| 10         | Завод минеральных изделий           | 1360  | 1560 | 1090 |
| 11         | База механизации                    | 760   | 800  | 870  |
| 12         | Цех металлоконструкций              | 900   | 1050 | 850  |
| 13         | Управление комбината, столовая      | 390   | 320  | 490  |
| 14         | Ремонтно- механический цех          | 3900  | 2100 | 500  |
| 15         | Освещение цехов и территории завода | Определить по площади                       |      |      |

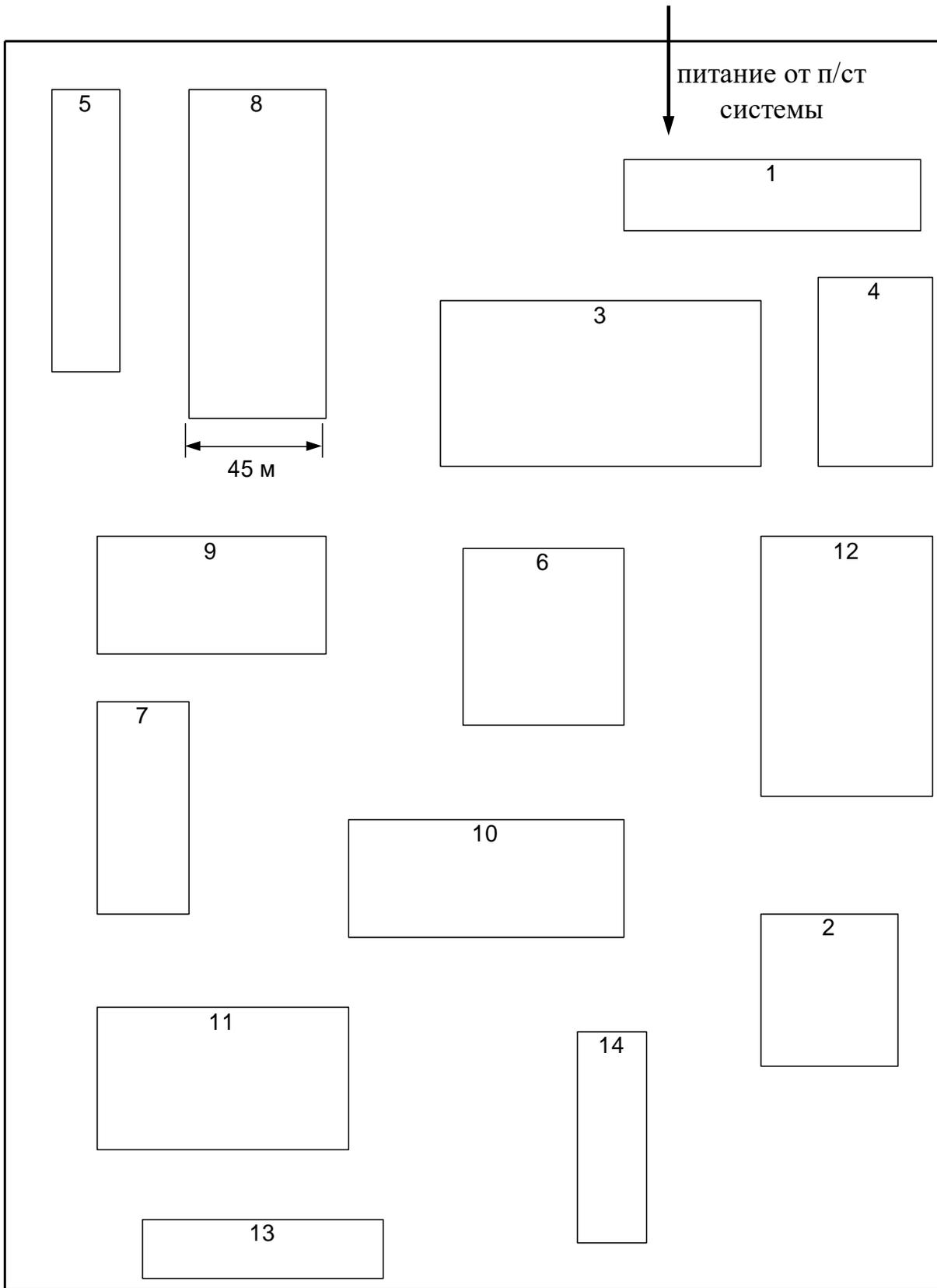


Рисунок 5.А - Генеральный план комбината стройиндустрии

### Задание №6

Тема Электроснабжение химического завода по производству прямых и обратных красителей

#### Исходные данные на проектирование

1. Генеральный план завода – рисунок 6.А
2. Сведения об электрических нагрузках завода – таблица 6.А.
3. Питание возможно осуществить от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 40 000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным 35, 20 и 10 кВ
4. Мощность системы 900 МВА; реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы- 0,7
5. Стоимость электроэнергии 7, 8 тенге/ кВт\*ч
6. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 9 км

Таблица 6.А – Ведомость электрических нагрузок

| № по плану | Наименование цеха                   | Уст. мощность $P_{уст}$ , кВт<br>(варианты) |      |      |
|------------|-------------------------------------|---|------|------|
|            |                                     | 1   | 2    | 3    |
| 1          | Цех прямых красителей               | 4620  | 5800 | 4000 |
| 2          | Цех полупродуктов №1                | 1800  | 1300 | 2100 |
| 3          | Холодильная установка №1            | 850   | 800  | 1000 |
|            | Холодильная установка (10 кВ, СД)   | 8400  | 7600 | 9100 |
| 4          | Административно – бытовой корпус    | 250   | 200  | 180  |
| 5          | Градирня                            | 20  | 100  | 80   |
|            | Градирня (10 кВ)                    | 1000  | 600  | 380  |
| 6          | Компрессорная                       | 580   | 430  | 650  |
|            | Компрессорная (10 кВ, СД)           | 8000  | 7300 | 7400 |
| 7          | Подсобный цех                       | 400   | 340  | 420  |
| 8          | Цех полупродуктов №2                | 625   | 500  | 450  |
| 9          | Цех активных красителей             | 1200  | 1300 | 1500 |
| 10         | Холодильная установка №2            | 600   | 390  | 540  |
| 11         | Ремонтно – механический цех         | 580   | 780  | 1200 |
| 12         | Освещение цехов и территории завода | Определить по площади                       |      |      |

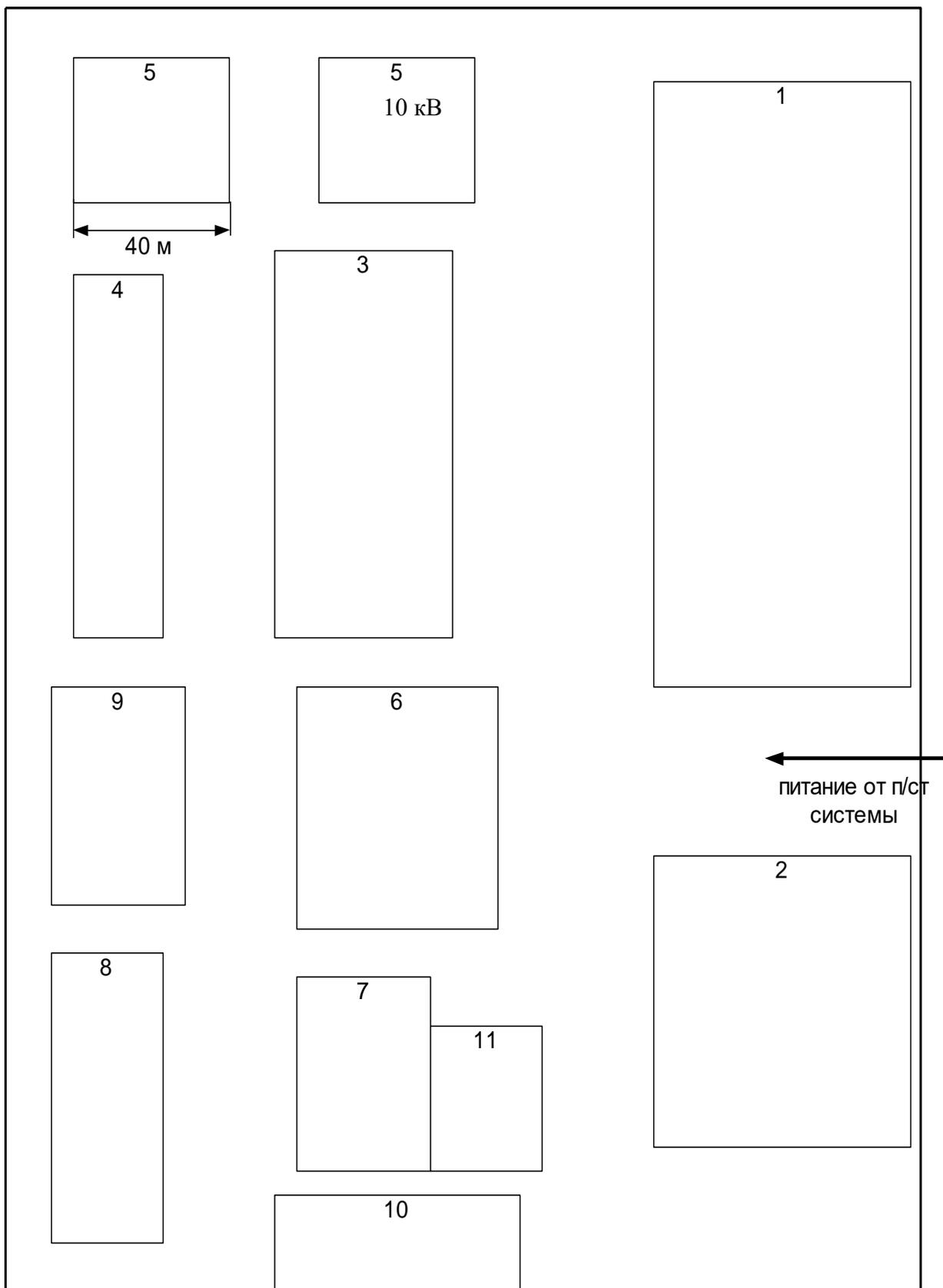


Рисунок 6.А – Генеральный план завода по производству прямых и обратных красителей

## Задание №7

### Тема Электроснабжение электроаппаратного завода

#### Исходные данные на проектирование

1. Генеральный план завода – рисунок 7.А
2. Сведения об электрических нагрузках завода – таблица 7.А.
3. Питание возможно осуществить от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 40 000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным 35, 20 и 10 кВ
4. Мощность системы 1000 МВА; реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы- 0,8
5. Стоимость электроэнергии 8, 15 тенге/ кВт\*ч
6. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 9 км

Таблица 7.А – Ведомость электрических нагрузок

| № по плану | Наименование цеха                     | Уст. мощность $P_{уст}$ , кВт<br>(варианты) |      |      |
|------------|---------------------------------------|---|------|------|
|            |                                       | 1   | 2    | 3    |
| 1          | Цех магнитных станций                 | 3159  | 3000 | 3800 |
| 2          | Заготовительно- сварочный цех         | 4120  | 4000 | 3800 |
| 3          | Цех пластмасс                         | 1840  | 1500 | 1200 |
|            | Цех пластмасс (10 кВ)                 | 1600  | 1900 | 2100 |
| 4          | Аппаратный цех                        | 1380  | 1400 | 1250 |
| 5          | Цех нормалей                          | 980   | 560  | 760  |
| 6          | Штамповочный цех                      | 1660  | 1700 | 1540 |
| 7          | Цех асбоцементных плит                | 830   | 800  | 780  |
| 8          | Склады                                | 265   | 200  | 150  |
| 9          | Гальванический цех                    | 860   | 900  | 930  |
| 10         | Ремонтно – механический цех           | 450   | 850  | 420  |
| 11         | Компрессорная                         | 240   | 350  | 220  |
|            | Компрессорная (10 кВ)                 | 1200  | 1390 | 1290 |
| 12         | Лабораторно – административный корпус | 1190  | 1300 | 1150 |
| 13         | Освещение цехов и территории завода   | Определить по площади                       |      |      |

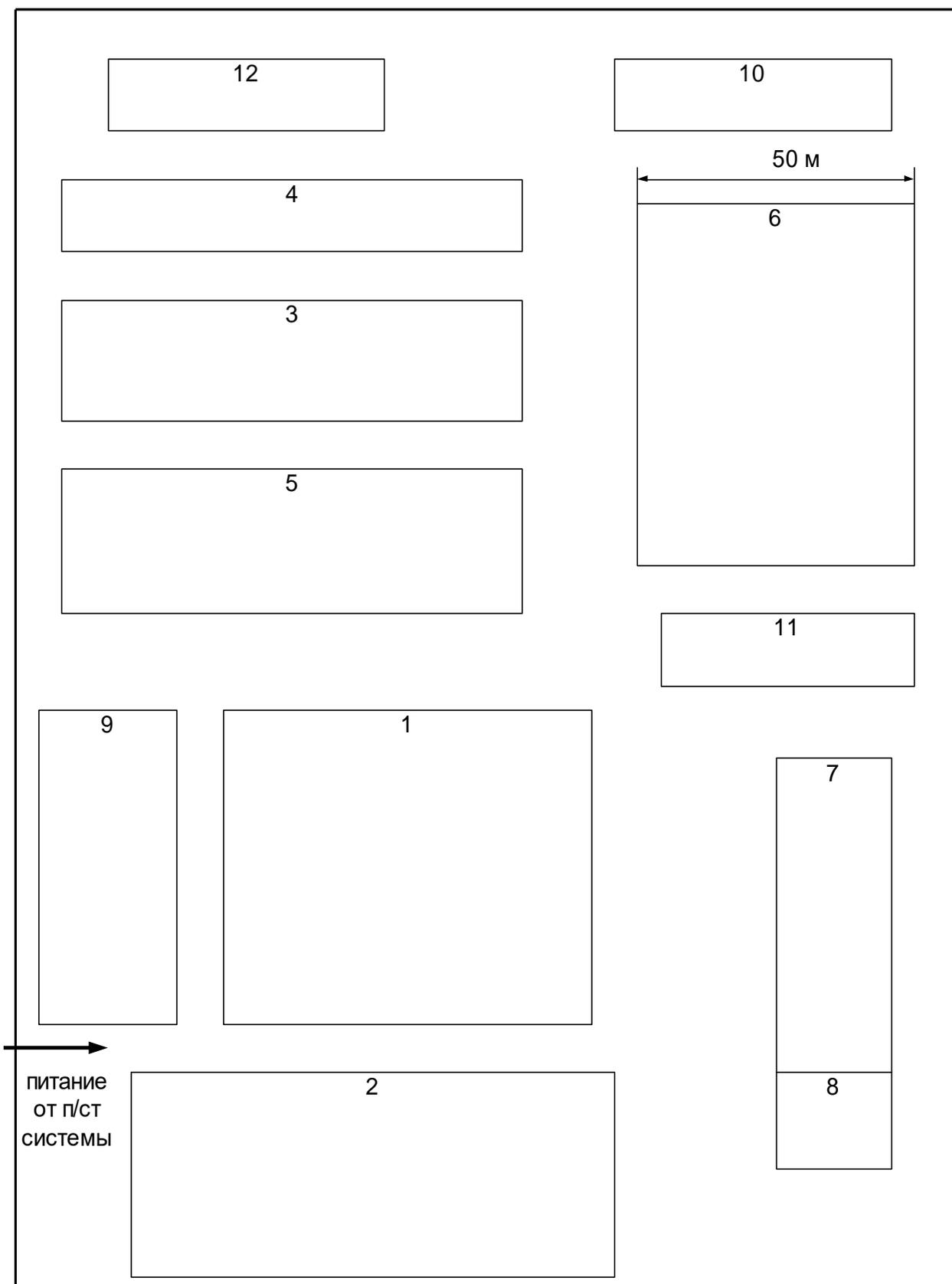


Рисунок 7.А – Генеральный план электроаппаратного завода

## Задание №8

### Тема Электроснабжение завода горношахтного оборудования

#### Исходные данные на проектирование

1. Генеральный план завода – рисунок 8.А
2. Сведения об электрических нагрузках завода – таблица 8.А.
3. Питание возможно осуществить от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 60 000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным 35, 20 и 10 кВ
4. Мощность системы 1000 МВА; реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы- 0,7
5. Стоимость электроэнергии 8, 8 тенге/ кВт\*ч
6. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 13 км

Таблица 8.А – Ведомость электрических нагрузок

| № по плану | Наименование цеха  | Уст. мощность $P_{уст}$ , кВт<br>(варианты) |      |      |
|------------|--|---|------|------|
|            |  | 1   | 2    | 3    |
| 1          | Столовая   | 120   | 180  | 80   |
| 2          | Инженерный корпус, бытовые помещения                     | 330   | 350  | 200  |
| 3          | Блок №2  | 2100  | 2340 | 1900 |
| 4          | Блок №1<br>Блок №1 (10 кВ)                               | 2600  | 2500 | 2890 |
|            |  | 1800  | 1490 | 1950 |
| 5          | Кузнечный цех  | 1150  | 1300 | 1250 |
| 6          | Термообрубной цех Блок №3                                | 500   | 550  | 630  |
| 7          | Блок №3  | 2300  | 2200 | 2160 |
| 8          | Сталелитейный цех<br>Сталелитейный цех (10 кВ)           | 700   | 860  | 900  |
|            |  | 2300  | 2100 | 2200 |
| 9          | Блок складов   | 130   | 180  | 190  |
| 10         | Деревообрабатывающий блок                                | 280   | 370  | 190  |
| 11         | Чугунно – литейный цех<br>Чугунно – литейный цех (10 кВ) | 850   | 750  | 980  |
|            |  | 450   | 380  | 400  |
| 12         | Компрессорная станция<br>Компрессорная станция (10 кВ)   | 220   | 350  | 380  |
|            |  | 1880  | 1950 | 1700 |
| 13         | Ремонтно – механический цех                              | 1200  | 1250 | 1300 |
| 13         | Освещение цехов и территории завода                      | Определить по площади                       |      |      |

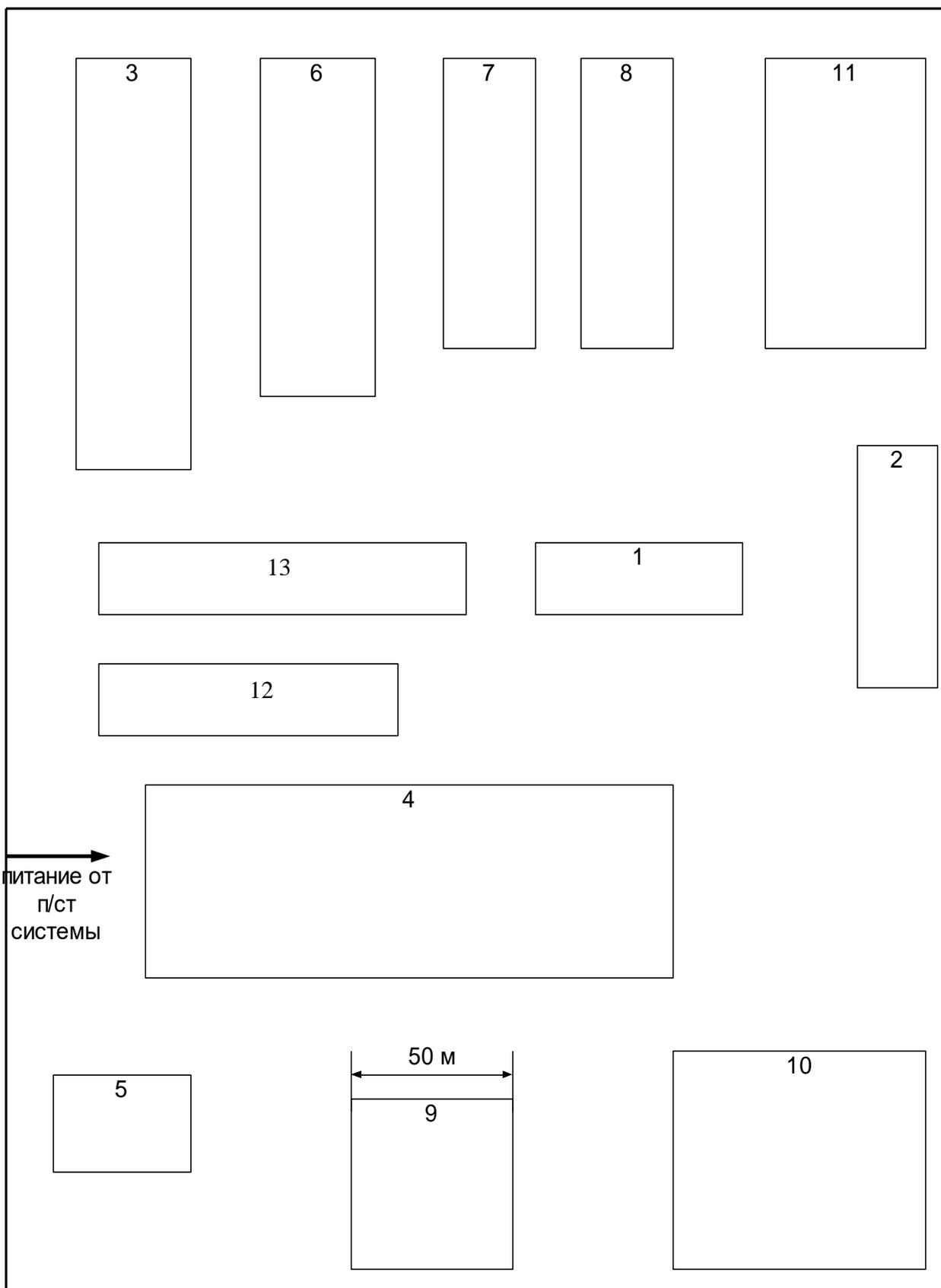


Рисунок 8.А – Генеральный план завода горношахтного оборудования

### Задание №9

Тема Электроснабжение деревообрабатывающего завода

Исходные данные на проектирование

1. Генеральный план завода – рисунок 9.А
2. Сведения об электрических нагрузках завода – таблица 9.А.
3. Питание возможно осуществить от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 10 000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным 35, 20 и 10 кВ
4. Мощность системы 400 МВА; реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы- 0,5
5. Стоимость электроэнергии 8, 3 тенге/ кВт\*ч
6. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 8 км

Таблица 9.А – Ведомость электрических нагрузок

| № по плану | Наименование цеха                       | Уст. мощность $P_{уст}$ , кВт<br>(варианты) |      |      |
|------------|---|---|------|------|
|            |   | 1   | 2    | 3    |
| 1          | Лесопильный цех                         | 1600  | 1500 | 1720 |
| 2          | Сушильный цех                           | 500   | 630  | 600  |
| 3          | Ремонтно – механический цех             | 1200  | 800  | 700  |
| 4          | Биржа сырья                             | 700   | 480  | 620  |
| 5          | Столярный цех                           | 900   | 1040 | 830  |
| 6          | Цех №1                                  | 620   | 700  | 690  |
| 7          | Мебельный цех                           | 450   | 520  | 390  |
| 8          | Насосная                                | 480   | 400  | 450  |
| 9          | Сборочный цех                           | 420   | 380  | 290  |
| 10         | Компрессорная станция                   | 150   | 180  | 220  |
|            | Компрессорная станция (10 кВ)           | 1440  | 1490 | 1540 |
| 11         | Заводуправление, лаборатория , столовая | 290   | 350  | 340  |
| 12         | Освещение цехов и территории завода     | Определить по площади                       |      |      |

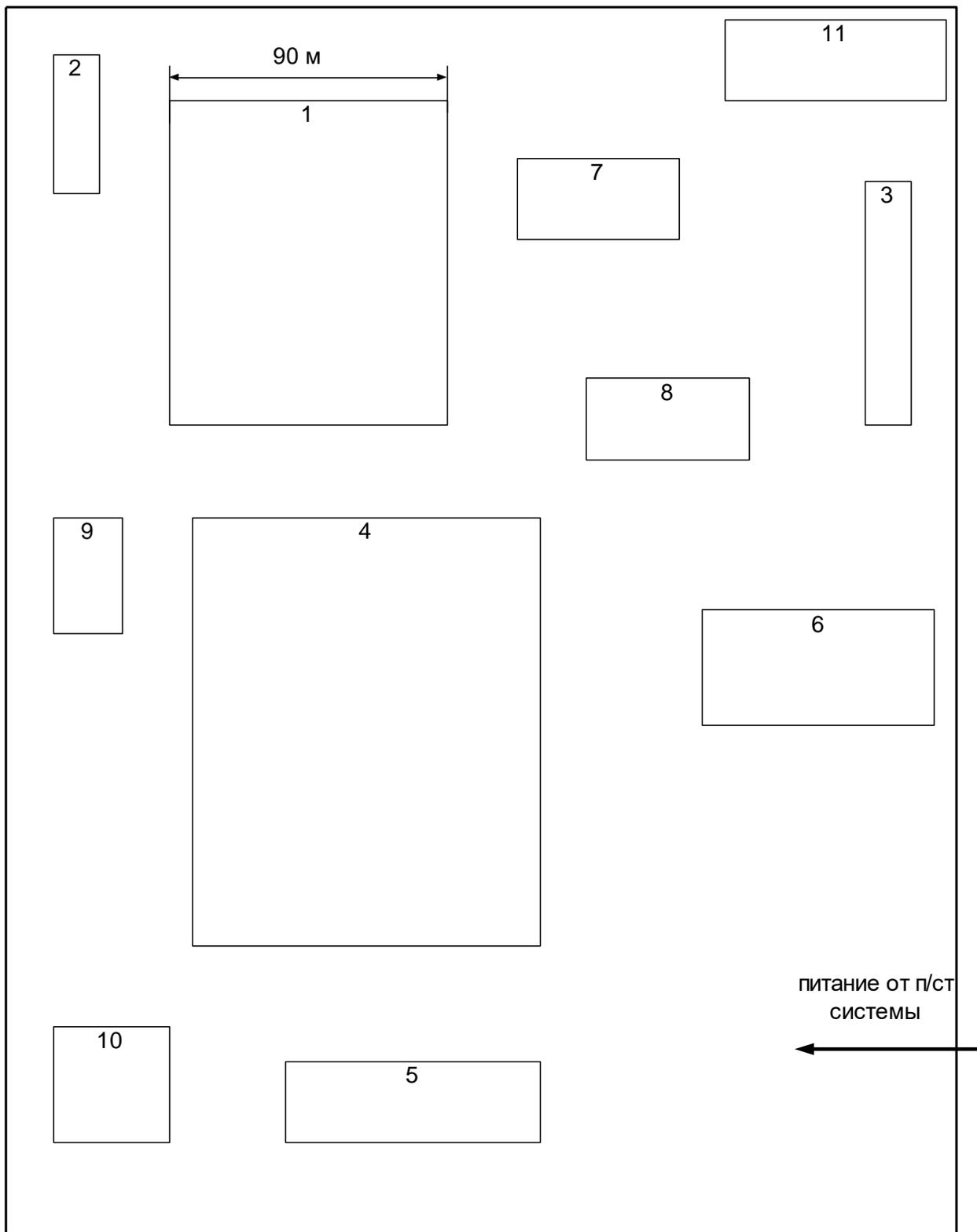


Рисунок 9.А – Генеральный план деревообрабатывающего завода

## Задание №10

### Тема Электроснабжение текстильного комбината

#### Исходные данные на проектирование

1. Генеральный план завода – рисунок 10.А
2. Сведения об электрических нагрузках завода – таблица 10.А.
3. Питание возможно осуществить от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 60 000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным 35, 20 и 10 кВ
4. Мощность системы 800 МВА; реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы- 0,6
5. Стоимость электроэнергии 7, 95 тенге/ кВт\*ч
6. Расстояние от подстанции энергосистемы до комбината 10 км

Таблица 10.А – Ведомость электрических нагрузок

| № по плану | Наименование цеха                      | Уст. мощность $P_{уст}$ , кВт<br>(варианты) |      |      |
|------------|--|---|------|------|
|            |  | 1   | 2    | 3    |
| 1          | АБК (административно – бытовой корпус) | 100   | 80   | 130  |
| 2          | Прядильно – кордная фабрика            | 3500  | 2960 | 3350 |
| 3          | Ткацкая фабрика №1                     | 1600  | 1850 | 1700 |
| 4          | Ткацкая фабрика №2                     | 1150  | 900  | 1080 |
| 5          | Отделочная фабрика                     | 3000  | 2550 | 3100 |
| 6          | Станция водоподготовки                 | 550   | 600  | 460  |
| 7          | Склад                                  | 150   | 230  | 120  |
| 8          | Компрессорная                          | 600   | 800  | 880  |
| 9          | Холодильная станция                    | 1105  | 1400 | 1000 |
|            | Холодильная станция (10 кВ)            | 6000  | 5600 | 6300 |
| 10         | Насосная                               | 380   | 400  | 205  |
| 11         | Ремонтно – механический цех            | 850   | 750  | 650  |
| 12         | Освещение цехов и территории завода    | Определить по площади                       |      |      |

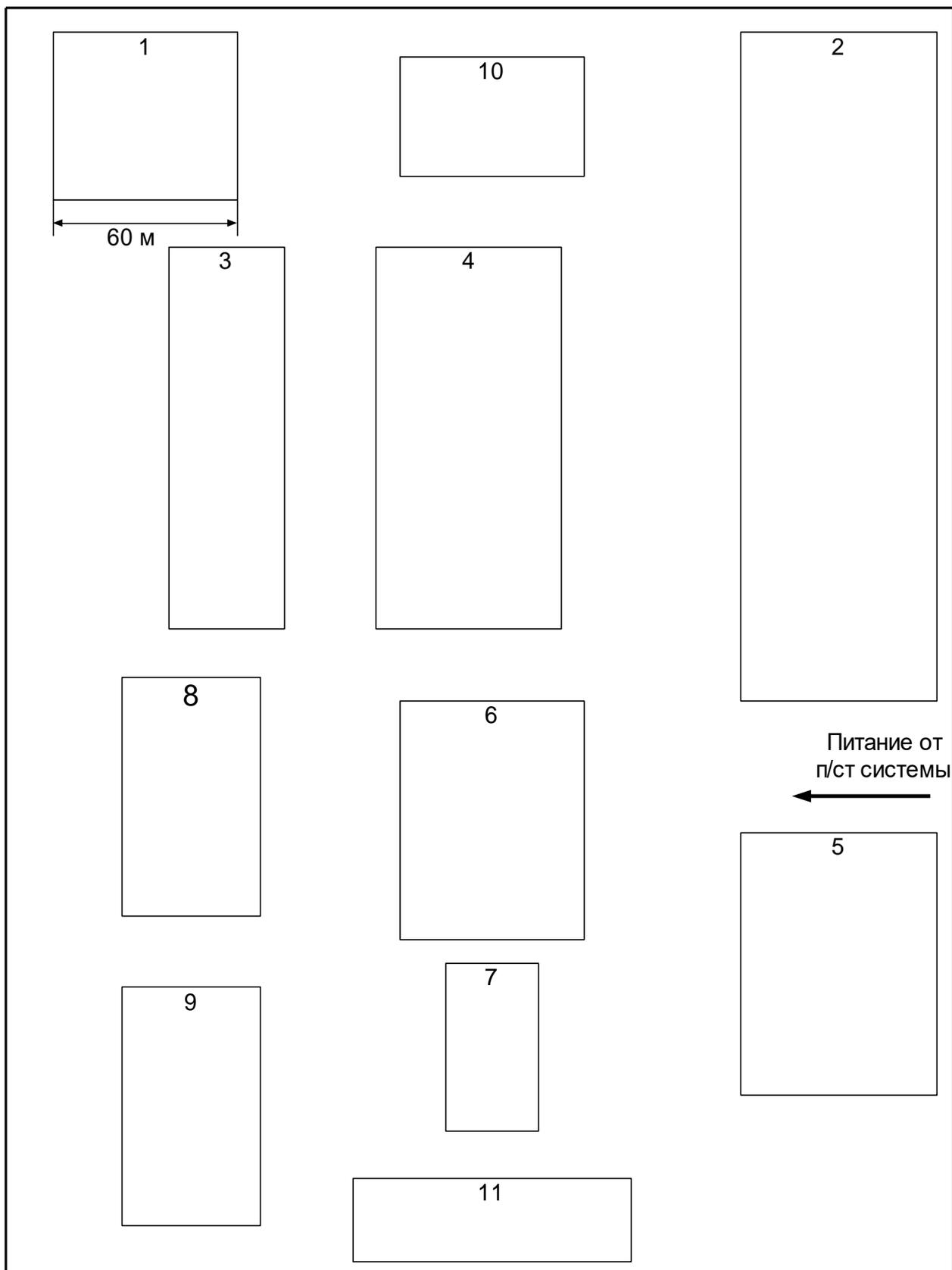


Рисунок 10.А – Генеральный план текстильного комбината

## Приложение Б

Таблица Б.1 - Буквенные коды, определяющие вид электрических элементов в соответствии с ГОСТ 2.710–81

| Первая буква кода | Группа видов элементов  | Примеры электрических приборов   | Двухбуквенный код  |
|-------------------|---|--|--|
| 1                 | 2   | 3  | 4  |
| A                 | Устройства (общие обозначение)  | Усилители, приборы телеуправления, лазеры, мазеры.<br>Устройство АПВ   | AKS  |
| B                 | Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот, аналоговые или многозарядные преобразователи или датчики для указания или измерители | Громкоговоритель<br>Магнитострикционный элемент<br>Детектор ионизирующих излучений<br>Сельсин-приёмник<br>Телефон (капсюль)<br>Сельсин-датчик<br>Тепловой датчик<br>Фотоэлемент<br>Микрофон<br>Датчик давления<br>Пьезоэлемент<br>Датчик частоты вращения (тахогенератор)<br>Звукосниматель<br>Датчик скорости | BA<br>BB<br>BD<br>BE<br>BF<br>BC<br>BR<br>BL<br>BV<br>BP<br>BQ<br>BR<br>BS<br>BV |
| C                 | Конденсаторы  | Силовая батарея конденсаторов  | CB   |
| D                 | Схемы интегральные, микросборки   | Схема интегральная аналоговая<br>Схема интегральная цифровая, логический элемент<br>Устройство хранения информации<br>Устройство задержки  | DA<br>DD<br>DS<br>DT   |
| E                 | Элементы разные (осветительные устройства, нагревательные элементы)   | Нагревательные элемент   | EK   |
|                   |   | Лампы осветительные  | EL   |
|                   |   | Пиропатрон   | T  |
| F                 | Разрядники, предохранители, устройства защитные   | Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия<br>Дискретный элемент защиты по току инерционного действия<br>Предохранитель плавкий<br>Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник  | FA<br>FP<br>FU<br>FV   |
| G                 | Генераторы, источники питания, кварцевые осцилляторы  | Генератор, аккумулятор батареи<br>Батарея<br>Синхронный компенсатор  | G<br>GB<br>GC  |
| H                 | Устройства индикационные и сигнальные   | Прибор звуковой сигнализации<br>Индикатор символьный<br>Прибор световой сигнализации<br>Лампа сигнальная с белой линзой<br>Лампа сигнальная с зелёной линзой<br>Лампа сигнальная с красной линзой  | HA<br>HG<br>HL<br>HLW<br>HLG<br>HLR  |

Продолжение таблицы Б. 1

| 1                | 2   | 3  | 4    |
|------------------|---|--|------|
| К                | Реле, контакторы, пускатели   | Реле токовое   | КА   |
|                  |   | Реле указательное                                    | КН   |
|                  |   | Реле электротепловое                                 | КК   |
|                  |   | Реле напряжения                                      | КV   |
|                  |   | Контактор, магнитный пускатель                       | КМ   |
|                  |   | Реле частоты   | KF   |
|                  |   | Реле времени   | КТ   |
|                  |   | Реле промежуточное                                   | KL   |
| L                | Катушка индуктивности, дроссели   | Дроссели люминесцентного освещения                   | LL   |
|                  |   | Реакторы   | LR   |
|                  |   | Реактор секционный                                   | L RK |
| M                | Двигатели постоянного и переменного тока  |  |      |
| P                | Приборы, измерительное оборудование (сочетание PE применять не допускается)   | Амперметр  | PA   |
|                  |   | Счётчик импульсов                                    | PC   |
|                  |   | Частотомер   | PF   |
|                  |   | Счётчик активной энергии                             | PI   |
|                  |   | Счётчик реактивной энергии                           | PK   |
|                  |   | Омметр   | PR   |
|                  |   | Регистрирующий прибор                                | PS   |
|                  |   | Часы, измеритель времени действия                    | PT   |
|                  |   | Вольтметр  | PV   |
|                  |   | Ваттметр   | PW   |
| Q                | Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т.д.)  | Выключатель в силовых цепях                          | Q    |
|                  |   | Выключатель автоматический                           | QF   |
|                  |   | Выключатель нагрузки                                 | QW   |
|                  |   | Выключатель секционный                               | QK   |
|                  |   | Выключатель шиносоединительный                       | QA   |
|                  |   | Разъединитель  | QS   |
|                  |   | Короткозамыкатель                                    | QN   |
|                  |   | Отделитель   | QR   |
|                  |   | Рубильник  | QS   |
|                  |   | Разъединитель заземляющий                            | QSG  |
| R                | Резисторы   | Терморезистор  | RK   |
|                  |   | Потенциометр   | RP   |
|                  |   | Шунт измерительный                                   | RS   |
|                  |   | Варистор   | RU   |
| S                | Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительные (обозначение SF применяют для аппаратов, не имеющих контактов силовых цепей) | Выключатель или переключатель                        | SA   |
|                  |   | Выключатель кнопочный                                | SB   |
|                  |   | Выключатель автоматический                           | SF   |
|                  |   | Выключатели, срабатывающие от различных воздействий: |      |
|                  |   | уровня   | SL   |
|                  |   | давления   | SP   |
|                  |   | положения (путевой)                                  | SQ   |
| частоты вращения | SR  |  |      |
| температуры      | SK  |  |      |
| T                | Трансформаторы, автотрансформаторы  | Трансформатор тока                                   | TA   |
|                  |   | Электромагнитный стабилизатор                        | TS   |
|                  |   | Трансформатор напряжения                             | TV   |
| U                | Устройства связи<br>Преобразователи электрических величин   | Модулятор  | UB   |
|                  |   | Демодулятор  | UR   |
|                  |   | Преобразователь частотный.                           | UF   |
|                  |   | Выпрямитель  | UD   |

Окончание таблицы Б.1

| 1 | 2   | 3                                 | 4   |
|---|---|-----------------------------------|-----|
| V | Приборы электровакуумные и полупроводниковые        | Диод, стабилитрон                 | VD  |
|   |   | Прибор электровакуумный           | VL  |
|   |   | Транзистор                        | VT  |
|   |   | Тиристор                          | VS  |
| W | Линия и элементы СВЧ                                | Линия электропередачи             | W   |
|   |   | Ответвитель                       | WE  |
|   |   | Короткозамыкатель                 | WK  |
|   |   | Вентиль                           | WS  |
|   | Антенны   | Трансформатор, фазовращатель      | WT  |
|   |   | Аттенюатор                        | WU  |
| X | Соединения контактные                               | Антенна                           | WA  |
|   |   | Токосъёмник, контакт скользящий   | XA  |
|   |   | Штырь                             | XP  |
|   |   | Гнездо                            | XS  |
|   |   | Соединение разборное              | XT  |
|   |   | Соединитель высокочастотный       | XW  |
| Y | Устройства механические с электромагнитным приводом | Электромагнит включения           | YAC |
|   |   | Электромагнит отключения          | YAT |
|   |   | Муфта с электромагнитным приводом | YC  |
|   |   | Электромагнитный патрон или плита | YH  |
| Z | Устройства конечные, фильтры, ограничители          | Ограничитель                      | ZL  |
|   |   | Фильтр кварцевый                  | ZQ  |

## **Приложение В**

Образец оформления титульного листа курсового проекта  
Министерство образования и науки Республики Казахстан

Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова

Кафедра электроэнергетики и физики

### **Курсовой проект**

**На тему: Электроснабжение текстильного комбината  
(вариант 10-3)**

Дисциплина Проектирование систем электроснабжения  
Специальность 5В071800 - Электроэнергетика

**Выполнил:**

Мустафин А. А., студент 4 курса  
очной формы обучения

**Научный руководитель:**

Ф.И.О., к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_

Защита курсовой работы  
состоялась \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
оценка \_\_\_\_\_

Костанай, 20\_\_

## Приложение Г

### Образец оформления списка использованных источников

#### Список использованных источников

- 1.Дукенбаев, К. Энергетика Казахстана. В 2-х т. Том 1. – Алматы.: 2002. - 361с
- 2.Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Промышленные электрические сети./ Сост.: Т.В. Анчарова, В.В.Каменева, А.А. Катарская; Под общ. ред. А.А.Фёдорова и Г.В. Сербиновского – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1980. – 598 с., ил.
- 3.Мукосеев, Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1973. – 584 с., ил.
- 4.Правила устройства электроустановок. – Астана, 2012. -640 с., ил.
5. Ткаченко, В.В. Проектирование электрической части агропромышленных объектов. – Костанай.: КГУ им. А.Байтурсынова, 2006 г. – 116 с.
- 6.Алиев И.И., Абрамов М.Б. Электрические аппараты. / Справочник – М.: Высшая школа, 2002. – 255 с., ил.
- 7.Электротехнический справочник в 4-х т. Т 2. Электротехнические изделия и устройства./ Под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова и др. / гл. ред. И.Н. Орлов / - 8-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 1998 – 518 с., ил.
8. НПП «Промышленное электрооборудование». Номенклатурный каталог. – М.: 2000. – 113 с., ил.
- 9.Справочник по проектированию подстанций 35-500 кВ. / Г.К.Вишняков, Е.А. Гоберман, С.Л. Гольцман и др.; Под ред. С.С.Рокотяна и Я.С.Самойлова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 352 с., ил
- 10.Справочник по проектированию электроснабжения, линий электропередачи и сетей. Под ред. Я.М.Большама, В.И.Круповича, М.Л.Самовера. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1974.
- 11.Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Электрооборудование и автоматизация./ Сост.: Т.В. Анчарова, В.В.Каменева, А.А. Катарская; Под общ. ред. А.А.Фёдорова и Г.В. Сербиновского – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 624 с., ил.
- 12.Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Под общ. ред. Б.Н. Неклепаева. Изд. 2-е, перераб. – М.: Энергия, 1972. – 336 с., ил. Авт.: И.П.Крючков, Н.Н. Кувшинский, Б.Н. Неклепаев, А.В. Чугреев.
- 13.Справочник по электрическим установкам высокого напряжения. Под ред. проф. Н.А. Баумштейна и М.В.Хомякова. – М.: Энергия, 1989. – 568 с., ил.

## Приложение Д

Костанайский государственный университет им. А.Байтурсынова

Кафедра электроэнергетики и физики/

Специальность 5В071800 - Электроэнергетика

Программа и форма обучения - основная образовательная программа, очная форма обучения

Курс \_\_\_\_\_

### РЕЦЕНЗИЯ

на курсовой проект

Ф.И.О. студента \_\_\_\_\_

Дисциплина \_\_\_\_\_

Тема работы (проекта) \_\_\_\_\_

Рецензент (Ф.И.О.) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Рецензент \_\_\_\_\_

Подпись

И.Ф.

Работа (проект) допущена к защите \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г.

## Приложение Е

### Данные к электротехническим расчетам

Таблица 1.Е - Коэффициенты спроса и коэффициенты реактивной мощности

| Наименование цеха, производства  | $K_c$     | $\cos\varphi$ |
|--|-----------|---------------|
| 1  | 2         | 3             |
| <i>Корпуса, цеха, насосные и другие установки общепромышленного назначения</i> |           |               |
| Блок основных цехов  | 0,40-0,50 | 0,75          |
| Блок вспомогательных цехов   | 0,30-0,35 | 0,7           |
| Кузнечно-прессовые   | 0,40-0,5  | 0,75          |
| Термические, закалочные  | 0,6       | 0,75          |
| Металлоконструкций, сварочно-заготовительные                                   | 0,25-0,35 | 0,65-0,75     |
| Механосборочные, столярные, модельные  | 0,20-0,30 | 0,60-0,80     |
| Малярные, красильные   | 0,40-0,50 | 0,60-0,70     |
| Собственные нужды ТЭЦ  | 0,60-0,70 | 0,8           |
| Лаборатории, заводоуправления, конструкторские бюро, конторы                   | 0,40-0,50 | 0,70-0,80     |
| Депо электрокар  | 0,50-0,70 | 0,70-0,80     |
| Депо (паровозное, пожарное, железнодорожное)                                   | 0,30-0,40 | 0,60-0,80     |
| Гаражи автомашин   | 0,20-0,30 | 0,7           |
| Котельные  | 0,50-0,60 | 0,8           |
| Склады готовой продукции, металла, магазины                                    | 0,30-0,40 | 0,8           |
| Столовая   | 0,40-0,50 | 0,9           |
| Лесозаводы   | 0,35-0,45 | 0,75          |
| Лесосушки  | 0,60-0,70 | 0,75-0,90     |
| Термическая нагрузка (нагревательные печи)                                     | 0,70-0,80 | 0,85-0,90     |
| Крановая нагрузка, подъемники  | 0,20-0,30 | 0,50-0,70     |
| Электросварка  | 0,6       | 0,35          |
| Малярные, модельные  | 0,40-0,50 | 0,50-0,60     |
| Склады открытые  | 0,20-0,30 | 0,60-0,70     |
| Насосная   | 0,75-0,8  | 0,85          |
| Компрессорная  | 0,8       | 0,86          |
| <i>Медеплавильные заводы</i>   |           |               |
| Ватержакеты и отражательные печи   | 0,5       | 0,8           |
| Цех рафинации меди   | 0,6       | 0,75          |
| <i>Завод цветной металлургии</i>   |           |               |
| Цех электролиза  | 0,7       | 0,85          |
| Отдел регенерации  | 0,5       | 0,8           |
| Разливочная  | 0,4       | 0,7           |
| Лаборатория  | 0,25      | 0,7           |
| Аглоцех  | 0,5       | 0,8           |
| <i>Завод черной металлургии</i>  |           |               |
| Цех холодного проката  | 0,40-0,50 | 0,8           |
| Цех горячего проката   | 0,50-0,60 | 0,8           |

Продолжение таблицы 1.Е

| 1                                    | 2         | 3         |
|--------------------------------------|-----------|-----------|
| Мартеновский цех                     | 0,40-0,50 | 0,75      |
| Доменный цех                         | 0,45      | 0,75      |
| Слябинг                              | 0,5       | 0,75      |
| Цех сталеплаильных печей             | 0,4       | 0,8       |
| Цех проката жести                    | 0,45      | 0,7-0,8   |
| <i>Обогащительная фабрика</i>        |           |           |
| Цех обогащения                       | 0,60-0,65 | 0,8       |
| Цех дробления                        | 0,40-0,45 | 0,75      |
| Флотационный цех                     | 0,60-0,70 | 0,75      |
| Сгустители                           | 0,50-0,55 | 0,7       |
| Шаровые мельницы                     | 0,50-0,60 | 0,8       |
| Реагентный, баритовый цех            | 0,6       | 0,8       |
| Золоизвлекательный цех               | 0,4       | 0,7       |
| Цех мокрой магнитной сепарации       | 0,5       | 0,8       |
| Дробильно-промывочный цех            | 0,40-0,50 | 0,8       |
| <i>Агломерационная фабрика</i>       |           |           |
| Спекальный цех                       | 0,5       | 0,7       |
| Цех фильтрации                       | 0,50-0,60 | 0,7       |
| Цех рудничной мелочи                 | 0,4       | 0,65      |
| Цех шихты                            | 0,4       | 0,65      |
| Цех перегрузки                       | 0,30-0,40 | 0,65      |
| Сероулавливающее устройство          | 0,50-0,55 | 0,75      |
| <i>Алюминиевый завод</i>             |           |           |
| Блок мокрого размола и обработки     | 0,5       | 0,3       |
| Выпарка, декомпозиция                | 0,55-0,60 | 0,85      |
| Цех спекания, прокалывания           | 0,50-0,60 | 0,85      |
| Цех выщелачивания, сгущения          | 0,40-0,50 | 0,8       |
| Склады сырья                         | 0,20-0,30 | 0,65      |
| <i>Заводы тяжелого машиностроени</i> |           |           |
| Главный корпус                       | 0,30-0,40 | 0,65-0,70 |
| Мартеновский цех                     | 0,40-0,50 | 0,70-0,80 |
| Кузнечный цех                        | 0,40-0,45 | 0,75      |
| Термический цех                      | 0,50-0,60 | 0,65      |
| Моторный цех                         | 0,35      | 0,75      |
| Экспериментальный цех                | 0,40-0,45 | 0,6       |
| Арматурный цех                       | 0,3       | 0,7       |
| Рессорный цех                        | 0,50-0,60 | 0,9       |
| Сварочный цех                        | 0,6       | 0,9       |
| Аппаратный цех                       | 0,25      | 0,65      |
| Изоляционный цех                     | 0,40-0,50 | 0,85      |

Продолжение таблицы 1.Е

| 1                                    | 2         | 3         |
|--------------------------------------|-----------|-----------|
| Лаковарочный цех                     | 0,5       | 0,8       |
| Эстакада                             | 0,4       | 0,8       |
| Цех электролиза                      | 0,2       | 0,7       |
| Цех металлопокрытий                  | 0,5       | 0,8       |
| Экспериментальный цех                | 0,6       | 0,75      |
| <i>Трансформаторные заводы</i>       |           |           |
| Главный корпус                       | 0,4       | 0,80-0,85 |
| Сварочный корпус                     | 0,35      | 0,7       |
| Аппаратный корпус                    | 0,3       | 0,7       |
| Изоляционный корпус                  | 0,6       | 0,9       |
| Лаковарочный корпус                  | 0,4       | 0,8       |
| Цех обмотки проводов                 | 0,4       | 0,7       |
| Кузовной цех                         | 0,35      | 0,8       |
| Цех обкатки автодвигателей           | 0,60-0,70 | 0,6       |
| Станочное оборудование               | 0,25      | 0,6       |
| Разборно-моечный цех                 | 0,3       | 0,65      |
| <i>Автомобильные заводы</i>          |           |           |
| Цех шасси и главный конвейер         | 0,35      | 0,75      |
| Моторный цех                         | 0,25      | 0,7       |
| Прессово-кузовной цех                | 0,2       | 0,7       |
| Кузнечный цех                        | 0,2       | 0,75      |
| Арматурно-агрегатный цех             | 0,2       | 0,7       |
| <i>Химические заводы и комбинаты</i> |           |           |
| Цех красителей                       | 0,4       | 0,75      |
| Цех натриевой соли                   | 0,45      | 0,75      |
| Цех хлорофоса, синильной кислоты     | 0,50-0,55 | 0,75      |
| Цех метилхлорида, сульфата аммония   | 0,5       | 0,70-0,75 |
| Цех холодильных установок            | 0,6       | 0,8       |
| Склады готовой продукции             | 0,2       | 0,5       |
| Надшахтные здания                    | 0,7       | 0,80-0,85 |
| Здания подъемных машин               | 0,60-0,70 | 0,80-0,85 |
| Галереи транспортеров                | 0,35-0,40 | 0,60-0,80 |
| Здание шахтного комбината            | 0,5       | 0,9       |
| Эстакады и разгрузочные пункты       | 0,60-0,70 | 0,65-0,80 |
| Цех обезвоживания                    | 0,5       | 0,8       |
| Башня Эстнера                        | 0,5       | 0,7       |
| Эстакада наклонного транспорта       | 0,4       | 0,8       |

Продолжение таблицы 1.Е

| 1  | 2         | 3         |
|--|-----------|-----------|
| Сушильное отделение                            | 0,7       | 0,8       |
| Корпус запасных резервуаров                    | 0,3       | 0,8       |
| Химлаборатория                                 | 0,3       | 0,8       |
| Цех защитных покрытий                          | 0,5       | 0,8       |
| <i>Нефтеперерабатывающие заводы</i>            |           |           |
| Установка каталитического крекинга             | 0,50-0,60 | 0,8       |
| Установка термического крекинга                | 0,65      | 0,85      |
| Установка прямой гонки                         | 0,50-0,60 | 0,75      |
| Установка алкилиции, инертного газа            | 0,55      | 0,75      |
| Электрообессоливающая установка                | 0,50-0,60 | 0,8       |
| Этилсмесительная установка ЭЛОУ                | 0,50-0,60 | 0,8       |
| Резервуарные парки                             | 0,3       | 0,65      |
| <i>Цементные заводы</i>                        |           |           |
| Шиферное производство                          | 0,35      | 0,7       |
| Сырьевые мельницы                              | 0,50-0,60 | 0,8       |
| Сушильный цех                                  | 0,40-0,50 | 0,85      |
| Цементные мельницы                             | 0,50-0,60 | 0,8       |
| Шламбассейны                                   | 0,7       | 0,85      |
| Клинкерное отделение                           | 0,35-0,45 | 0,75      |
| Цех обжига                                     | 0,40-0,50 | 0,80-0,90 |
| Электрофильтры                                 | 0,4       | 0,75      |
| Цех дробления                                  | 0,5       | 0,8       |
| Химводоочистка                                 | 0,50-0,60 | 0,8       |
| Склады сырья                                   | 0,20-0,30 | 0,6       |
| <i>Коксохимические заводы</i>                  |           |           |
| Дезинтеграторное отделение                     | 0,6       | 0,8       |
| Перегрузочная станция дробления                | 0,5       | 0,7       |
| Дозировочное отделение                         | 0,4       | 0,8       |
| Угольные ямы                                   | 0,7       | 0,75      |
| Вагоноопрокидыватель                           | 0,4       | 0,8       |
| Коксовые батареи                               | 0,60-0,70 | 0,85-0,90 |
| Пекококсовая установка                         | 0,7       | 0,8       |
| Смолоразгонный цех                             | 0,7       | 0,8       |
| Дымососная установка                           | 0,7       | 0,8       |
| Бензольный цех                                 | 0,7       | 0,8       |
| Насосная конденсата                            | 0,6       | 0,7       |
| Ректификация                                   | 0,6       | 0,75      |
| Сероочистка                                    | 0,7       | 0,8       |
| Углемойка                                      | 0,4       | 0,75      |
| Холодильники аммиачной воды                    | 0,5       | 0,8       |
| <i>Промышленные базы стройиндустрии</i>        |           |           |
| Корпус дробления камня                         | 0,40-0,60 | 0,75      |
| Корпус промывки и сортировки                   | 0,40-0,50 | 0,7       |
| Корпус керамзитовых, бетонных и гончарных труб | 0,4       | 0,7       |

Окончание таблицы 1.Е

|   |           |   |
|---|-----------|---|
| Корпус железобетонных конструкций                                 | 0,3-0,4   | 0,7                                     |
| Бетонно-смесительный цех  | 0,5       | 0,75                                    |
| Цех силикатно-бетонных изделий                                    | 0,4-0,45  | 0,75                                    |
| Цех производства шифера   | 0,5       | 0,7                                     |
| Цех помола извести  | 0,4       | 0,65                                    |
| Цех ячеистых бетонов  | 0,4       | 0,65                                    |
| Цех гипсошлаковых изделий   | 0,35      | 0,6                                     |
| Арматурный цех  | 0,4       | 0,6                                     |
| Склады  | 0,25      | 0,7                                     |
| <i>Текстильные, трикотажные, ситценабивные меланжевые фабрики</i> |           |   |
| Прядильный цех  | 0,50-0,70 | 0,75                                    |
| Ткацкий цех   | 0,60-0,70 | 0,8                                     |
| Красильный, отбельный цех   | 0,50-0,55 | 0,70-0,80                               |
| Крутильный цех  | 0,50-0,60 | 0,8                                     |
| Сушильный, ворсовальный цех                                       | 0,40-0,50 | 0,75-0,80                               |
| Печатный цех  | 0,5       | 0,75                                    |
| Вязальный, трикотажный цех и др.                                  | 0,40-0,50 | 0,7                                     |
| Цех носочно-чулочных изделий                                      | 0,40-0,50 | 0,7                                     |
| Цех капроно-нейлоновых изделий                                    | 0,50-0,60 | 0,75                                    |
| Швейные мастерские  | 0,30-0,40 | 0,65                                    |
| Основальный корпус  | 0,6       | 0,7                                     |
| Кузнечно-сварочный цех  | 0,3       | 0,5                                     |
| Опытный флотационный цех  | 0,7       | 0,8                                     |
| Разгрузочное устройство   | 0,3       | 0,8                                     |
| Главный корпус сильвинитовой фабрики                              | 0,7       | 0,8                                     |
| <i>Деревообрабатывающие комбинаты и заводы</i>                    |           |   |
| Лесопильный завод   | 0,4       | 0,7                                     |
| Сушильный цех   | 0,35      | 0,8                                     |
| Биржа сырья   | 0,3       | 0,65                                    |
| Цех прессованных плит   | 0,4       | 0,75                                    |
| Столярный, модельный, деревообрабатывающий                        | 0,25-0,35 | 0,7                                     |
| <i>Станкостроительный завод</i>                                   |           |   |
| Главный корпус  | 0,5       | 0,6                                     |
| Эстакада к главному корпусу                                       | 0,5       | 0,7                                     |
| Станция осветления вод  | 0,7       | 0,85                                    |
| Главный корпус опытного завода                                    | 0,3-0,4   | 0,7                                     |
| Машинный зал  | 0,5       | 0,8                                     |
| Лаборатория специальных работ                                     | 0,35      | 0,7                                     |
| <i>Бумажные фабрики</i>   |           |   |
| Бумажные машины   | 0,60-0,65 | 0,75                                    |
| Дереворубка   | 0,40-0,45 | 0,65                                    |
| Кислотный цех   | 0,5       | 0,8                                     |
| Варочный цех  | 0,35      | 0,70-0,80                               |
| Отбельный цех   | 0,50-0,60 | 0,7                                     |
| Тряпковарка   | 0,60-0,65 | 0,8                                     |
| <b>Удельные нагрузки электроосвещения на единицу площади</b>      |           | <b>Р<sub>0</sub>, Вт/м<sup>2</sup>.</b> |
| Литейные и плавильные цеха  |           | 23,0-37,0                               |
| Механические и сборочные цеха                                     |           | 30,0-58,0                               |
| Электросварочные и термические цеха                               |           | 30,0-60,0                               |
| Цехи металлоконструкций   |           | 35,0-39,0                               |
| Инструментальные цеха   |           | 33,0-59,0                               |
| Блоки вспомогательных цехов                                       |           | 26,0-30,0                               |

Таблица 2.Е – Данные по установкам компенсации реактивной мощности на напряжение 0,38 кВ

| Тип исполнения установки | Мощность, кВАр | Количество ступеней | Мощность ступеней, кВАр | Номинальный ток фазы, А | Габаритные размеры (ВхШхГ) |
|--------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| АУКРМ-0,4-15-5-УХЛ4      | 15             | 3                   | 5                       | 22                      | 600 x 500 x 200            |
| АУКРМ-0,4-30-5-УХЛ4      | 30             | 6                   | 5                       | 43                      | 600 x 500 x 200            |
| АУКРМ-0,4-40-10-УХЛ4     | 40             | 4                   | 10                      | 58                      | 600 x 500 x 200            |
| АУКРМ-0,4-50-10-УХЛ4     | 50             | 5                   | 10                      | 72                      | 600 x 500 x 200            |
| АУКРМ-0,4-60-15-УХЛ4     | 60             | 4                   | 15                      | 87                      | 1200 x 800 x 300           |
| АУКРМ-0,4-75-25-УХЛ4     | 75             | 3                   | 25                      | 108                     | 1200 x 800 x 300           |
| АУКРМ-0,4-80-20-УХЛ4     | 80             | 4                   | 20                      | 116                     | 1200 x 800 x 300           |
| АУКРМ-0,4-90-15-УХЛ4     | 90             | 6                   | 15                      | 130                     | 1200 x 800 x 300           |
| АУКРМ-0,4-100-25-УХЛ4    | 100            | 4                   | 25                      | 145                     | 1200 x 800 x 300           |
| АУКРМ-0,4-125-25-УХЛ4    | 125            | 5                   | 25                      | 181                     | 1200 x 800 x 400           |
| АУКРМ-0,4-150-25-УХЛ4    | 150            | 6                   | 25                      | 217                     | 1200 x 800 x 400           |
| АУКРМ-0,4-175-25-УХЛ4    | 175            | 7                   | 25                      | 254                     | 1600 x 800 x 400           |
| АУКРМ-0,4-200-25-УХЛ4    | 200            | 8                   | 25                      | 289                     | 1600 x 800 x 400           |
| АУКРМ-0,4-225-25-УХЛ4    | 225            | 9                   | 25                      | 325                     | 2000 x 800 x 600           |
| АУКРМ-0,4-250-25-УХЛ4    | 250            | 10                  | 25                      | 361                     | 2000 x 800 x 600           |
| АУКРМ-0,4-300-25-УХЛ4    | 300            | 12                  | 25                      | 434                     | 2000 x 800 x 600           |
| АУКРМ-0,4-400-50-УХЛ4    | 400            | 8                   | 50                      | 578                     | 2000 x 800 x 600           |
| АУКРМ-0,4-500-50-УХЛ4    | 500            | 10                  | 50                      | 723                     | 2000 x 800 x 600           |
| АУКРМ-0,4-600-50-УХЛ4    | 600            | 12                  | 50                      | 867                     | 2000 x 800 x 600           |

Пример маркировки: (АУКРМ) УКМ58-0,4-400-50-8-УХЛ4

**АУКРМ(УКМ58)** - автоматическая установка компенсации реактивной мощности;

**0,4** - номинальное напряжение, кВ;

**400** - номинальная мощность, кВАр;

**50** - мощность ступени регулирования, кВАр; **8** - шаг регулирования;

**УХЛ4** - климатическое исполнение и категория размещения

Таблица 3.Е – Средние значения продолжительности использования максимума нагрузки в промышленности

| <b>Потребители</b>                                  | <b>T, час/год</b> |
|---|-------------------|
| <b>Топливная промышленность:</b>                    |                   |
| угледобыча:   |                   |
| закрытая  | 3500-4200         |
| открытая  | 4500-5000         |
| нефтедобыча   | 7000-7500         |
| нефтепереработка                                    | 6000-8000         |
| торфоразработка                                     | 2000-2500         |
| <b>Металлургия:</b>                                 |                   |
| черная (в среднем)                                  | 6500              |
| доменное производство                               | 5000              |
| мартеновское  | 7000              |
| ферросплавное                                       | 5800              |
| коксохимическое                                     | 6500              |
| цветная   | 7000-7500         |
| <b>Горнорудная промышленность</b>                   | 5000              |
| Химия (в среднем)                                   | 6200-8000         |
| В том числе:  |                   |
| англиноокрасочный завод                             | 7000              |
| <b>Потребители</b>                                  |                   |
| Завод азотных удобрений                             | 7500-8000         |
| Завод синтетических волокон                         | 7000-8000         |
| <b>Машиностроение и металлообработка:</b>           |                   |
| завод тяжелого машиностроения                       | 3800-4000         |
| станкостроительный завод                            | 4300-4500         |
| инструментальный завод                              | 4000-4200         |
| шарикоподшипниковый завод                           | 5000-5300         |
| автотракторный завод                                | 5000              |
| завод подъемно-транспортного оборудования           | 3300-3500         |
| завод сельхозмашин                                  | 5000-5300         |
| авторемонтный завод                                 | 3500-4000         |
| паровозовагоноремонтный завод                       | 3500-4000         |
| приборостроительный завод                           | 3000-3200         |
| завод электротехнического оборудования              | 4300-4500         |
| металлообрабатывающий завод                         | 4300-4400         |
| <b>Целлюлозно-бумажная промышленность</b>           | 5500-6000         |
| <b>Деревообрабатывающая и лесная промышленность</b> | 2500-3000         |
| <b>Легкая промышленность:</b>                       |                   |
| обувная   | 3000              |
| текстильная   | 4500              |
| <b>Пищевая промышленность:</b>                      |                   |
| кондитерская фабрика                                | 4500              |
| Производство стройматериалов                        | 7000              |

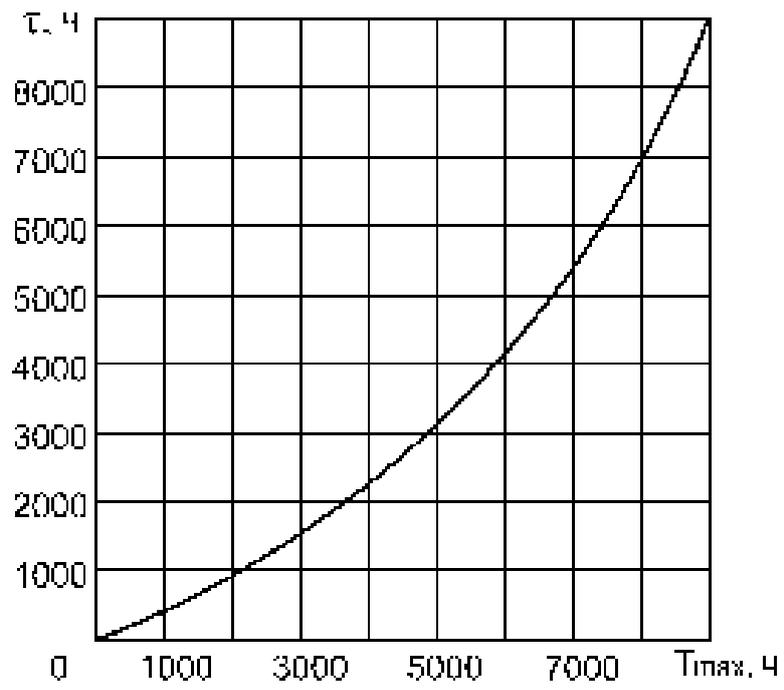


Рисунок 1.Е – Зависимость времени максимальных потерь от продолжительности нагрузки

Таблица 5.Е – Ежегодные отчисления (процент от капитальных затрат) [11]

| Наименование элементов сети  | $\alpha_a$                                   | $\alpha_{OP} + \alpha_o$ | $\alpha_{OP} + \alpha_o + \alpha_a$ |
|--|--|--------------------------|-------------------------------------|
| Воздушные линии 35 кВ и выше:<br>на металлических и ж/б опорах<br>на деревянных опорах                       | 2,4  | 0,4                      | 2,8                                 |
| Кабельные линии электропередачи:<br>до 10 кВ<br>со свинцовой оболочкой, проложенные в земле и<br>помещениях; | 2,3  | 2                        | 4,3                                 |
|  | с алюминиевой оболочкой, проложенные в земле | 4,3                      | 2                                   |
| 20-35 кВ со свинцовой оболочкой, проложенные в земле<br>и помещениях   | 3,4  | 2                        | 5,4                                 |
| 110-220 кВ, проложенные в земле и помещениях   | 2,5  | 2                        | 4,5                                 |
| Силовое электрооборудование и распределительные<br>устройства напряжением до 150 кВ (кроме ТЭС)              | 6,4  | 3                        | 9,4                                 |

Таблица 6.Е – Технические данные двухобмоточных трехфазных трансформаторов типа ТМ

| Тип трансформатора       | Схема соедин. обм. | Потери, Вт |       | Uкз, % | Iхх, % | Сопротивление, мОм |                |                |                               |
|--------------------------|--------------------|------------|-------|--------|--------|--------------------|----------------|----------------|-------------------------------|
|                          |                    | хх         | кз    |        |        | R <sub>T</sub>     | X <sub>T</sub> | Z <sub>T</sub> | Z <sub>T</sub> <sup>(1)</sup> |
| 1                        | 2                  | 3          | 4     | 5      | 6      | 7                  | 8              | 9              | 10                            |
| ТМ-25/10/0,4             | Y-Y-0              | 130        | 600   | 4,5    | 3,2    | 154                | 244            | 287            | 3110                          |
| -40                      |                    | 175        | 880   | 4,5    | 3      | 88                 | 157            | 180            | 1944                          |
| -63                      |                    | 240        | 1280  | 4,5    | 2,8    | 52                 | 102            | 114            | 1237                          |
| -100                     |                    | 330        | 1970  | 4,5    | 2,6    | 31,5               | 65             | 72             | 779                           |
| -160                     |                    | 510        | 2650  | 4,5    | 2,4    | 16,6               | 41,7           | 45             | 486                           |
| -250                     |                    | 740        | 3700  | 4,5    | 2,3    | 9,4                | 27,2           | 28,7           | 311                           |
| -400                     |                    | 950        | 5500  | 4,5    | 2,1    | 5,5                | 17,1           | 18             | 195                           |
| -630                     |                    | 1310       | 7600  | 5,5    | 2      | 3,1                | 13,6           | 14             | 128                           |
| -1000                    |                    | 2000       | 12200 | 6,5    | 1,4    | 1,7                | 8,6            | 8,8            | 81                            |
| -1600/6/0,4              |                    | 2750       | 18000 | 6,5    | 1,3    | 1,0                | 5,4            | 5,5            | 63,5                          |
| ТМ-2500/6/0,4            |                    |            | 3850  | 23500  | 6,5    | 1                  | 0,64           | 3,46           | 3,52                          |
| <b>Модернизированные</b> |                    |            |       |        |        |                    |                |                |                               |
| ТМ-400/10/0,4            | Y-Y-0              | 900        | 5500  | 4,5    | 1,5    | 5,5                | 17,1           | 18             | 81                            |
| -630                     |                    | 1250       | 7600  | 5,5    | 1,25   | 3,1                | 13,6           | 14             | 63,5                          |
| 1000                     |                    | 1900       | 10500 | 5,5    | 1,15   | 1,7                | 8,6            | 8,8            | 26,4                          |

Таблица 7.Е - Активные и реактивные сопротивления кабелей

| Сечение жилы, мм <sup>2</sup> | Активное сопротивление при 20 °С, Ом/км, жилы |        | Индуктивное сопротивление, Ом/км, кабеля напряжением, кВ |       |       |       |
|-------------------------------|---|--------|--|-------|-------|-------|
|                               | Алюминиевой                                   | Медной | 1  | 6     | 10    | 20    |
| 10                            | 2,94  | 1,79   | 0,073  | 0,11  | 0,122 |       |
| 16                            | 1,84  | 1,12   | 0,068  | 0,102 | 0,113 | —     |
| 25                            | 1,17  | 0,72   | 0,066  | 0,091 | 0,099 | 0,135 |
| 35                            | 0,84  | 0,51   | 0,064  | 0,087 | 0,095 | 0,129 |
| 50                            | 0,59  | 0,36   | 0,063  | 0,083 | 0,09  | 0,119 |
| 70                            | 0,42  | 0,256  | 0,061  | 0,08  | 0,086 | 0,116 |
| 95                            | 0,31  | 0,19   | 0,06   | 0,078 | 0,083 | 0,110 |
| 120                           | 0,24  | 0,15   | 0,06   | 0,076 | 0,081 | 0,107 |
| 150                           | 0,2   | 0,12   | 0,059  | 0,074 | 0,079 | 0,104 |
| 185                           | 0,16  | 0,1    | 0,059  | 0,073 | 0,077 | 0,101 |
| 240                           | 0,12  | 0,07   | 0,058  | 0,071 | 0,075 | —     |

Таблица 8.Е - Расчетные сопротивления масляных трансформаторов (ГОСТ 12022-76 и ГОСТ 11920-73)

| Мощность трансформатора, кВА | Первичное напряжение, кВ | Z <sub>T</sub> , Ом             |         |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------|
|                              |                          | Схема соединения трансформатора |         |
|                              |                          | Y/Y <sub>0</sub>                | Δ/Y, Y/ |
| 25                           | 6-10                     | 1,036                           | 0,302   |
| 40                           | 6-10                     | 0,649                           | 0,187   |
| 63                           | 6-10                     | 0,412                           | 0,12    |
|                              | 20-35                    | 0,379                           | 0,139   |
| 100                          | 6-10                     | 0,259                           | 0,075   |
|                              | 20-35                    | 0,288                           | 0,109   |
| 160                          | 6-10                     | 0,162                           | 0,047   |
|                              | 20-35                    | 0,159                           | 0,068   |
| 250                          | 6-10                     | 0,104                           | 0,03    |
|                              | 20-35                    | 0,102                           | 0,043   |
| 400                          | 6-10                     | 0,065                           | 0,019   |
|                              | 20-35                    | 0,063                           | -       |
| 630                          | 6-10                     | 0,043                           | 0,014   |
|                              | 20-35                    | 0,040                           | -       |
| 1000                         | 6-10                     | 0,027                           | 0,009   |
|                              | 20-35                    | 0,0256                          | 0,0107  |
| 1600                         | 6-10                     | 0,018                           | 0,0056  |
|                              | 20-35                    | 0,017                           | 0,0065  |
| 2500                         | 6-0                      | -                               | 0,0036  |

Таблица 9.Е – Полное сопротивление цепи фаза-ноль для 4-х жильных кабелей в пластмассовой изоляции

| Сечение жил кабеля,<br>мм <sup>2</sup> | Сопротивление кабеля, Ом/км |        |        |        |        |        |
|--|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | Алюминий                    |        |        | Медь   |        |        |
|  | г фазы                      | г нуль | Z цепи | г фазы | г нуль | Z цепи |
| 4x2,5                                  | 14,75                       | 14,75  | 29,5   | 8,73   | 8,73   | 17,46  |
| 3x4+1x2,5                              | 9,2                         | 14,75  | 23,95  | 5,47   | 8,73   | 14,2   |
| 4x4                                    | 9,2                         | 9,2    | 18,4   | 5,47   | 5,47   | 10,94  |
| 3x6+1x4                                | 6,15                        | 9,2    | 15,35  | 3,64   | 5,47   | 9,11   |
| 4x6                                    | 6,15                        | 6,15   | 12,3   | 3,64   | 3,64   | 7,28   |
| 3x10+1x6                               | 3,68                        | 6,15   | 9,33   | 2,17   | 3,64   | 5,51   |
| 4x10                                   | 3,68                        | 3,68   | 7,36   | 2,17   | 2,17   | 4,34   |
| 3x16+1x10                              | 2,3                         | 3,68   | 5,98   | 1,37   | 2,17   | 3,54   |
| 4x16                                   | 2,3                         | 2,3    | 4,6    | 1,37   | 1,37   | 2,74   |
| 3x25+1x16                              | 1,47                        | 2,3    | 5,77   | 0,873  | 1,37   | 2,243  |
| 4x25                                   | 1,47                        | 1,47   | 2,94   | 0,873  | 0,873  | 1,746  |
| 3x35+1x16                              | 1,05                        | 2,3    | 3,35   | 0,625  | 1,37   | 1,995  |
| 4x35                                   | 1,05                        | 1,05   | 2,1    | 0,625  | 0,625  | 1,25   |
| 3x50+1x35                              | 0,74                        | 1,47   | 2,21   | 0,436  | 0,873  | 1,309  |
| 4x50                                   | 0,74                        | 0,74   | 1,48   | 0,436  | 0,436  | 0,872  |
| 3x70+1x25                              | 0,52                        | 1,47   | 1,99   | 0,313  | 0,873  | 1,186  |
| 3x70+1x35                              | 0,52                        | 1,05   | 1,57   | 0,313  | 0,625  | 0,938  |
| 4x70                                   | 0,527                       | 0,527  | 1,05   | 0,313  | 0,313  | 0,626  |
| 3x95+1x35                              | 0,38                        | 1,05   | 1,43   | 0,23   | 0,625  | 0,855  |
| 3x95+1x50                              | 0,38                        | 0,74   | 1,12   | 0,23   | 0,436  | 0,666  |
| 4x95                                   | 0,388                       | 0,398  | 0,77   | 0,23   | 0,23   | 0,46   |
| 3x120+1x35                             | 0,308                       | 1,05   | 1,358  | 0,181  | 0,625  | 0,806  |
| 3x120+1x70                             | 0,308                       | 0,527  | 0,835  | 0,181  | 0,313  | 0,494  |
| 4x120                                  | 0,308                       | 0,308  | 0,616  | 0,181  | 0,181  | 0,362  |
| 3x150+1x50                             | 0,246                       | 0,74   | 0,986  | 0,146  | 0,436  | 0,582  |
| 4x150                                  | 0,246                       | 0,246  | 0,492  | 0,146  | 0,146  | 0,292  |
| 3x185+1x50                             | 0,20                        | 0,74   | 0,94   | 0,122  | 0,436  | 0,558  |
| 4x185                                  | 0,20                        | 0,20   | 0,4    | 0,122  | 0,122  | 0,244  |
| 4x240                                  | 0,153                       | 0,153  | 0,306  | 0,09   | 0,09   | 0,18   |

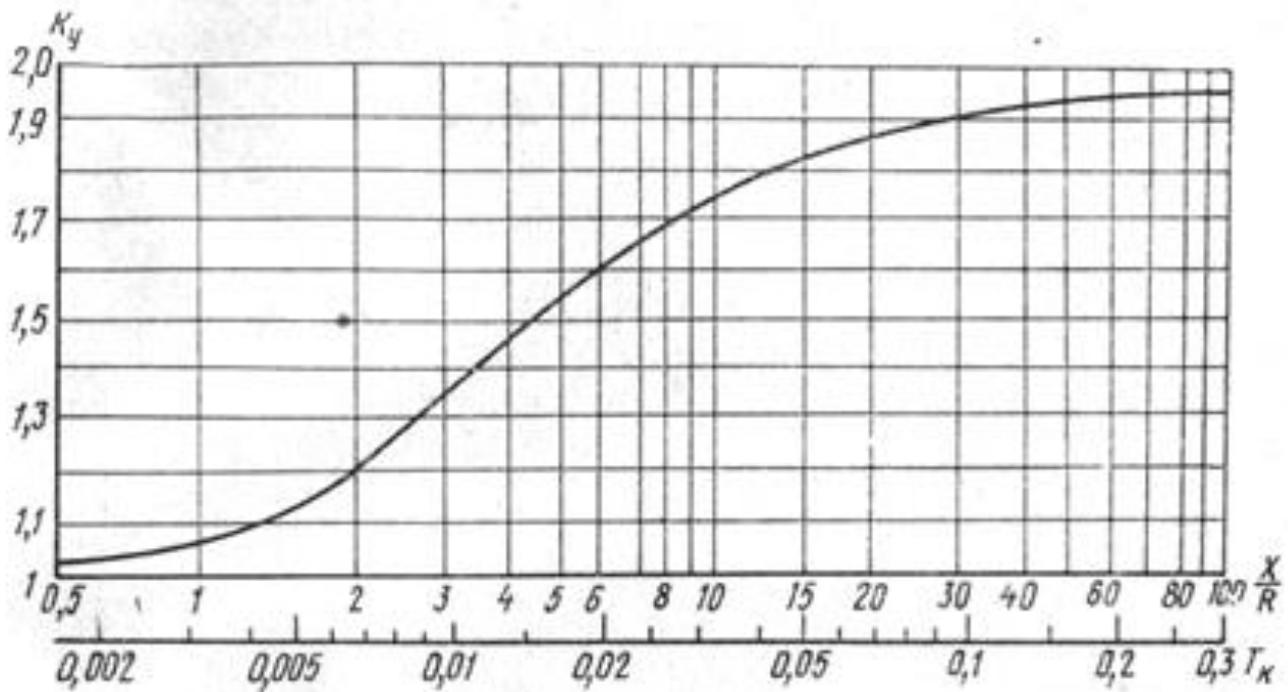


Рисунок 2.Е - Кривые зависимости ударного коэффициента  $k_{уд}$  от отношений  $x/r$  (ГОСТ 28249-93)

Таблица 10.Е – Допустимые токовые нагрузки при прокладке кабелей с ПВХ изоляцией и с изоляцией из сшитого полиэтилена 10 кВ, не распространяющего горение

| Номинальное сечение жил кабеля, мм <sup>2</sup> | Длительные допустимые токи трехжильных кабелей, А |       |                       |       |
|---|---|-------|-----------------------|-------|
|   | с медными жилами                                  |       | с алюминиевыми жилами |       |
|   | 6 кВ  | 10 кВ | 6 кВ                  | 10 кВ |
| 50  | 213   | 206   | 165                   | 159   |
| 70  | 263   | 255   | 204                   | 196   |
| 95  | 319   | 329   | 248                   | 255   |
| 120   | 366   | 374   | 285                   | 291   |
| 150   | 413   | 423   | 321                   | 329   |
| 185   | 471   | 479   | 368                   | 374   |
| 240   | 555   | 562   | 432                   | 441   |
| 300   | 630   | 635   | 495                   | 501   |

Таблица 11.Е – Длительно допустимые токовые нагрузки трехжильных и четырехжильных кабелей на напряжение 1 кВ

| Номинальное сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup> | Токовые нагрузки кабелей, А |            |                     |            |
|--|-----------------------------|------------|---------------------|------------|
|  | с медной жилой              |            | с алюминиевой жилой |            |
|  | в земле                     | на воздухе | в земле             | на воздухе |
| 6  | 70                          | 50         | 55                  | 40         |
| 10   | 95                          | 70         | 75                  | 55         |
| 16   | 120                         | 90         | 90                  | 70         |
| 25   | 160                         | 125        | 125                 | 95         |
| 35   | 190                         | 150        | 145                 | 115        |
| 50   | 235                         | 185        | 180                 | 140        |
| 70   | 285                         | 235        | 220                 | 175        |
| 95   | 340                         | 290        | 260                 | 215        |
| 120  | 390                         | 335        | 300                 | 250        |
| 150  | 435                         | 385        | 335                 | 295        |
| 185  | 490                         | 440        | 380                 | 335        |
| 240  | 570                         | 515        | 440                 | 395        |

Таблица 12.Е – Индуктивные сопротивления воздушных линий со сталеалюминевыми проводами

| Среднегеометрическое расстояние между проводами, м | Индуктивное сопротивление, Ом/км, при проводах марок |       |       |       |       |       |       |       |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | АС35   | АС50  | АС70  | АС95  | АС120 | АС150 | АС185 | АС240 |
| 2  | 0,403  | 0,392 | 0,382 | 0,371 | 0,365 | 0,358 |       |       |
| 2,5  | 0,417  | 0,406 | 0,396 | 0,385 | 0,379 | 0,372 | —     | —     |
| 3  | 0,429  | 0,418 | 0,408 | 0,397 | 0,391 | 0,384 | 0,377 | 0,369 |
| 3,5  | 0,438  | 0,427 | 0,417 | 0,406 | 0,4   | 0,398 | 0,386 | 0,378 |
| 4  | 0,446  | 0,435 | 0,425 | 0,414 | 0,408 | 0,401 | 0,394 | 0,386 |
| 4,5  | —  | —     | 0,433 | 0,422 | 0,416 | 0,409 | 0,402 | 0,394 |
| 5  | —  | —     | 0,44  | 0,429 | 0,423 | 0,416 | 0,409 | 0,401 |
| 5,5  |  |       | —     | —     | 0,44  | 0,422 | 0,415 | 0,407 |
| 6  |  |       | —     | —     | —     | —     | —     | 0,413 |
| 6,5  |  |       |       |       | —     | —     | —     | —     |
| 7  |  |       |       |       | —     | —     | —     | —     |
| 7,5  |  |       |       |       |       |       | —     | —     |
| 8  |  |       |       |       |       |       | —     | —     |
| 8,5  |  |       |       |       |       |       |       |       |

Таблица 13.Е - Технические данные трансформаторов напряжения

| Тип           | Номинальное напряжение обмоток, кВ |                |                     | Номинальная мощность, ВА, для классов точности |     |     |      | Максимальная мощность, ВА | $u_k^*$ , % |
|---------------|------------------------------------|----------------|---------------------|--|-----|-----|------|---------------------------|-------------|
|               | ВН                                 | НН (основной)  | НН (дополнительной) | 0,2  | 0,5 | 1   | 3    |                           |             |
| 1             | 2                                  | 3              | 4                   | 5  | 6   | 7   | 8    | 9                         | 10          |
| НОС-0,5       | 0,38                               | 0,1            | –                   | –  | 25  | 50  | 100  | 200                       | 4,4         |
| НОС-0,5       | 0,5                                | 0,1            | –                   | –  | 25  | 50  | 100  | 200                       | 4,2         |
| НОМ-6         | 3                                  | 0,1            | –                   | –  | 30  | 50  | 150  | 240                       | 3,58        |
| НОМ-6         | 6                                  | 0,1            | –                   | –  | 50  | 75  | 200  | 400                       | 6,15        |
| НОМ-10        | 10                                 | 0,1            | –                   | –  | 75  | 150 | 300  | 640                       | 6,4         |
| НОМ-15        | 13,8                               | 0,1            | –                   | –  | 75  | 150 | 300  | 640                       | 3,6         |
| НОМ-15        | 15,75                              | 0,1            | –                   | –  | 75  | 150 | 300  | 640                       | 4,63        |
| НОМ-15        | 18                                 | 0,1            | –                   | –  | 75  | 150 | 300  | 640                       | 4,5         |
| НОМ-35        | 35                                 | 0,1            | –                   | –  | 150 | 250 | 600  | 1200                      | 3,87        |
| НОЛ .08-6     | 6                                  | 0,1            | –                   | 30   | 50  | 75  | 200  | 400                       | 3,47        |
| НОЛ.08-10     | 10                                 | 0,1            | –                   | 50   | 75  | 150 | 300  | 640                       | 4,95        |
| НТС-0,5       | 0,38                               | 0,1            | –                   | –  | 50  | 75  | 200  | 400                       | 3,76        |
| НТС-0,5       | 0,5                                | 0,1            | –                   | –  | 50  | 75  | 200  | 400                       | 3,76        |
| НТМК-6-48     | 3                                  | 0,1            | –                   | –  | 50  | 75  | 200  | 400                       | 2,98        |
| НТМК-6-48     | 6                                  | 0,1            | –                   | –  | 75  | 150 | 300  | 640                       | 3,92        |
| НТМК-10       | 10                                 | 0,1            | –                   | –  | 120 | 200 | 500  | 960                       | 3,07        |
| НТМИ-6        | 3                                  | 0,1            | 0,1/3               | –  | 50  | 75  | 200  | 400                       | 3,01        |
| НТМИ-6        | 6                                  | 0,1            | 0,1/3               | –  | 75  | 150 | 300  | 640                       | 5,23        |
| НТМИ-10       | 10                                 | 0,1            | 0,1/3               | –  | 120 | 200 | 500  | 960                       | 5           |
| ЗНОМ-35-65    | $35/\sqrt{3}$                      | $0,1/\sqrt{3}$ | 0,1/3               | –  | 150 | 250 | 600  | 1200                      | 6           |
| НКФ-110-57    | $110/\sqrt{3}$                     | $0,1/\sqrt{3}$ | 0,1                 | –  | 400 | 600 | 1200 | 2000                      | 4,05        |
| НКФ-110-58*** | $66/\sqrt{3}$                      | $0,1/\sqrt{3}$ | 0,1/3               | –  | 400 | 600 | 1200 | 2000                      | 3,55        |
| НКФ-110-58*** | $110/\sqrt{3}$                     | $0,1/\sqrt{3}$ | 0,1/3               | –  | 400 | 600 | 1200 | 2000                      | 4,43        |
| НКФ-220-58    | $150/\sqrt{3}$                     | $0,1/\sqrt{3}$ | 0,1                 | –  | 400 | 600 | 1200 | 2000                      | 3,83        |
| НКФ-220-58    | $220/\sqrt{3}$                     | $0,1/\sqrt{3}$ | 0,1                 | –  | 400 | 600 | 1200 | 2000                      | 4,13        |

\* приведены значения  $u_k$  % между обмотками ВН и НН (основной, отнесенные к максимальной мощности);

\*\* может быть выполнена на 0,1 кВ (например, для использования в цепях управления возбуждением генераторов);

\*\*\* предназначены для сетей с изолированной нейтралью.

*Примечание.* Мощность, указанная для трансформаторов напряжения типов ЗНОЛ, ЗНОМ и НКФ, является суммарной мощностью основной и дополнительной вторичных обмоток.

Таблица 14.Е - Трансформаторы тока (кабельные) внутренней установки для защиты от замыкания на землю в сетях 6-10 кВ

| Тип    | Число охватываемых кабелей | Наружный диаметр кабеля, мм | Цепь подмагничивания |                    | Вторичная цепь |                              | ЭДС небаланса во второй вторичной цепи, не более, мВ |  |
|--------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|----------------|------------------------------|--|--|
|        |                            |                             | $U_{ном}$<br>В       | $S_{потр}$ ,<br>ВА | $Z$ ,<br>Ом    | $S$ получ.<br>при 1 А,<br>ВА | от подмагничивания                                   | от несимметричности при номинальной нагрузке |
| ТНП-2  | 1-2                        | 50                          | 110                  | 20                 | 10             | 0,00625                      | 150  | 17   |
| ТНП-4  | 3-4                        |                             |                      | 45                 |                |                              |  |  |
| ТНП-7  | 5-7                        |                             |                      | 50                 |                |                              |  |  |
| ТНП-12 | 8-12                       | 60                          |                      | 70                 |                | 0,00344                      |  | 14   |

Таблица 15.Е - Технические данные трансформаторов тока внутренней установки

| Тип трансформатора | Варианты исполнения **                | Номинальный первичный ток, А                   | Трехсекундная термическая стойкость или кратность | Электродинамическая стойкость или кратность | Номинальная вторичная нагрузка, ВА |                     | Номинальная предельная кратность защитной обмотки | Масса, кг |
|--------------------|---------------------------------------|--|---|---|------------------------------------|---------------------|---|-----------|
|                    |                                       |  |   |   | измерительной обмотки              | защитной обмотки    |   |           |
| 1                  | 2                                     | 3  | 4   | 5   | 6                                  | 7                   | 8   | 9         |
| ТЛМ-6              | 1/10P<br>0,5/ 10P                     | 300; 400; 600; 800;<br>1000; 1500              | 33*   | 125*  | 10                                 | 15                  | 20  | 27        |
| ТОЛК-6             | 1; 10P                                | 50<br>80<br>100; 150; 200<br>300; 400; 600     | 40<br>40<br>4,6*<br>11*                           | 340<br>340<br>26*<br>—                      | 30<br>30<br>30<br>—                | 30<br>30<br>30<br>— | 5,5   | 11,3      |
| ТВЛМ-6             | 1; 10P                                | 10; 20; 30; 50; 75; 100;<br>150; 200; 300; 400 | 20<br>20  | 350<br>52*                                  | 15                                 | 15                  | 4,5   | 4,5       |
| ТПЛ-10             | 10P;<br>0,5/10P;<br>10/10P;<br>10/10P | 30; 50; 75; 100; 150<br>200<br>300<br>400      | 45<br>—<br>45<br>35                               | 250<br>—<br>175<br>165                      | 10                                 | 15                  | 13  | 10-19     |
| ТПЛУ-10            | 10P;<br>0,5/10P;<br>10P/10P           | 30; 50; 75; 100                                | 60  | 250   | 10                                 | 15                  | 13  | 10-19     |

Окончание таблицы 15.Е

| 1         | 2                           | 3  | 4                               | 5                                  | 6      | 7                        | 8                    | 9           |
|-----------|-----------------------------|--|---------------------------------|------------------------------------|--------|--------------------------|----------------------|-------------|
| ТПОЛ-10   | 0,5/10P                     | 600; 800<br>1000<br>1500   | 32<br>27<br>18                  | 81<br>69<br>45                     | 10     | 15                       | 19; 23<br>20<br>25   | 18          |
| ТЛМ-10    | 0,5/10P                     | 50; 100; 150<br>200<br>300; 400<br>600; 800<br>1000; 1500                                  | 50<br>50<br>18,4*<br>23*<br>26* | 350<br>260<br>100*<br>100*<br>100* | 10     | 15                       | 15                   | 27          |
| ТОЛ-10    | 0,5/10P                     | 50   | 50                              | 350                                | 10     | 15                       | 10                   | 25          |
| ТОЛ-10    | 10/10P                      | 100; 150; 200<br>300; 400<br>600; 800<br>1000; 1500  | 50<br>18,4*<br>23*<br>36*       | 52*<br>100*<br>100*<br>100*        | 10     | 15                       | 10                   | 25          |
| ТПЛК-10   | 0,5/10P<br>10P/10P          | 10; 15; 30; 60; 100<br>150; 200; 300; 400<br>600; 800<br>1000; 1500                        | 47                              | 250<br>74,5*<br>74,5*<br>74,5*     | 10     | 15                       | 12<br>17<br>20<br>20 | 47          |
| ТПОЛ-35   | 1/10P<br>0,5/10P<br>10P/10P | 400<br>600<br>800; 1000<br>1500  | 40<br>35                        | 100*                               | 20     | 15<br>20 30;<br>50<br>50 | 13<br>18<br>24<br>26 | 55          |
| ТЛЛ-35    | 0,1                         | 5;10; 15; 20; 30; 40;50;<br>75; 100; 200; 300; 400;<br>600; 800; 1000; 1500;<br>2000; 3000 | 4                               | 10                                 | 15     | —                        | —                    | 86          |
| ТШЛ-10    | 0,5/10P/<br>10P/10P         | 2000; 3000; 4000;<br>5000  | 35                              | —                                  | 20     | 30                       | 25                   | 49          |
| ТЛШ-10    | 0,5/10P                     | 2000; 3000   | 42*                             | 81*                                | 20     | 30                       | —                    | 26          |
| ТВ-35     | 0,5; 1;<br>10P              | 200; 300; 600; 1500;<br>2000;3000  | 8-200*                          | —                                  | 10-40  | 10-40                    | 2-30                 | 15-35       |
| ТВТ-35    | 0,5; 1;<br>10P              | 200; 300; 600; 1000;<br>3000; 4000   | 28                              | —                                  | 10-40  | 15-40                    | 5-24                 | 16-80       |
| ТВ-110    | 0,5; 1;<br>10P              | 200; 300; 600;<br>1000;2000  | 20-<br>125*                     | —                                  | 10-50  | 10- 60                   | 5-50                 | 96-103      |
| ТВТ-110   | 1; 10P                      | 300; 600; 1 000; 2000  | 25                              | —                                  | 30-50  | 10-50                    | 12-24                | 42-122      |
| ТВТ- 1 50 | 0,5; 1;<br>10P              | 600; 1 000; 2000   | 25                              | —                                  | 10 -60 | 10-40                    | 22                   | 212-<br>220 |
| ТВ-220    | 0,5; 1;<br>10P              | 600; 1000; 2000;3000   | 63-250*                         | —                                  | 10-50  | 10-50                    | 10-50                | 143-<br>157 |
| ТВТ-220   | 0,5; 1;<br>10P              | 600; 1000; 2000; 4000  | 25                              | —                                  | 30-100 | 30-60                    | 24                   | 145-<br>155 |

\* термическая и электродинамическая стойкость приведены в килоамперах;

\*\* трансформаторы тока, исполнение которых обозначено дробно (например, 1/10P) имеют один трансформатор класса 1 и второй класса 10P.

Таблица 16.Е – Технические данные трансформаторов тока наружной установки

| Тип трансформатора | Варианты исполнения | Номинальный первичный ток, А    | Номинальная вторичная нагрузка, ВА |                  | Номинальная предельная кратность при номинальной нагрузке | Трехсекундная термическая стойкость или кратность | Электродинамическая стойкость или кратность | Масса кг |
|--------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------|---|---|---|----------|
|                    |                     |                                 | измерительной обмотки              | защитной обмотки |   |   |   |          |
| 1                  | 2                   | 3                               | 4                                  | 5                | 6   | 7   | 8   | 9        |
| ТФЗМ35А            | 0,5/10Р             | 15-600<br>800-1000              | 50                                 | 20               | 28  | 30  | 200<br>130                                  | 250      |
| ТФЗМ35Б-I          | 0,5/10Р             | 15-600<br>800-1000<br>1500-2000 | 30                                 | 30               | 20  | 50<br>35<br>35                                    | 200<br>130<br>70                            | 350      |
| ТФЗМ35Б-II         | 0,5/10Р/10Р         | 500-1000<br>2000; 3000          | –<br>30                            | –<br>50          | –<br>18   | 49<br>57*   | 125*<br>145*                                | 430      |
| ТФЗМ110Б-II        | 0,5/10Р/10Р         | 750/1500**;<br>1000/2000        | 20                                 | 20               | 30  | 34  | 100   | 840      |
| ТФЗМ150А, Б-I      | 0,5/10Р/10Р/10Р     | 600/1200                        | 40                                 | 50               | 15  | 23  | 87  | 1060     |
| ТФЗМ150Б-II        | 0,5/10Р/10Р/10Р     | 1000/2000                       | 30                                 | 50               | 30;25;25  | 41,6  | 1 13  | 1165     |
| ТФЗМ220Б-III       | 0,5/10Р/10Р/10Р     | 300/600/1200                    | 30                                 | 50;50;30         | 15;15; 10   | 39,2  | 83  | 2260     |
| ТФЗМ220Б-IV        | 0,5/10Р/10Р/10Р     | 500/1000/2000                   | 30                                 | 50;50;30         | 25;25; 20   | 39,2  | 50  | 2380     |

\* термическая и электродинамическая стойкость приведены в килоамперах;

\*\* если номинальный первичный ток указан в виде двух или трех цифр через косую черту (например, 1000/2000), то это означает, что трансформатор тока имеет переключаемый первичный ток 1000 и 2000 А.