

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ФГОУ ВПО «БРЯНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра систем электроснабжения

Маловастая Е.Ф.

# ***ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА***

*методические указания  
для курсового и дипломного проектирования студентов специальности  
311400 – «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»*

Издание второе

Брянск 2014

УДК 631.371:621.311(075)

ББК 40.7

М 19

Маловастая, Е.Ф. **«Электроснабжение сельского хозяйства»**: методические указания для курсового проекта 311400-«Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»: издание второе. / Е.Ф. Маловастая. - Брянск.: Издательство Брянской ГСХА, 2014. – 48 с.

Методическая разработка содержит алгоритм и пример выполнения курсового проекта (для студентов - заочников) по курсу «Электроснабжение сельского хозяйства» и рекомендуемую литературу для самостоятельной работы студентов.

Рецензенты: к.т.н., доц. БГТУ Башлыков В.А.

*Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета энергетики и природопользования Брянской государственной сельскохозяйственной академии, протокол №18 от 26 декабря 2008 года.*

© Брянская ГСХА, 2014

© Маловастая Е.Ф., 2014

## Введение

В данной курсовой работе необходимо выполнить полный расчет электроснабжения населенного пункта с жилыми, общественными и производственными потребителями. Требуется рассчитать общую нагрузку всех потребителей, выбрать число и тип трансформаторов, выполнить трассировку линий электропередачи, обосновать сечения проводов, рассчитать нагрузки на линии с учетом коэффициентов одновременности, выбрать автоматику и средства защиты для сети 0,38 и 10 кВ. Необходимо проверить сети на аварийные режимы, в частности на короткие замыкания, а для трансформаторных подстанций рассчитать заземляющие устройства.

Выполнение курсовой работы следует начать с построения плана населенного пункта и нанесения на него нагрузок в соответствии с заданием. Затем определяют количество трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ и их координаты. Намечают линии электропередачи, определяют по методу экономических интервалов сечения проводов, проверяют сеть на потерю напряжения. Находят максимальную нагрузку трансформатора, учитывая коэффициенты сезонности и время суток. Далее следует рассчитать сеть 10 кВ, выбирая нагрузки из задания, последнюю нагрузку принимают из расчета ТП. Для расчетной подстанции выбирают автоматы управления и защиты.

Следует отметить, что работа предъявляет к студенту определенные требования, в отличие от других курсовых работ студент в особенности должен учитывать экономическую эффективность предлагаемых решений, т.е. должен выбирать оборудование в зависимости от его стоимости и экономической эффективности, даже игнорируя лучшие эксплуатационные характеристики. Это умение является одним из важнейших требований к современному специалисту.

## **Методические указания по выполнению проекта**

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и чертежей. На последних должны быть приведены: план и расчетные схемы сети 0,38 и 10 кВ, электрическая принципиальная схема одной из трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ.

Во введении следует отразить актуальность вопросов электроснабжения для достижения поставленных задач в области агропромышленного комплекса страны, особо обратив внимание на надежность электропитания потребителей и передачу качественной электроэнергии. Необходимо также указать цель курсовой работы с кратким обоснованием и обозначить методы и способы ее достижения. Во введении, как правило, указывают потребителей первой и второй категории в отношении надежности электроснабжения согласно требованиям ПУЭ. Рекомендуется показать перспективу развития электроснабжения объекта, района и т.д.

### **1. Расчет электрической нагрузки**

Для проектирования систем электроснабжения населенного пункта и района необходимо знание электрических нагрузок. Прежде всего, следует определить нагрузку на вводе в отдельные объекты. В качестве их в населенных пунктах могут быть жилые дома, общественные коммунально - бытовые помещения (школы, столовые, магазины и т.д.), производственные предприятия по производству и обработке с.х. продукции (теплицы, животноводческие объекты, молокозаводы, птицефабрики и др.), а также мелкие производственные предприятия (мастерские, мельницы, пилорамы и т.д.). Электрическая нагрузка на вводе в жилой дом может быть определена различными способами, в зависимости от наличия исходной информации об электропотреблении за предыдущие годы, возможности использования газа в населенном пункте, типа застройки (старой и новой) и т.д.

Суммарные электрические нагрузки в сети напряжением 0,38кВ, определяем отдельно для дневного и вечернего максимумов нагрузки.

Если нагрузки потребителей в группе отличается по значению более чем в 4 раза, то их суммируют путем добавок к большей слагаемой нагрузке [1]:

$$P_{(ДВ)} = P_{(ДВ)max} + \sum_{i=1}^n \Delta P_{(ДВ)i}, \quad (1)$$

где:  $P_{(ДВ)max}$  – наибольшая из дневных и вечерних активных нагрузок на вводе потребителя расчетного участка кВт;

$\Delta P_{(ДВ)i}$  – добавки.

$$S_{pd} = \sqrt{Pd + Qd} \quad (2)$$

## **2. Определение количества трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ и их места расположения**

При выборе количества трансформаторов на проектируемых подстанциях 10/0,4 кВ принимают во внимание категории надежности электроснабжения потребителей. К I категории относятся потребители, перерыв в электроснабжении которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб фермерским хозяйствам, повреждения дорогостоящего оборудования (для сельского хозяйства - болезнь и гибель животных), массовой продукции (порчу с.-х. продуктов), нарушение сложных технологических процессов. Ко II категории относятся потребители, перерыв в электроснабжении которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих и механизмов, нарушению нормальной деятельности значительного числа городских и сельских жителей. Все остальные потребители относятся к III категории.

Таким образом, если к отходящим от ТП 10/0,4 кВ ВЛ 0,38 кВ подключены потребители I категории надежности электроснабжения, то необходимо на проектируемой подстанции 10/0,4 кВ установить два трансформатора. Это связано с необходимостью обеспечения электроэнергией потребителей I категории по двум взаимно резервирующим ВЛ 0,38 кВ от двух независимых источников питания, причем переключение электроснабжения потребителя на резервную ВЛ (или на резервный источник питания) должно производиться автоматически.

Для обеспечения надежности электроснабжения потребителей II категории, мощностью 250 кВт и более также проектируют двухтрансформаторную подстанцию 10/0,4 кВ, а при меньшей мощности - однострансформаторную. Кроме

того, электропитание потребителей II категории, не допускающих перерыва более 0,5 ч, осуществляют по двум ВЛ 0,38 кВ с возможностью ручного переключения с одной ВЛ на другую.

При наличии в населенном пункте только потребителей III категории по надежности электроснабжения достаточно установить на ТП 10/0,4 кВ один трансформатор.

Критерием выбора оптимального количества ТП в заданном населенном пункте является протяженность ВЛ 0,38 кВ, суммарная мощность подстанций и значения провала напряжения при запуске асинхронных электродвигателей.

Если радиус ВЛ 0,38 кВ превышает 0,5-0,7 км при проектировании одной ТП в населенном пункте, то целесообразно рассмотреть вариант установки двух и более ТП. При суммарной электрической нагрузке населенного пункта свыше 400 кВА и невозможности обеспечения допустимой глубины провала напряжения при запуске электродвигателя также целесообразно рассмотреть варианты установки двух и более подстанций в населенном пункте.

При целесообразности установки двух и более подстанций в населенном пункте желательно проектировать электроснабжение производственных и коммунально-бытовых потребителей от разных подстанций. Место расположения ТП выбирается в центре «тяжести» электрических нагрузок, присоединенных к данной подстанции который может быть определен по формулам [1]:

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P X_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P} ; \quad (3)$$

$$Y_{p1} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_1 Y_{1i}}{\sum_{i=1}^{i=n} P_1} ; \quad (4)$$

При выборе места расположения подстанции на плане населенного пункта оси координат и масштаб X, Y принимаются произвольно.

Окончательное местоположение подстанции выбирается с учетом удобства ее размещения, обслуживания и возможности взаимного резервирования между ТП по ВЛ 0,38 кВ, что необходимо для потребителей первой категории по надежности электроснабжения, таких, как больницы, инкубаторы, крупные животноводческие фермы, птицеводческие комплексы и др.

### 3. Выбор установленной мощности трансформаторов

Выбор установленной мощности трансформаторов ТП производится по условиям их работы в нормальном режиме по экономическим интервалам нагрузки исходя из условия[1]:

$$S_{\text{эк.мин}} = S_p/n = S_{\text{эк.мак}} \quad (5)$$

где  $S_p$  – расчётная нагрузка подстанций, кВА;

$n$  – количество трансформаторов проектируемой ТР;

$S_{\text{эк.мин}}$ ,  $S_{\text{эк.мак}}$  – минимальное и максимальная граница экономического интервала нагрузки трансформатора.

Номинальная мощность трансформаторов на двухтрансформаторной подстанции 10/0,4 кВ определяется из условий их работы в нормальном и аварийном режимах. Если нет резервирования в сетях 0,38 кВ, то номинальную мощность трансформатора выбирают по условию:

$$S_H \geq \frac{S_{\text{рас}}}{K_{\text{ПС}}} \quad (6)$$

где  $S_{\text{рас}}$  - расчетная мощность подстанции 10/0,4 кВ, кВ-А;

$K_{\text{ПС}}$  - коэффициент допустимой систематической перегрузки трансформатора подстанции.

Если в сетях 0,38 кВ применяется резервирование, то номинальную мощность трансформаторов на проектируемой подстанции 10/0,4 кВ выбирают по двум условиям:

$$S_H \geq \frac{S_{\text{рас}}}{K_{\text{ПС}}} \quad \text{и} \quad S_H \geq \frac{S_{\text{рас}} + S_{\text{рез}}}{K_{\text{па}}} \quad (7)$$

где  $S_{\text{рез}}$  - электрическая нагрузка, резервируемая по сетям 0,38 кВ, кВ-А;

$K_{\text{па}}$  коэффициент допустимой аварийной перегрузки подстанции, зависящий от степени загрузки трансформатора до аварии, и достигающий значений 1,5-1,9.

Для нормального режима эксплуатации подстанции номинальной мощности трансформаторов проверяются исходя из условия:

$$\frac{S_p}{S_{н.н}} \leq k_c \quad (8)$$

где  $k_c$  – коэффициент допустимой систематической нагрузки трансформатора.

#### **4. Расчет сети 0,38 кВ**

В качестве распределительных 0,38кВ и питающих 10кВ используются воздушные линии. Конфигурация воздушных линий разрабатывается в соответствии с планом населенного пункта и равномерности нагрузки по линии.

Схема распределительной сети 0,38кВ приводится на листе 1 графической части работы.

#### **Расчет электрических нагрузок в сетях 0,38кВ**

Для каждой линии составляется расчетная схема, на которой показывают потребителей и их расчетные нагрузки. Расчетные схемы допускается вычерчивать без масштаба. Принятые на основании расчетов марки сечений проводов проверяются по допустимой потере напряжения. Если потеря напряжения превышает допустимое значение, то линии следует применять полнофазными и при необходимости увеличивать сечения проводов, как рекомендовано в таблицах экономических интервалов нагрузок.

На ВЛ 0,38 кВ рекомендуется применять алюминиевые, сталеалюминевые провода и провода из алюминиевого сплава. На КЛ рекомендуется применять кабели с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией.

Недопустимо использовать сечения проводов на последующих от подстанции участках больше, чем на предыдущих. Для наружного освещения принимается отдельный провод минимального сечения по механической прочности и проверяется также по допустимой потере напряжения.

Выбранные по минимуму приведенных затрат провода и кабели должны быть проверены[1]:

- на допустимое отклонение напряжения у потребителей;



- на допустимые длительные токовые нагрузки по условию нагрева в нормальном и послеаварийном режимах;
- на обеспечение надежного срабатывания защиты (предохранителей или выключателей) при однофазных и междуфазных коротких замыканиях;
- на пуск асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором;
- кабели с пластмассовой изоляцией, защищенные плавкими предохранителями, должны быть проверены на термическую устойчивость от токов короткого замыкания.

## **5. Проверка сети 0,38 кВ по условиям пуска и устойчивой работы электродвигателей**

Согласно ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения» провалом напряжения называют внезапное значительное понижение напряжения, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от нескольких периодов до нескольких десятков секунд. Глубиной провала напряжения называют разность между номинальным значением напряжения и его минимальным действующим значением в течение провала (в процентах от номинального значения напряжения).

В сельских электрических сетях провалы напряжения наиболее часто возникают при пуске короткозамкнутых асинхронных двигателей, мощность которых соизмерима с мощностью трансформатора. При недопустимом снижении напряжения пуск двигателя может оказаться безуспешным, так как вращающий момент двигателя, в том числе и пусковой, пропорционален квадрату действующего значения напряжения. Кроме того, может произойти «опрокидывание», т.е. остановка работающих двигателей.

При пуске двигателя напряжения на его зажимах не должно снизиться более, чем на 30% от номинального напряжения линии, в то же время, напряжение на остальных электроприёмниках не должно уменьшиться более, чем на 20% от номинального напряжения[1].

Потеря напряжения при пуске электродвигателя:

$$\Delta U\% = \frac{Z_{TP} + Z_{Л}}{Z_{TP} + Z_{Л} + Z_{ДВ}} \cdot 100 \quad (9)$$

где  $Z_{TP}$  – полное сопротивление фазы обмотки трансформатора;

$Z_{Л}$  – полное сопротивление линии от ТП до электродвигателя;

$Z_{ДВ}$  – полное сопротивление фазы обмотки электродвигателя.

Полное сопротивление линии

$$Z_{Л} = \sum_{i=1}^n Z_i \quad (10)$$

где  $\sum Z_i$  – сумма полных сопротивлений участков.

Так как на всём участке проложен провод одного сечения:

$$Z_{Л} = \sqrt{r_0^2 + x_0^2} \cdot L \quad (11)$$

где  $r_0$ ,  $x_0$  – удельные активное и индуктивное сопротивления провода, Ом/км;

$L$  – длина линии, км.

Находим сопротивление электродвигателя:

$$Z_{ДВ} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot I_N \cdot K_i}; \quad (12)$$

где  $U_N$  – номинальное напряжение электродвигателя,

$K_i$  – кратность пускового тока,

$I_N$  – номинальный ток электродвигателя,

Полученное значение напряжения не должно выходить за пределы допустимого (30%) значения.

## 6. Расчёт сети 10 кВ

В сети 10 кВ девять нагрузок заданы изначально, а одна определяется расчетом. Расчетная нагрузка потребителя будет складываться из нагрузок потребителя населённого пункта, потерь мощности и потерь мощности трансформатора.

$$S_{1д} = S_{др} + \Delta S_{дл} + \Delta S_{тр.д}; \quad (13)$$

$$S_{1в} = S_{вр} + \Delta S_{вр} + \Delta S_{тр.в};$$

$S_{др}$  и  $S_{дл}$ ,  $S_{вр}$  и  $\Delta S_{вр}$  – рассчитаны в пункте 3.2.

Для определения активной и реактивной мощности 2,3,4,5,6,7,8,9,10 потребителей считаем, что для них коэффициент мощности  $\cos\varphi=0,9$ , тогда:

$$P=S \cdot \cos\varphi \text{ и } Q=S \cdot \sin\varphi. \quad (14)$$

Расчет мощностей на участках линий, выбор марок проводов и сечений, определение потерь напряжения и мощности производим так же, как и для сети 0,38 кВ.

Нагрузка на ЦП будет складываться из нагрузки потребителей 10 кВ сети и потерь в ВЛ:

$$S_{ц,п}=S+\Delta S_c \quad (15)$$

## 7. Определение отклонения напряжения у потребителя

Для оценки качества напряжения у потребителей составляется таблица отклонений напряжения, из которой определяется допустимая потеря напряжения в линиях 0,38 кВ. Согласно ГОСТ 13109-97 отклонения напряжения у сельскохозяйственных потребителей не должны превышать  $\pm 5\%$  в нормальном (рабочем) режиме.

С помощью таблицы отклонений напряжения осуществляют выбор оптимальных надбавок на трансформаторах ТП 10/0,4 кВ и рассчитывают допустимые потери напряжения в линиях 10 и 0,38 кВ.

При этом рассматривают граничные условия, справедливо считая, что если в них, возможно, обеспечить требуемые уровни напряжения у потребителей, то и для потребителей остальных ТП линии это удастся сделать. Таблица составляется для ближайшего (к шинам центра питания) и удаленного ТП 10/0,4 кВ. Причем рассматриваются уровни напряжений, как у ближайшего, так и удаленного потребителей этих ТП, в двух режимах: минимальной и максимальной нагрузки. В с.х. районах минимальная электрическая нагрузка по статистическим данным составляет 25 % от максимальной.

В левую колонку таблицы заносят все элементы спроектированной схемы электроснабжения от источника энергии (шин центра питания района) до потребителей. В таблицах отклонения напряжений приводятся потери, отклонения и надбавки напряжения в процентах к номинальному напряжению для всех элементов схемы

На первом этапе расчета в таблицу заносятся известные показатели:

- уровни напряжения на шинах 10 кВ;

- допустимые отклонения напряжений у удаленных потребителей в режиме максимума нагрузки равные 5 %;
- потери напряжения в трансформаторах ТП;
- потери напряжения в ВЛ-10 кВ для ближайшего ТП;
- потери напряжения в ВЛ-0,38 кВ для ближайших потребителей.

Далее выбирают надбавки на трансформаторах ТП и в режиме максимальной нагрузки рассчитывают допустимые потери в ВЛ 10 и 0,38 кВ .

Надбавки стараются выбрать побольше для того, чтобы допустимые потери в линиях были достаточны по величине. Выбранные надбавки проверяют в режиме минимальных нагрузок по отклонениям напряжения у ближайших потребителей.

## **8. Расчет токов короткого замыкания**

Короткими замыканиями (КЗ) называется всякое непредусмотренное условиями работы соединение двух точек электрической цепи.

В трехфазных цепях переменного тока при расчетах учитывают трехфазное и двухфазное КЗ, а в системах с заземленной нейтралью также однофазные КЗ на землю (или на нулевой провод). Чаще всего токи КЗ бывают значительно больше токов нагрузки, но могут быть соизмеримы с ними по значению.

Результаты расчетов необходимы для:

- сопоставления, оценки и выбора схем электрических соединений станций, подстанций и системы электроснабжения в целом;
- выбора аппаратуры электроустановок и проверки по условиям работы при коротких замыканиях (термическая и динамическая устойчивость);
- проектирования и настройки устройств релейной защиты и автоматики.

Расчет токов короткого замыкания осуществляют в следующей последовательности:

- выбирают метод расчета и расчетные условия;
- для расчетной схемы составляют эквивалентную схему замещения;
- определяют ЭДС источников питания и сопротивления элементов схемы (генераторов, трансформаторов, линий электропередачи и т.д.) в именованных или относительных единицах;

- преобразуют схему к простейшему виду (эквивалентный источник питания - результирующее сопротивление - точка короткого замыкания);
- определяют значения токов короткого замыкания.

В сетях 0,38кВ в большинстве случаев приходится определять ток короткого замыкания не для проверки аппаратуры на термическую и электродинамическую устойчивость (запасы прочности электрооборудования весьма значительны), а для проверки надежности срабатывания автоматических выключателей и плавких предохранителей при коротких замыканиях. Эти расчеты проводят при условии, что на шинах высшего напряжения понизительного трансформатора 10/0,4 кВ напряжение неизменно и равно номинальному. Таким образом, при определении результирующего сопротивления до точки короткого замыкания можно учитывать активные и индуктивные сопротивления лишь трансформаторов и проводов линии 0,38 кВ. Расчеты сводятся, как правило, к определению максимального тока трехфазного короткого замыкания на шинах 0,4 кВ трансформатора и минимального однофазного тока короткого замыкания в наиболее удаленной точке линии электропередачи. В удаленных точках короткого замыкания учитывают только основных элементов сети: силовых трансформаторов, линий электропередачи 0,38 кВ.

Расчет токов короткого замыкания в сети 0,38 кВ ведут, как правило, в именованных единицах.

## **9. Защита сети от аварийных режимов**

Сельские электрические сети напряжением 0,38 кВ работают с глухозаземленной нейтралью. Их выполняют, как правило, с воздушными четырехпроводными линиями электропередач, имеющими многократное заземление нулевого провода и зануление электрифицированного технологического оборудования потребителей.

К специфическим особенностям сельских сетей напряжением 0,38 кВ, оказывающим влияние на выполнение их защиты от аварийных режимов, можно отнести: наличие несимметрии фазных токов и тока в нулевых проводах линий; малую кратность токов КЗ; малое значение токов замыкания на землю.

К основным аппаратам защиты от междуфазным и однофазных КЗ на нулевой провод линий напряжением 0,38 кВ относят предохранители и автоматические выключатели. Для линий с однофазной нагрузкой целесообразно применять предохранители, а для линий со смешанной нагрузкой – автоматические выключатели, т.к. при этом исключаются неполнофазные режимы. На линиях применяются предохранители ПР2; ПН2; ПП17 и типа НПН или автоматические выключатели серий АП–50; АЕ–2000; АЗ700 и ВА.

Номинальное напряжение предохранителя  $U_{\text{нп}}$  должно соответствовать напряжению сети  $U_{\text{с}}$ , а предельный ток отключения  $I_{\text{пр}}$  должен быть больше максимального тока КЗ  $I_{\text{к max}}^{(3)}$  в месте установки предохранителя.

От атмосферных перенапряжений трансформатор 10/0,4 кВ потребительских подстанций типа КТП согласно типовому проекту защищается двумя комплектами вентильных разрядников со стороны высшего напряжения — РВО-10, со стороны низшего напряжения -РВН-1 VI.

## 10. Техничко-экономические показатели

Техничко-экономическими показателями спроектированной системы электроснабжения являются стоимость и себестоимость одного киловатт-часа, отпущенного потребителю [2, 3, 5, 6, 9].

Для группы электроприемников, присоединенных к сельской электрической сети 0,38 кВ, приведенные затраты на производство и передачу электрической энергии можно рассматривать как сумму трех составляющих:

1. затрат на электроэнергию, отпускаемую с шин энергосистемы ( $Z_{\text{с}}$ );
2. затрат на передачу энергии по сельским сетям напряжением 110-10 кВ ( $Z_{\text{в}}$ );
3. затрат на ее передачу через ТП напряжением 10(35)/0,4 кВ и воздушные линии 0,38 кВ ( $Z_{\text{н}}$ ):

$$C_{0,38} = Z_{\text{с0}} + Z_{\text{а0}} + Z_{\text{н0}} \quad (16)$$

где:  $Z_{\text{с0}}, Z_{\text{в0}}, Z_{\text{н0}}$  - удельные затраты на один киловатт-час в энергосистеме, по сетям высшего напряжения и по сетям низшего напряжения;  $C_{0,38}$  - стоимость выработанного и переданного по электрическим сетям одного киловатт-часа потребителям, присоединенным к сетям напряжением 0,38 кВ.

Затраты на производство и передачу одного киловатт-часа в энергосистеме  $Z_c = 1,13$  руб/кВтч. Годовые затраты на передачу энергии по сетям напряжением 110-10кВ определяют по формуле:

$$Z_g = \sum_{i=1}^n K_i \cdot E_H + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I_g \quad (17)$$

где  $n$ - число элементов схемы электроснабжения, представленной на расчет; (например ВЛ 35-110 кВ, п.ст. 35-110/10 кВ; ВЛ10 кВ);

$m$  - число учитываемых издержек производства;  $K_i$  - капитальные вложения в  $i$ -и элемент схемы, тыс. руб.;

$E_H$  -нормативный коэффициент сравнительный эффективности, равный 0,1;

$I_{вj}$  -издержки вида  $j$  для  $i$ -го элемента схемы электроснабжения, тыс. руб.

Издержки производства состоят из издержек на амортизацию  $I_a$ , на капитальный ремонт  $I_{к.р.}$ , на потери электрической энергии  $I_{эл.эн.}$ , на обслуживание электрических сетей  $I_{обс}$  и прочие издержки  $I_{пр}$ :

$$\sum_{j=1}^m I_j = I_a + I_{эл.эн.} + I_{обс} + I_{пр} + I_{к.р.} \quad (18)$$

где  $I_a = K_i \cdot p_{ai}$ ;  $p_{ai}$  - коэффициент отчислений  $i$ -го элемента схемы на восстановление (реновацию);

$$I_{эл.эн.} = c \cdot \Delta W;$$

$c$  - стоимость потерянному киловатт-часа, руб./кВт-ч; приближенно берется равной приведенным затратам на предыдущей (к энергосистеме) ступени напряжения, т. е.  $c = Z_{cp}$ ;

$\Delta W$  - количество потерянной электроэнергии (в сумме для элементов ВЛ 35-110 кВ, п.ст. 35-110/10 кВ и ВЛ 10 кВ может быть приближенно принято разным 7 % от общего количества электроэнергии, переданной через п.ст. 35- 110/10 кВ);

$$I_{пр} + I_{обс} = y \cdot N_{ye} ,$$

$N_y$  - число условных единиц для обслуживания  $y$ -го элемента схемы;  $y$  - стоимость одной условной единицы.

$I_{к.р.}$  - норма отчислений на капитальный ремонт.

Для расчета потерь электроэнергии в ВЛ 0,38 кВ рекомендуется использовать коэффициент связи  $K_{H/M}$  между потерями напряжения и потерями мощности

$$K_{H/M} = \Delta P / \Delta U \quad (19)$$

где  $\Delta P$  - потери мощности в % от активной мощности головного участка ВЛ, а  $\Delta U$  - потери напряжения в % от подстанции 10(35)/0,4 кВ до наиболее удаленного потребителя.

Для сельских ВЛ 0,38 кВ этот коэффициент в среднем можно принимать равным 0,95, тогда годовые потери электроэнергии в линии 0,38 кВ равны:

$$\Delta W = \frac{\Delta U \% \cdot K_{H/M} \cdot P_r \cdot \tau}{100} \quad (20)$$

$P_r$  - активная мощность головного участка линии, кВт.

Стоимость 1 кВт-ч электроэнергии, отпущенной потребителю, равна отношению суммарных годовых затрат на элементы схемы (от источника питания места присоединения потребителя) к значению полезно отпущенной электроэнергии.

Себестоимость 1 кВт-ч электроэнергии равна отношению суммарных годовых издержек всех элементов к значению полезно отпущенной электроэнергии.

Таким образом, стоимость 1 кВт-ч электроэнергии, отпущенной с шин 10 В ТП 35-10/0,4 кВ, равна:

$$3_B = C_{10} = 3_C + 3_B \frac{E_H \sum_{i=1}^n K_i + 3_C \cdot 0,07 \cdot P_{PТП} \cdot T_{PТП} + \sum_{i=1}^n K_i \cdot p_{к.р.} \cdot i + \gamma \sum_{i=1}^n N_{y.e.} + \sum_{i=1}^n K_i \cdot p_{ai}}{P_{PТП} \cdot T_{PТП}} + 3_C$$

где  $P_{PТП} = S_{PТП} \cdot \cos\phi$ ;  $T_{PТП}$  - время использования максимума нагрузок.

По аналогии стоимость 1 кВт-ч электроэнергии, отпущенной потребителю 1 сети 0,38 кВ, равна:

Себестоимость 1 кВт-ч электроэнергии, отпущенного потребителю равна:

$$C_{0,38}^1 = 3_C + 3_B \frac{E_H \sum_{i=1}^n K_i \cdot p_{ai} + \sum_{i=1}^n K_i \cdot p_{к.р.} + \gamma \sum_{i=1}^n N_{y.e.} + (3_C + 3_B) \Delta W_B}{P_{PТП} \cdot T_{PТП}} \quad (21)$$



## 11. Мероприятий по охране труда

В соответствии с ПУЭ, ПТЭ и ПТБ должны быть рассчитаны и выполнены заземляющие устройства ТП, выбраны повторные заземления на отходящих линиях и зануления электроустановок. Необходимо также проверить защитное отключение при повреждении электроустановок.

### Приложение 1

#### ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Исходные данные определяют по таблицам согласно шестизначному числовому коду, заданному преподавателем. Расположение потребителей в населенном пункте определяют данные таблица 1 с использованием координатной сетки, показанной на рисунок 1. Размер квадрата задается преподавателем. Такая же координатная сетка используется для получения плана расположения потребительских подстанций по данным таблица 5.

|    | А | Б | В | Г | Д | Е | Ж | И | К | Л |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

Рисунок 1 Координатная сетка.

**Таблица 1. Расположение потребителей в населенном пункте**

| Номер<br>потребителя | 1-ый знак кода |    |    |     |    |    |    |    |    |    |
|----------------------|----------------|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|
|                      | 0              | 1  | 2  | 3   | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| 1                    | А1             | А1 | А5 | А7  | В2 | А6 | Г3 | Г1 | А3 | Г1 |
| 2                    | Б2             | Б2 | Б5 | Б7  | В3 | Б6 | Д3 | Д2 | Б2 |    |
| 3                    | В3             | В3 | В5 | В7  | Г1 | И6 | Е3 | Е3 | Б5 | Е2 |
| 4                    | Г4             | Г4 | Г5 | Г7  | Г2 | Г5 | В4 | Ж7 | В3 | Е4 |
| 5                    | Д5             | Д5 | Д5 | Д6  | Г3 | Д4 | Ж4 | Е5 | Г4 | Ж3 |
| 6                    | Е6             | Е5 | Е5 | Е5  | Г4 | Е4 | В5 | Д6 | Г3 | И5 |
| 7                    | Ж7             | Ж4 | Ж5 | Ж4  | Д2 | Ж4 | Ж5 | Г4 | Д5 | В3 |
| 8                    | И8             | И3 | И5 | И3  | Д4 | И5 | В6 | В3 | Е5 | А4 |
| 9                    | К9             | К2 | К5 | К3  | Е1 | К5 | Ж6 | Д5 | Ж5 | Б3 |
| 10                   | Л10            | Л1 | Л5 | Л3  | К3 | Л5 | Е7 | Б3 | Е3 | К6 |
| 11                   | Д3             | Д4 | Г6 | В3  | Ж5 | Д5 | Д5 | Б2 | К4 | А6 |
| 12                   | Е4             | Е4 | Д6 | Г4  | В4 | Е5 | Г5 | Г3 | И5 | Б5 |
| 13                   | Ж5             | Д3 | Е6 | Д3  | И3 | В6 | Е4 | Ж2 | Е4 | В5 |
| 14                   | И6             | Е3 | Е7 | Г6  | Б4 | Г6 | Е5 | Е4 | Д2 | Г3 |
| 15                   | И3             | Ж2 | Ж7 | Е4  | И2 | Д6 | Е6 | Д7 | Е6 | Д4 |
| 16                   | Г6             | К4 | И4 | А8  | Б6 | Г2 | Ж8 | Ж4 | В7 | Л7 |
| 17                   | Г7             | Л4 | К4 | А9  | В5 | Д2 | Ж9 | Ж5 | Д7 | К8 |
| 18                   | Б8             | К5 | К3 | Б8  | Г6 | Д3 | К7 | Ж6 | Г8 | И7 |
| 19                   | Д9             | Л5 | Л3 | Б9  | А9 | Е2 | К8 | Е7 | В8 | Ж6 |
| 20                   | Г10            | И6 | К2 | Б10 | Б8 | В3 | И7 | И6 | Б6 | Л9 |

**Таблица 2. Данные о жилых домах**

| Второй<br>знак кода | Количество квартир в жилом доме |             |                 |        | Номер в<br>таблице<br>нагрузок |
|---------------------|---------------------------------|-------------|-----------------|--------|--------------------------------|
|                     | 1                               | 4           | 12              | 40     |                                |
| 0                   | 4(1...4)                        | 3(5...7)    | 2(8,9)          | 1(10)  | 69                             |
| 1                   | 7(2...8)                        | 2(9,10)     | 1(1)            | -      | 70                             |
| 2                   | 1(3)                            | 4(4...7)    | 3(8,9,10)       | 2(1,2) | 71                             |
| 3                   | 2(4,5)                          | 2(6,7)      | 6(8...10,1...3) | -      | 72                             |
| 4                   | 4(5...7)                        | 4(8...10,1) | 1(2)            | 2(3,4) | 73                             |
| 5                   | 5(7...10,1)                     | 1(2)        | 4(3...6)        | -      | 74                             |
| 6                   | 6(2...7)                        | 2(8,9)      | 1(10)           | 1(1)   | 75                             |
| 7                   | 8(3...10)                       | -           | 2(1,2)          | -      | 76                             |
| 8                   | 9(1...9)                        | -           | -               | 1(10)  | 77                             |
| 9                   | 10(1...10)                      | -           | -               | -      | 78                             |

Примечание. В скобках указаны номера потребителей согласно табл. 1.

**Таблица 3. Производственные, общественные и коммунальные потребители**

| Номер потребителя | Третий знак кода |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                   | 0                | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| 11                | 1                | 10 | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 13 | 16 | 24 |
| 12                | 33               | 30 | 7  | 8  | 12 | 37 | 38 | 23 | 23 | 27 |
| 13                | 43               | 32 | 11 | 46 | 36 | 47 | 48 | 31 | 50 | 47 |
| 14                | 47               | 34 | 44 | 49 | 42 | 41 | 42 | 36 | 36 | 49 |
| 15                | 48               | 50 | 51 | 35 | 40 | 57 | 39 | 47 | 48 | 29 |
| 16                | 51               | 57 | 52 | 58 | 52 | 64 | 58 | 67 | 53 | 54 |
| 17                | 53               | 55 | 54 | 67 | 53 | 68 | 59 | 52 | 56 | 57 |
| 18                | 60               | 56 | 61 | 51 | 55 | 62 | 61 | 59 | 60 | 61 |
| 19                | 62               | 59 | 63 | 54 | 56 | 66 | 65 | 55 | 65 | 66 |
| 20                | 64               | 66 | 65 | 60 | 68 | 63 | 51 | 64 | 68 | 67 |

**Таблица 4. Расположение нагрузок питающих линий**

| Номер нагрузки | Четвертый знак кода |    |    |    |     |     |    |    |    |    |
|----------------|---------------------|----|----|----|-----|-----|----|----|----|----|
|                | 0                   | 1  | 2  | 3  | 4   | 5   | 6  | 7  | 8  | 9  |
| 1              | А1                  | А3 | А4 | Г1 | Е2  | А8  | А6 | Б5 | А9 | Б4 |
| 2              | Б2                  | Б3 | В4 | Г3 | Е4  | В8  | В6 | Г3 | Б8 | Г4 |
| 3              | Г3                  | Д3 | Д4 | Г5 | Е6  | Д8  | Д5 | Е5 | Г6 | Е3 |
| 4              | Е3                  | Ж3 | Ж4 | Г7 | Д7  | Ж8  | Ж6 | И5 | Е4 | И2 |
| 5              | Ж4                  | К3 | К4 | Г9 | Ж7  | К8  | К6 | Л5 | И2 | И1 |
| 6              | И5                  | Д1 | В2 | В7 | Г9  | Е7  | В4 | Д4 | Л1 | К2 |
| 7              | К6                  | Б1 | В6 | В5 | И8  | Е9  | Б8 | Е3 | Г4 | Л2 |
| 8              | А7                  | Ж1 | Д2 | В3 | В9  | Ж6  | Ж4 | И7 | Г8 | Г3 |
| 9              | К5                  | Б5 | Д6 | В9 | К9  | К10 | Ж3 | И9 | Е2 | Д5 |
| 10             | Ж6                  | Ж5 | Г2 | В1 | Б10 | И5  | Ж2 | И3 | Е6 | Г2 |

**Таблица 5. Расчетные нагрузки питающей линии**

| Пятый знак кода |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Расчетная нагрузка, кВА |                   |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------------|-------------------|
| 0               | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | Дневной максимум        | Вечерний максимум |
| 1               | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 60                      | 80                |
| 2               | 1  | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 80                      | 70                |
| 3               | 2  | 1  | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 80                      | 160               |
| 4               | 3  | 2  | 1  | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 140                     | 150               |
| 5               | 4  | 3  | 2  | 1  | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 150                     | 120               |
| 6               | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 10 | 9  | 8  | 7  | 150                     | 180               |
| 7               | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 10 | 9  | 8  | 160                     | 270               |
| 8               | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 10 | 9  | 170                     | 210               |
| 9               | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | 10 | 170                     | 280               |
| 10              | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  | 4  | 3  | 2  | 1  | Определить расчетом     |                   |

**Таблица 6. Данные центра питания**

| Наименование параметра                       | Шестой знак кода |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|  | 0                | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| Уровень напряжения при максимальной нагрузке | 1                | 2  | 3  | 4  | 5  | 5  | 2  | 1  | 0  | 5  |
| Уровень напряжения при минимальной нагрузке  | 0                | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 2  |
| Мощность к.з. на шинах ЦП, МВА               | 30               | 40 | 25 | 20 | 35 | 45 | 65 | 50 | 60 | 55 |

Примечание. Координаты центра питания задаются преподавателем.

### 3. СОСТАВ ПРОЕКТА

Проект состоит из текстовой части (исходные данные, пояснительная записка) и графической части. Объем текстовой части составляет 25...30 страниц. Графическая часть включает в себя планы и расчетные схемы сети 0,38 и 10 кВ, электрическая принципиальная схема и общий вид одной из подстанции 10/0,4 кВ. Исходные данные оформляются в виде таблиц и рисунков с необходимыми пояснениями. Примерное содержание пояснительной записки:

- Введение
- Расчет электрических нагрузок населенного пункта.
- Определение количества трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ и их места расположения.
- Расчет сети 0,38 кВ. (Обоснование схемы сети. Определение сечений проводов отходящих линий. Расчет потерь напряжения и мощности. Проверка сети 0,38 кВ по условиям пуска и устойчивой работы электродвигателей.)
- Расчет сети 10 кВ. (Определение места расположения центра питания и схемы сети 10 кВ. Определение сечений проводов. Расчет потерь напряжения и мощности. Определение отклонений напряжения у потребителей.)
- Расчет токов короткого замыкания. (Задачи расчета. Выбор расчетных точек. Расчет т.к.з. в сети 10 кВ. Расчет т.к.з. в сети 0,38 кВ. )
- Защита сети от аварийных режимов. (Защита сети 10 кВ. Защита сети 0,38 кВ).
- Подстанция 10/0,4 кВ (Конструктивное исполнение и схема подстанции. Выбор и проверка основного оборудования подстанции. Заземление подстанции).

**Таблица 7. Электрические нагрузки потребителей**

| № п/п | Объект   | Мощность эл. двигателя, кВт | Дневная нагрузка |      | Вечерняя нагрузка |      | Коэффициент сезонности |       |      |       |
|-------|--|-----------------------------|------------------|------|-------------------|------|------------------------|-------|------|-------|
|       |  |                             | кВт              | кВАр | кВт               | кВАр | Зима                   | Весна | Лето | Осень |
| 1     | 2  | 3                           | 4                | 5    | 6                 | 7    | 8                      | 9     | 10   | 11    |
| 1     | Коровник без механизации процессов на 100 голов  | -                           | 4                | -    | 4                 | -    | 1,0                    | 0,8   | 0,2  | 0,9   |
| 2     | То же, с электроводоподогревателем   | -                           | 10               | -    | 10                | -    | 1,0                    | 0,8   | 0,6  | 0,9   |
| 3     | Коровник привязного содержания с механизированной уборкой навоза на 100 голов                                    | -                           | 4                | 4    | 4                 | 4    | 1,0                    | 0,8   | 0,6  | 0,9   |
| 4     | То же, с электроводонагревателем   | -                           | 9                | 8    | 9                 | 8    | 1,0                    | 0,8   | 0,6  | 0,9   |
| 5     | Коровник привязного содержания с механизированным доением, уборкой навоза и электроводонагревателем на 100 голов | -                           | 10               | 8    | 10                | 8    | 1,0                    | 0,8   | 0,7  | 0,9   |
| 6     | Помещение для ремонтного и откормочного молодняка на 170 голов   | -                           | 1                | -    | 3                 | -    | 1,0                    | 0,6   | 0,3  | 0,9   |
| 7     | То же, с механизированной уборкой навоза   | -                           | 4                | 3    | 7                 | 5    | 1,0                    | 0,8   | 0,6  | 0,9   |
| 8     | Родильное отделение с профилакторием на 48 мест  | -                           | 20               | 15   | 20                | 15   | 1,0                    | 0,9   | 0,5  | 0,8   |
| 9     | Родильное отделение на 48 мест   | -                           | 6                | -    | 6                 | -    | 1,0                    | 0,9   | 0,5  | 0,8   |
| 10    | Телятник с родильным отделением на 120 телят   | -                           | 5                | 3    | 8                 | 5    | 1,0                    | 0,8   | 0,4  | 0,8   |
| 11    | Молочный блок при коровнике на 3 т/сутки   | -                           | 15               | 15   | 15                | 15   | 0,8                    | 0,9   | 1,0  | 0,8   |
| 12    | Кормоприготовительная при коровнике  | -                           | 6                | 5    | 6                 | 5    | 1,0                    | 0,8   | 0,5  | 0,9   |
| 13    | Свинарник-маточник на 50 маток (подвесная дорога)  | -                           | 2                | -    | 2                 | -    | 1,0                    | 0,8   | 0,2  | 0,9   |
| 14    | То же, с навозоуборочным транспортером   | -                           | 3                | 3    | 5                 | 5    | 1,0                    | 0,8   | 0,7  | 0,9   |
| 15    | То же, с теплогенератором  | -                           | 6                | 5    | 10                | 6    | 1,0                    | 0,8   | 0,4  | 0,8   |

Продолжение таблицы 7

|    |  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |
|----|--|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 16 | То же, с электрообогревом  | -  | 28 | 12 | 28 | 8  | 1,0 | 0,8 | 0,2 | 0,8 |
| 17 | Свинарник-маточник на 100 маток (подвесная дорога)                               | -  | 4  | -  | 7  | -  | 1,0 | 0,8 | 0,2 | 0,9 |
| 18 | То же, с навозоуборочным транспортером   | -  | 5  | 4  | 5  | 4  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 19 | То же, с теплогенератором  | -  | 8  | 6  | 8  | 6  | 1,0 | 0,8 | 0,4 | 0,8 |
| 20 | То же, с электрообогревом  | -  | 55 | 25 | 55 | 15 | 1,0 | 0,8 | 0,2 | 0,8 |
| 21 | Свинарник-откормочник на 1000-1200 голов   | -  | 2  | -  | 6  | -  | 1,0 | 0,8 | 0,2 | 0,9 |
| 22 | То же, с навозоуборочным транспортером   | -  | 6  | 5  | 9  | 8  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 23 | Кормоцех для свинофермы на 100 маток и 1000 голов откорма или 2000 голов откорма | 22 | 26 | 23 | 10 | 7  | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,9 |
| 24 | Птичник на 6-9 тыс. цыплят   | -  | 25 | 10 | 25 | 10 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 25 | То же, на 7 тыс. кур   | -  | 10 | 5  | 10 | 4  | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 26 | То же, на 5-6 тыс. кур   | -  | 20 | 10 | 20 | 10 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,9 |
| 27 | Кормоцех птицефермы на 25-30 тыс. кур  | 14 | 25 | 20 | 10 | 7  | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 1,0 |
| 28 | Инкубаторий на 2 инкубатора  | -  | 20 | -  | 20 | -  | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 29 | То же, на 4 инкубатора   | -  | 30 | -  | 30 | -  | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 30 | Конюшня  | -  | 3  | -  | 3  | -  | 1,0 | 0,8 | 0,5 | 0,8 |
| 31 | Дробилка кормов ДБ-5-1   | 40 | 40 | 35 | -  | -  | 1,0 | 0,7 | 0,5 | 0,8 |
| 32 | То же, КДМ-2   | 30 | 30 | 25 | -  | -  | 1,0 | 0,7 | 0,5 | 0,8 |
| 33 | Измельчитель грубых кормов «Волгарь-5»   | 22 | 22 | 20 | -  | -  | 1,0 | 0,8 | 0,5 | 0,8 |
| 34 | Ветеринарно-фельдшерский пункт   | -  | 3  | -  | 3  | -  | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,8 |
| 35 | Зернохранилище емкостью 500 т  | -  | 10 | 10 | 5  | 3  | 0,5 | 0,4 | 1,0 | 1,0 |
| 36 | Овощехранилище на 300-600 т  | -  | 5  | 3  | 2  | -  | 1,0 | 0,5 | 0,7 | 1,0 |
| 37 | То же, с отопительно-вентиляционной установкой                                   | 14 | 20 | 15 | 20 | 15 | 1,0 | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| 38 | Холодильник для хранения фруктов на 50 т   | -  | 8  | 6  | 8  | 6  | 0,8 | 0,3 | 0,7 | 1,0 |
| 39 | Склад нефтепродуктов емкостью до 300 куб. м                                      | -  | 5  | 4  | 2  | -  | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 40 | Кузница  | -  | 5  | -  | 1  | -  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 41 | Лесопилка с агрегатами ЛРМ-79  | 22 | 16 | 18 | 2  | -  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |

Продолжение таблицы 7

|    |   |    |     |     |         |    |     |     |     |     |
|----|---|----|-----|-----|---------|----|-----|-----|-----|-----|
| 42 | То же, с агрегатами Р-65  | 30 | 23  | 27  | 2       | -  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 43 | Приемный пункт<br>молокозавода<br>производительностью<br>10т/смену                | 14 | 45  | 40  | 45      | 40 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 0,8 |
| 44 | Хлебопекарня<br>производительностью 3<br>т/сутки                                  | -  | 5   | 4   | 5       | 4  | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,9 |
| 45 | Сенажная башня  | -  | 10  | 8   | -       | -  | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 1,0 |
| 46 | Установка<br>вентиляционная для<br>досушивания сена                               | 13 | 120 | 90  | 12<br>0 | 90 | -   | 0,8 | 1,0 | 0,3 |
| 47 | Материально-<br>технический склад   | -  | 3   | 2   | 1       | -  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 48 | Мастерская пункта<br>технического<br>обслуживания в бригаде<br>на 10-2- тракторов | -  | 15  | 12  | 5       | 4  | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,8 |
| 49 | Гараж на 10 автомашин   | -  | 20  | 18  | 10      | 8  | 1,0 | 0,7 | 0,5 | 0,8 |
| 50 | Котельная с двумя<br>котлами «Универсал-6»  | -  | 15  | 10  | 15      | 10 | 1,0 | 0,8 | 0,5 | 0,9 |
| 51 | Начальная школа на 40<br>учащихся   | -  | 5   | -   | 2       | -  | 1,0 | 0,8 | 0,1 | 0,8 |
| 52 | Общеобразовательная<br>школа с мастерской на<br>190 учащихся                      | -  | 14  | 7   | 20      | 10 | 1,0 | 0,8 | 0,1 | 0,8 |
| 53 | Детские ясли/сад на 25<br>мест  | -  | 4   | -   | 3       | -  | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,9 |
| 54 | Административное здание<br>(контора) на 15-25<br>рабочих мест                     | -  | 15  | 10  | 8       | -  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 55 | Сельсовет с отделением<br>связи   | -  | 7   | 3   | 3       | -  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 56 | Клуб со зрительным<br>залом на 150-200 мест                                       | -  | 3   | 1,5 | 10      | 6  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 57 | Дом культуры на 150-200<br>мест   | -  | 5   | 3   | 14      | 8  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 58 | Бригадный дом   | -  | 2   | -   | 5       | -  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 59 | Сельская поликлиника  | -  | 15  | 8   | 30      | 20 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 60 | Фельдшерский пункт  | -  | 4   | -   | 4       | -  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 61 | Столовая на 25 мест   | -  | 5   | 3   | 2       | -  | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |
| 62 | Магазин смешанного<br>ассортимента  | -  | 2   | -   | 4       | -  | 1,0 | 0,6 | 0,4 | 0,7 |
| 63 | Комбинат бытового<br>обслуживания   | -  | 3   | 2   | 1       | -  | 1,0 | 0,6 | 0,6 | 0,8 |
| 64 | Баня на 5 мест  | -  | 3   | 2   | 3       | 2  | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,9 |
| 65 | То же, на 10 мест   | -  | 7   | 2   | 7       | 2  | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,9 |
| 66 | Прачечная<br>производительностью<br>0,125 т/смену                                 | -  | 10  | 6   | 10      | 6  | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,9 |

Продолжение таблицы 7

|    |   |   |     |      |     |      |     |     |     |     |
|----|---|---|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 67 | Столовая с<br>электронагревательным<br>оборудованием на 35 мест                     | - | 20  | 6    | 10  | 4    | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,9 |
| 68 | То же, с электроплитой  | - | 35  | 15   | 15  | 5    | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,9 |
| 69 | Сельский жилой дом<br>(квартира) с плитой на<br>газе, жидком или твердом<br>топливе | - | 0,3 | 0,15 | 1,0 | 0,4  | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,9 |
| 70 | То же   | - | 0,5 | 0,24 | 1,5 | 0,6  | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,9 |
| 71 | То же   | - | 0,7 | 0,32 | 2,0 | 0,75 | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,9 |
| 72 | То же   | - | 0,9 | 0,4  | 2,5 | 0,9  | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,9 |
| 73 | То же   | - | 1,1 | 0,47 | 3,0 | 1,05 | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,9 |
| 74 | То же   | - | 1,3 | 0,52 | 3,5 | 1,17 | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,9 |
| 75 | То же   | - | 1,5 | 0,6  | 4,0 | 1,32 | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,9 |
| 76 | То же   | - | 2,0 | 0,72 | 5,0 | 1,45 | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,9 |
| 77 | Жилой дом с<br>электроплитой  | - | 3,5 | 1,15 | 6,0 | 1,5  | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,9 |
| 78 | То же, и с<br>электроводонагревателем   | - | 4,5 | 1,5  | 7,5 | 1,87 | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,9 |



## Приложение 2

### Пример расчета

#### Расчет электрических нагрузок населенного пункта

Изобразим расположение потребителей согласно варианту задания.

|   | а | б  | в  | г  | д  | е  | ж | и  | к  | л |
|---|---|----|----|----|----|----|---|----|----|---|
| 1 |   |    |    |    |    |    |   |    |    |   |
| 2 |   | 2  |    |    | 14 |    |   |    |    |   |
| 3 | 1 |    | 4  | 6  |    | 10 |   |    |    |   |
| 4 |   |    |    | 5  |    | 13 |   |    | 11 |   |
| 5 |   | 3  |    |    | 7  | 8  | 9 | 12 |    |   |
| 6 |   | 20 |    |    |    | 15 |   |    |    |   |
| 7 |   |    | 16 |    | 17 |    |   |    |    |   |
| 8 |   |    | 19 | 18 |    |    |   |    |    |   |
| 9 |   |    |    |    |    |    |   |    |    |   |
| 0 |   |    |    |    |    |    |   |    |    |   |

Сетка с ячейкой 100×100 м

1 - 9 – многоквартирные дома;

10 – 40 квартирный дом

11 – Свиноарник маточник на 50 маток (подвесная дорога) с электрообогревом

12 – Кормоцех для свинофермы на 100 маток и 1000 голов откорма или 2000 голов откорма

13 – Овощехранилище на 300-600 т

14 – Мастерская пункта технического обслуживания в бригаде на 10-20 тракторов

15 – Котельная с двумя котлами "Универсал 6"

16 – Детский ясли/сад на 25 мест

17 – Клуб со зрительным залом на 150-200 мест

18 – Фельдшерский пункт

19 – Баня на 10 мест

20 – Столовая с электронагревательным оборудованием на 35 мест с электроплитой

Сгруппируем общественные, жилые и производственные потребители и подсчитаем максимум и минимум нагрузок с учетом коэффициентов одновременности и надбавок.

Таблица 1. Эклектические нагрузки населенного пункта

|                  | Дневная нагрузка, кВт  | Вечерняя нагрузка, кВт | Коэффициент сезонности |       |      |       |     |
|------------------|--|------------------------|------------------------|-------|------|-------|-----|
|                  |  |                        | Зима                   | Весна | Лето | Осень |     |
| Производственные |  |                        |                        |       |      |       |     |
| 11               | Свинарник маточник на 50 маток (подвесная дорога) с электрообогревом             | 28                     | 28                     | 1     | 0,8  | 0,2   | 0,8 |
| 12               | Кормоцех для свинофермы на 100 маток и 1000 голов откорма или 2000 голов откорма | 26                     | 10                     | 1     | 0,9  | 0,8   | 0,9 |
| 13               | Овощехранилище на 300-600 т  | 5                      | 2                      | 1     | 0,5  | 0,7   | 1   |
| 14               | Мастерская пункта технического обслуживания в бригаде на 10-20 тракторов         | 15                     | 5                      | 1     | 0,9  | 0,7   | 0,8 |
| 15               | Котельная с двумя котлами "Универсал 6"  | 15                     | 15                     | 1     | 0,8  | 0,5   | 0,9 |
| Общественные     |  |                        |                        |       |      |       |     |
| 16               | Детский ясли/сад на 25 мест  | 4                      | 3                      | 1     | 0,9  | 0,8   | 0,9 |
| 17               | Клуб со зрительным залом на 150-200 мест   | 3                      | 10                     | 1     | 0,8  | 0,7   | 0,9 |
| 18               | Фельдшерский пункт   | 4                      | 4                      | 1     | 0,8  | 0,7   | 0,9 |
| 19               | Баня на 10 мест  | 7                      | 7                      | 1     | 0,9  | 0,8   | 0,9 |
| 20               | Столовая с электронагревательным оборудованием на 35 мест с электроплитой        | 35                     | 15                     | 1     | 0,9  | 0,8   | 0,9 |
| Жилые            |  |                        |                        |       |      |       |     |
| 1-9<br>10        | Жилой дом с электроплитой  | 3,5                    | 6                      | 1     | 0,9  | 0,7   | 0,9 |

Для простоты расчетов умножим дневную и вечернюю нагрузку на коэффициенты сезонности.

|  | День                  |                        |                        |                        | Ночь                  |                        |                        |                        |
|--|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|  | Дневная нагрузка, кВт | Коэффициент сезонности | Вечерняя нагрузка, кВт | Коэффициент сезонности | Дневная нагрузка, кВт | Коэффициент сезонности | Вечерняя нагрузка, кВт | Коэффициент сезонности |
| Производственные   |                       |                        |                        |                        |                       |                        |                        |                        |
| Свинарник маточник на 50 маток (подвесная дорога) с электрообогревом             | 28                    | 0,8                    | 22,4                   | 0,2                    | 5,6                   | 0,8                    | 22,4                   | 0,2                    |
| Кормоцех для свинофермы на 100 маток и 1000 голов откорма или 2000 голов откорма | 26                    | 0,9                    | 23,4                   | 0,8                    | 21                    | 0,9                    | 23,4                   | 0,8                    |
| Овощехранилище на 300-600 т  | 5                     | 0,5                    | 2,5                    | 0,7                    | 3,5                   | 0,5                    | 2,5                    | 0,7                    |
| Мастерская пункта технического обслуживания в бригаде на 10-20 тракторов         | 15                    | 0,9                    | 13,5                   | 0,7                    | 11                    | 0,9                    | 13,5                   | 0,7                    |
| Котельная с двумя котлами "Универсал 6"  | 15                    | 0,8                    | 12                     | 0,5                    | 7,5                   | 0,8                    | 12                     | 0,5                    |
| Общественные   |                       |                        |                        |                        |                       |                        |                        |                        |
| Детский ясли/сад на 25 мест  | 4                     | 0,9                    | 3,6                    | 0,8                    | 3,2                   | 0,9                    | 3,6                    | 0,8                    |
| Клуб со зрительным залом на 150-200 мест   | 3                     | 0,8                    | 2,4                    | 0,7                    | 2,1                   | 0,8                    | 2,4                    | 0,7                    |
| Фельдшерский пункт   | 4                     | 0,8                    | 3,2                    | 0,7                    | 2,8                   | 0,8                    | 3,2                    | 0,7                    |
| Баня на 10 мест  | 7                     | 0,9                    | 6,3                    | 0,8                    | 5,6                   | 0,9                    | 6,3                    | 0,8                    |
| Столовая с электронагревательным оборудованием на 35 мест с электроплитой        | 35                    | 0,9                    | 31,5                   | 0,8                    | 28                    | 0,9                    | 31,5                   | 0,8                    |
| Жилые  |                       |                        |                        |                        |                       |                        |                        |                        |
| Жилой дом с электроплитой  | 3,5                   | 0,9                    | 3,15                   | 0,7                    | 2,5                   | 0,9                    | 3,15                   | 0,7                    |

Просуммируем производственные потребители с учетом коэффициента одновременности для производственных потребителей, но овощехранилище прибавим по добавке, т.к. его мощность отличается более чем в 4 раза.

$$P_{\Sigma 1} = K_o \cdot \sum P_i = 0,77 \cdot (28 + 26 + 15 + 15) = 64,7 \text{ кВт}$$

Добавка для 5 кВт составляет +3, в итоге получим 67,7 кВт для производственных потребителей зимним днем (в среднем) так же и для других сезонов.

| День |       |      |       | Ночь |       |      |       |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| Зима | Весна | Лето | Осень | Зима | Весна | Лето | Осень |
| 67,7 | 56,5  | 36,2 | 57,9  | 45,9 | 37,5  | 19,8 | 40,1  |

Те же операции произведем и для общественных потребителей.

| День |       |      |       | Ночь |       |      |       |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| Зима | Весна | Лето | Осень | Зима | Весна | Лето | Осень |
| 43,5 | 38,8  | 34,2 | 39,0  | 28,2 | 23,9  | 21,0 | 24,1  |

И, наконец, для жилых потребителей учтем, что дана нагрузка на 1 квартиру, таким образом, мы можем просуммировать число квартир и умножить на коэффициент одновременности.

Число квартир – 49

Коэффициент одновременности для 50 квартир с электроплитами – 0,22.

Далее произведем расчеты для разных сезонов и времени суток.

| День |       |      |       | Ночь |       |      |       |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| Зима | Весна | Лето | Осень | Зима | Весна | Лето | Осень |
| 37,7 | 34,0  | 26,4 | 34,0  | 64,7 | 58,2  | 45,3 | 58,2  |

Сведем в одну таблицу и просуммируем при помощи надбавок.

|                            | День  |       |      |       | Ночь  |       |      |       |
|----------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|
|                            | Зима  | Весна | Лето | Осень | Зима  | Весна | Лето | Осень |
| Производственные           | 67,7  | 56,5  | 36,2 | 57,9  | 45,9  | 37,5  | 19,8 | 40,1  |
| Общественные               | 43,5  | 38,8  | 34,2 | 39,0  | 28,2  | 23,9  | 21,0 | 24,1  |
| Жилые                      | 37,7  | 34,0  | 26,4 | 34,0  | 64,7  | 58,2  | 45,3 | 58,2  |
| Сумма общественных и жилых | 67,5  | 60,8  | 50,7 | 60,0  | 82,4  | 73,2  | 58,3 | 73,2  |
| Общая сумма                | 113,7 | 98,8  | 73,7 | 99,5  | 112,9 | 96,2  | 70,8 | 99,7  |

Из таблицы мы видим, что наибольшая нагрузка приходится на день зимы, а наименьшая на летнюю ночь.

Теперь определим реактивную нагрузку для наибольшей нагрузки.

|                  |  | Дневная нагрузка, кВАр | Вечерняя нагрузка, кВАр | Коэффициент сезонности |       |      |       |
|------------------|--|------------------------|-------------------------|------------------------|-------|------|-------|
|                  |  |                        |                         | Зима                   | Весна | Лето | Осень |
| Производственные |  |                        |                         |                        |       |      |       |
| 11               | Свинарник маточник на 50 маток (подвесная дорога) с электрообогревом             | 12                     | 8                       | 1                      | 0,8   | 0,2  | 0,8   |
| 12               | Кормоцех для свинофермы на 100 маток и 1000 голов откорма или 2000 голов откорма | 23                     | 7                       | 1                      | 0,9   | 0,8  | 0,9   |
| 13               | Овощехранилище на 300-600 т  | 3                      | –                       | 1                      | 0,5   | 0,7  | 1     |
| 14               | Мастерская пункта технического обслуживания в бригаде на 10-20 тракторов         | 12                     | 4                       | 1                      | 0,9   | 0,7  | 0,8   |
| 15               | Котельная с двумя котлами "Универсал 6"  | 10                     | 10                      | 1                      | 0,8   | 0,5  | 0,9   |
| Общественные     |  |                        |                         |                        |       |      |       |
| 16               | Детский ясли/сад на 25 мест  | –                      | –                       | 1                      | 0,9   | 0,8  | 0,9   |
| 17               | Клуб со зрительным залом на 150-200 мест   | 1,5                    | 6                       | 1                      | 0,8   | 0,7  | 0,9   |
| 18               | Фельдшерский пункт   | –                      | –                       | 1                      | 0,8   | 0,7  | 0,9   |
| 19               | Баня на 10 мест  | 2                      | 2                       | 1                      | 0,9   | 0,8  | 0,9   |
| 20               | Столовая с электронагревательным оборудованием на 35 мест с электроплитой        | 15                     | 5                       | 1                      | 0,9   | 0,8  | 0,9   |
| Жилые            |  |                        |                         |                        |       |      |       |
| 1-9<br>10        | Жилой дом с электроплитой  | 1,15                   | 1,5                     | 1                      | 0,9   | 0,7  | 0,9   |

Т.к. наибольшая нагрузка зимой днем и коэффициенты одновременности составляют для зимы 1 запишем реактивную нагрузку сразу.

Для производственных:

$$Q_{\Sigma 1} = K_o \cdot \sum Q_i + Q_{доб} = 0,77 \cdot (12 + 23 + 12 + 10) + 1,8 = 45,7 \text{ кВАр}$$

Для общественных:

$$Q_{\Sigma 2} = 15 + Q_{доб} = 16,6 \text{ кВАр}$$

Для жилых:

$$Q_{\Sigma 3} = K_o \cdot \sum Q \cdot 49 = 0,22 \cdot 1,15 \cdot 49 = 12,4 \text{ кВАр}$$

просуммируем эти мощности с помощью добавок:

$$Q_{\Sigma} = 45,7 + Q_{доб1} + Q_{доб2} = 45,7 + 10,2 + 7,6 = 63,5 \text{ кВАр}$$

$$S_{p0} = \sqrt{P_o + Q_o} = \sqrt{63,5^2 + 113,7^2} = 130,2$$

### Определение количества трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ и их места расположения

$$\Delta U = \Delta U_{номр} + \Delta U_{тр.доб} + \Delta U_{тр.ном.} + \Delta U_{ц.н.} = 5 + 7,5 - 4 + 5 = 13,5\%$$

Разделим потерю напряжения между 0,38 и 10 кВ:

$$10 \text{ кВ} - 7\% \quad 0,38 \text{ кВ} - 6,5\%$$

для определения количества ТП воспользуемся формулой (1) методических указаний:

$$n = P_{\max} \sqrt{\frac{B}{\Delta U P_0 \cos \varphi}}$$

$$P_0 = \frac{P_{\max}}{F}$$

где  $B$  – коэффициент для сетей 0,4 кВ 0,6–0,7;

$P_0$  – плотность нагрузки;

$F$  – площадь населенного пункта;

$\Delta U$  – допустимая потеря напряжения в сети 0,4 кВ в %.

$$n = P_{\max} \sqrt{\frac{B}{\Delta U P_0 \cos \varphi}} = 113,7 \sqrt{\frac{0,6}{6,5 \cdot 236,9 \cdot 0,873}} = 2,4 \approx 2 \text{ шт}$$

Распределим потребители между этими двумя ТП. Определим координаты ТП:

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i X_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}$$

$$X_{p1} = \frac{15 \cdot 50 + 3,5 \cdot 0,22 \cdot 40 \cdot 150 + 5 \cdot 150 + 3,5 \cdot 50 + 3,5 \cdot 150 + 15 \cdot 150 + 3 \cdot 50 + 3,5 \cdot 250 + 26 \cdot 350 + 28 \cdot 450}{15 + 30,8 + 5 + 3,5 + 3,5 + 15 + 3 + 3,5 + 26 + 28} =$$

$$= \frac{31795}{133,5} = 238,5$$

$$Y_{p1} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i Y_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P_i} = 261$$

$$X_{p2} = 196$$

$$Y_{p2} = 408$$

Вычертим схему питания, учитывая расчетные координаты

### Выбор мощности трансформаторов

Выбор мощности трансформаторов ТП производится по условиям их работы в нормальном режиме по экономическим интервалам нагрузки исходя из условия:

$$S_{\text{э.к. min}} = S_p / n = S_{\text{э.к. max}}$$

где  $S_p$  – Расчетная нагрузка подстанции, кВА;

$n$  – количество трансформаторов проектируемой ТП.

$S_{\text{эк. min}}, S_{\text{эк. max}}$  – минимальная и максимальная граница экономического интервала нагрузки трансформатора.

Для нормального режима эксплуатации подстанции номинальные мощности трансформаторов проверяются исходя из условия:

$$\frac{S_p}{S_{н.п}} \leq k_c$$

где  $k_c$  – коэффициент допустимой систематической нагрузки трансформатора.

Мощность трансформатора при смешанной нагрузке – соответственно 40 и 63 кВА,

Проверяем по условию:  $k_c = 1,61$

Для 1-го трансформатора:

$$\begin{aligned} \frac{S_p}{S_{н.п}} &\leq k_c \\ \frac{55,4}{40} &\leq 1,61 \\ 1,38 &\leq 1,61 \end{aligned}$$

условие выполняется, и соответственно для второго

$$\begin{aligned} \frac{S_p}{S_{н.п}} &\leq k_c \\ \frac{95,8}{63} &\leq 1,61 \\ 1,52 &\leq 1,61 \end{aligned}$$

условие выполняется, принимаем два трансформатора мощностью 40 и 63 кВА соответственно.

Принимаем комплектные трансформаторные подстанции наружной установки напряжением 6(10)/0,4 кВ мощностью от 25 до 250 кВА шкафного типа (КТП).

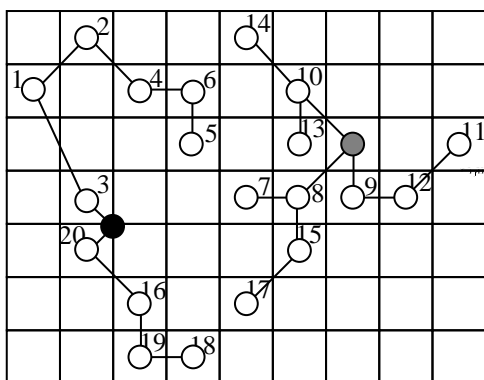
Комплектные трансформаторные подстанции наружной установки шкафные трехфазного переменного тока частотой 50Гц мощностью от 25 до 250кВА предназначены для приема, преобразования и распределения электроэнергии трехфазного переменного тока частотой 50Гц напряжением 6(10)/0,4 кВ.

Область применения КТП - системы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, отдельных населенных пунктов и небольших промышленных объектов.

КТП изготовлена в соответствии с требованиями ГОСТ 14695-80, правилами устройства электроустановок (ПУЭ), ТУ, по рабочим чертежам и схемам главных и вспомогательных цепей.

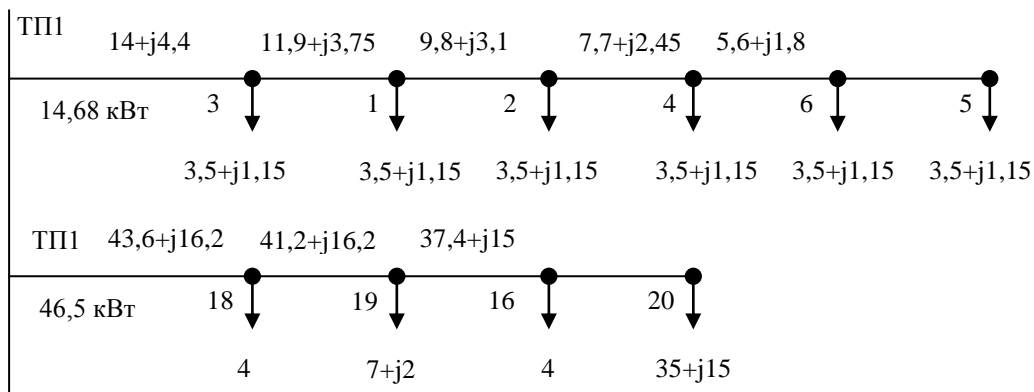
КТП представляет собой металлическую конструкцию, выполненную из листовой стали толщиной 2мм. Имеет 2 шкафа ВН и НН. Двери снабжены внутренними замками под спецключ.

### Расчет сети 0,38 кВ



где ● – ТП2  
● – ТП1

определим нагрузки на каждый фидер:



На трансформатор:

$$S=52,1+j18,8=55,4 \text{ кВт}$$

На трансформатор:  
 $S=82+j49,5=95,8$  кВт

Потери напряжения по участкам:

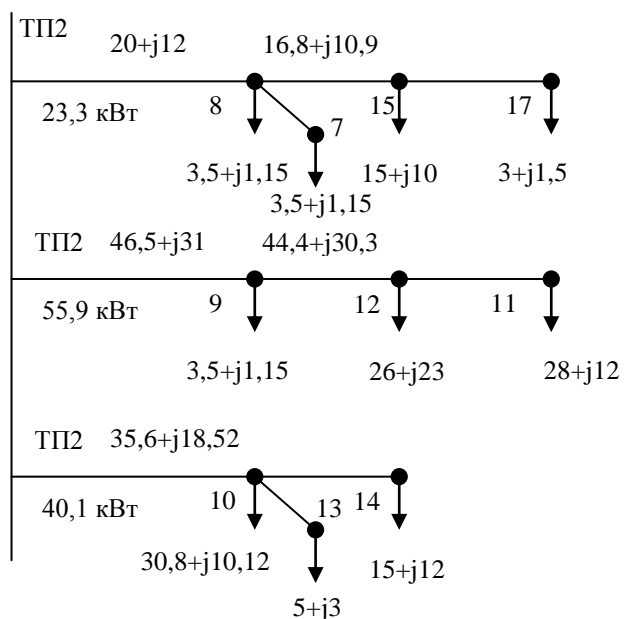


Таблица 2. Характеристики линии 0,38 кВ по участкам

| Участок | Длина участка | Потеря U, % |           | Марка провода | Потеря мощности, ВА |
|---------|---------------|-------------|-----------|---------------|---------------------|
|         |               | по участку  | от начала |               |                     |
| 5-6     | 100           | 0,463       | 6,047     | 3А25+А25      | 13                  |
| 6-4     | 100           | 0,740       | 5,745     | 3А25+А25      | 35                  |
| 4-2     | 141,4         | 1,437       | 5,263     | 3А25+А25      | 93                  |
| 2-1     | 141,4         | 1,828       | 4,327     | 3А25+А25      | 150                 |
| 1-3     | 223,6         | 3,510       | 3,136     | 3А25+А25      | 351                 |
| 3-ТП1   | 70,7          | 1,306       | 0,850     | 3А25+А25      | 153                 |
| Итого   | 777           | 6,047       |           |               | 798                 |
| 18-19   | 100           | 1,293       | 5,869     | 3А70+А50      | 698                 |
| 19-16   | 100           | 1,361       | 4,576     | 3А70+А50      | 782                 |
| 16-20   | 141,4         | 2,111       | 3,215     | 3А70+А50      | 1334                |
| 20-ТП1  | 70,7          | 1,104       | 1,104     | 3А70+А50      | 736                 |
| Итого   | 412,1         | 5,869       |           |               | 3549                |
| 17-15   | 141,4         | 0,382       | 4,551     | 3А25+А25      | 16                  |
| 15-8    | 100           | 1,567       | 4,169     | 3А25+А25      | 405                 |
| 8-ТП2   | 141,1         | 2,602       | 2,602     | 3А25+А25      | 776                 |
| Итого   | 382,5         | 4,551       |           |               | 1197                |
| 11-12   | 141,4         | 1,462       | 5,257     | 3А70+А50      | 631                 |
| 12-9    | 100           | 1,861       | 3,795     | 3А70+А50      | 1390                |
| 9-ТП2   | 100           | 1,934       | 1,934     | 3А70+А50      | 1503                |
| Итого   | 341,4         | 5,257       |           |               | 3525                |
| 14-10   | 141,4         | 1,581       | 5,033     | 3А35+А35      | 411                 |
| 10-ТП2  | 141,4         | 3,452       | 3,452     | 3А35+А35      | 1794                |
| Итого   | 282,8         | 5,033       |           |               | 2206                |

### Проверка сети по условию пуска асинхронного двигателя

Произведем проверку ВЛ 0,38 кВ по условию пуска электродвигателя. При пуске данного двигателя напряжение на его зажимах не должно снизиться более чем на 30% от номинального напряжения линии.



$P_H=22 \text{ кВт}, I_n=41,3 \text{ А}, \kappa_i=6,5; U_k \% - 4,7\%$

$$\Delta U \% = \frac{Z_{mp}^{(3)} + Z_l}{Z_{mp}^{(3)} + Z_l + Z_{дв}} \cdot 100$$

где:  $Z_{тр}^{(3)}$  – полное сопротивление трансформатора при коротком замыкании, Ом;

$Z_l$  – полное сопротивление линии от ТП до электродвигателя, Ом;

$Z_{дв}$  – полное сопротивление электродвигателя при коротком замыкании, Ом.

Полное сопротивление линии:

$$Z_l = \sqrt{Z_0^2 + X_0^2} = \sqrt{(0,2 \cdot 0,412)^2 + (0,2 \cdot 0,283)^2} = 0,099967 \text{ Ом}$$

$$Z_{дв} = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_n \kappa_i} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 41,3 \cdot 6,5} = 0,82 \text{ Ом}$$

$$Z_{mp}^{(3)} = \frac{U_k \% \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{4,7 \cdot 0,1444}{100 \cdot 63} = 0,108 \text{ Ом}$$

$$\Delta U \% = \frac{Z_{mp}^{(3)} + Z_l}{Z_{mp}^{(3)} + Z_l + Z_{дв}} \cdot 100 = \frac{0,108 + 0,1}{0,108 + 0,1 + 0,82} \cdot 100 = 20,2\%$$

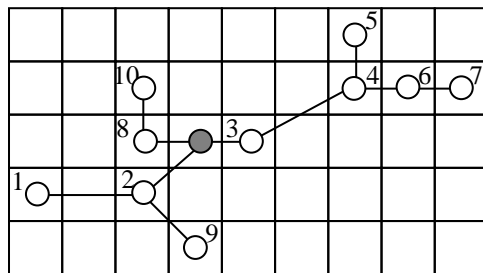
условие выполняется.

### Расчет сети 10 кВ.

|    | а | б | в | г  | д  | е | ж | и | к | л |
|----|---|---|---|----|----|---|---|---|---|---|
| 1  |   |   |   |    |    |   |   | 5 |   |   |
| 2  |   |   |   | 10 |    |   |   | 4 | 6 | 7 |
| 3  |   |   |   | 8  | ЦП | 3 |   |   |   |   |
| 4  |   | 1 |   | 2  |    |   |   |   |   |   |
| 5  |   |   |   |    | 9  |   |   |   |   |   |
| 6  |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |
| 7  |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |
| 8  |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |
| 9  |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |
| 10 |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |
|    |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |
|    |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |

|    | Расчетная нагрузка, кВА |                   |
|----|-------------------------|-------------------|
|    | Дневной максимум        | Вечерний максимум |
| 1  | 60                      | 80                |
| 2  | 80                      | 70                |
| 3  | 80                      | 160               |
| 4  | 140                     | 150               |
| 5  | 150                     | 120               |
| 6  | 150                     | 180               |
| 7  | 160                     | 270               |
| 8  | 170                     | 210               |
| 9  | 170                     | 280               |
| 10 | 131,8                   | 129,4             |

Вечерний максимум определим исходя из активной вечерней нагрузки с помощью  $\cos\varphi$ .



Принимаем для всех потребителей  $\cos\varphi=0,9$  ( $\sin\varphi=0,44$ )

Для расчета протекающих мощностей по участкам воспользуемся добавками, приведенными в приложении, табл. 3.10

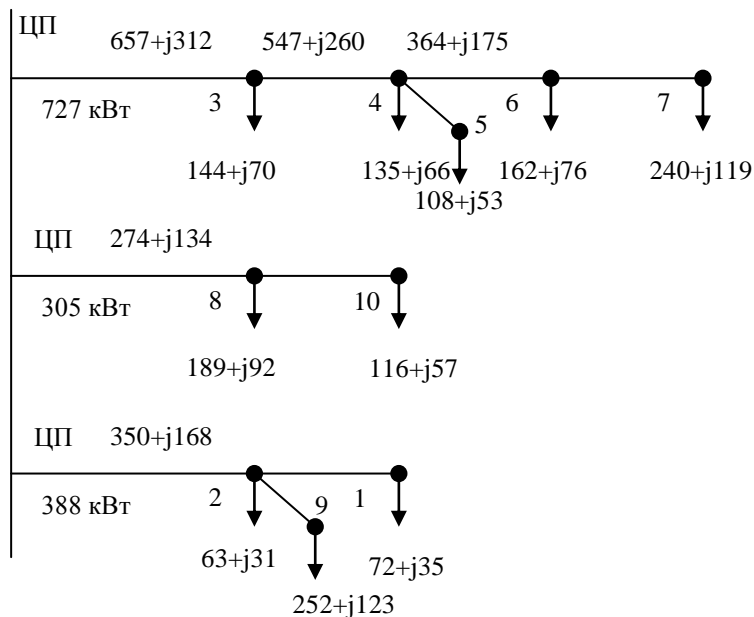


Таблица 3. Характеристики линии 10 кВ по участкам

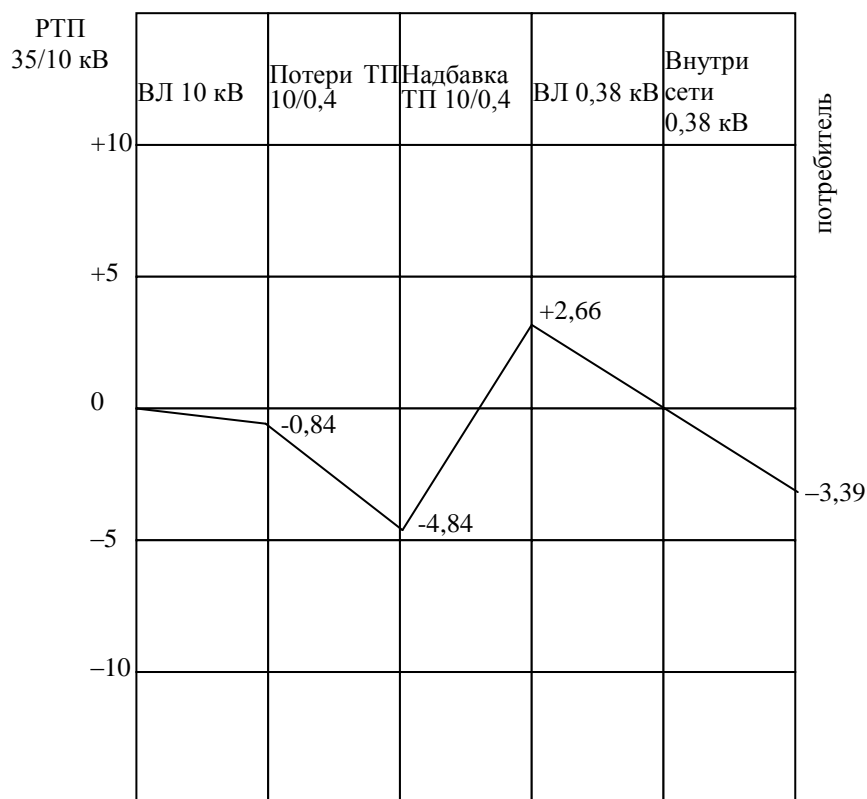
| Участок | Длина участка | Потеря U, % |           | Марка провода | Потеря мощности, ВА |
|---------|---------------|-------------|-----------|---------------|---------------------|
|         |               | по участку  | От начала |               |                     |
| 7-6     | 1             | 0,343       | 3,540     | АН25          | 931                 |
| 6-4     | 1             | 0,519       | 3,197     | АН25          | 2116                |
| 4-3     | 2,24          | 1,743       | 2,678     | АН25          | 10657               |
| 3-цп    | 1             | 0,935       | 0,935     | АН25          | 6861                |
| Итого   | 5,24          | 3,540       |           |               | 20564               |
| 10-8    | 1             | 0,249       | 0,838     | АН16          | 333                 |
| 8-ЦП    | 1             | 0,589       | 0,589     | АН16          | 1854                |
| Итого   | 2             | 0,838       |           |               | 2187                |
| 1-2     | 2             | 0,309       | 1,368     | АН16          | 256                 |
| 2-ЦП    | 1,41          | 1,059       | 1,059     | АН16          | 4236                |
| Итого   |               | 1,368       |           |               | 4491                |

### Определение отклонения напряжения у потребителя

Таблица 4. Отклонение напряжения в сети

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| Линия 10 кВ в ЦП              | 0      |
| Линия 10 кВ                   | -0,84  |
| ТП 10/0,4 кВ                  |        |
| надбавка                      | +7,5   |
| потери                        | -4     |
| Линия 0,38 кВ                 | -6,05  |
| Итого у дальнего потребителя: | -3,39% |

График отклонения напряжения.



## Расчет токов короткого замыкания

При проектировании рассчитывают токи КЗ непосредственно на шинах ТП и в самой удаленной точке отходящих линий.

Для расчета токов КЗ рассматриваем самый протяженный участок линии 0,38 кВ.

Значения сопротивления схемы замещения рассматриваются следующим образом:

– сопротивление трансформатора

$$Z_{mp} = \frac{U_k \% \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n}$$

сопротивление воздушной линии

$$Z_n = \sqrt{Z_0^2 + X_0^2}$$

рекомендуются следующие расчетные формулы для точек КЗ:

– для определения токов двухфазного короткого замыкания в самой удаленной точке

$$I_{кз}^{(2)} = \frac{U_n}{2(Z_T + Z_n)};$$

$$Z_{mp} = \frac{U_k \% \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{4,7 \cdot 0,1444}{100 \cdot 40} = 0,17 \text{ Ом}$$

$$Z_n = \sqrt{(0,78 \cdot 1,14)^2 + (0,78 \cdot 0,319)^2} = 0,853 \text{ Ом}$$

$$I_{кз}^{(2)} = \frac{380}{2(0,17 + 0,853)} = 185,7 \text{ А}$$

– однофазное короткое замыкание

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_n + \frac{Z_m^{(1)}}{3}}$$

где  $Z_n$  – полное сопротивление петли фазный – нулевой провод от шин 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ до соответствующей точки КЗ, Ом;

$Z_m^{(1)}$  – полное сопротивление трансформатора току однофазного замыкания на корпус:

$$Z_n = 2 \cdot Z_n = 1,706 \text{ Ом}$$

$$Z_m^{(1)} = 0,562 \text{ Ом}$$

$$I_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{220}{1,706 + \frac{0,562}{3}} = 116,2 \text{ A}$$

– определение тока трехфазного КЗ на 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot Z_m}$$

где  $Z_m$  – полное сопротивление токам трехфазного КЗ трансформатора;

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 0,188} = 1167 \text{ A}$$

Для расчетов токов КЗ сети 10 кВ необходимо рассчитать сопротивление системы:

$$Z_c = \frac{U^2}{S_c};$$

где  $S_c$  – мощность КЗ на шинах ЦП (40)

$$Z_c = \frac{10^2}{40} = 2,5 \text{ Ом}$$

$$Z_{\lambda} = \sqrt{(5,24 \cdot 1,951)^2 + (5,24 \cdot 0,405)^2} = 10,44 \text{ Ом}$$

– для самой удаленной точки

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot Z_m} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot (10,44 + 2,5)} = 460,4 \text{ A}$$

$$I_{\kappa 3}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\kappa 3}^{(3)} = 0,87 \cdot 460,4 = 400,5 \text{ A}$$

– на шинах 10 кВ

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_c} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 2,5} = 2309 \text{ A}$$

Режим короткого замыкания в соответствии с первым допущением рассматривается как частный случай режима нагрузки, поэтому в расчетах используются законы Ома и Кирхгофа.

### Защита сети от аварийных режимов

Сельские электрические сети напряжением 0,38 кВ работают с глухозаземленной нейтралью. Их выполняют, как правило, с воздушными четырехпроводными линиями электропередач, имеющими многократное заземление нулевого провода и зануление электрифицированного технологического оборудования потребителей.

К основным аппаратам защиты от междуфазным и однофазных КЗ на нулевой провод линий напряжением 0,38 кВ относят предохранители и автоматические выключатели.

Номинальное напряжение предохранителя  $U_{\text{нп}}$  должно соответствовать напряжению сети  $U_{\text{с}}$ , а предельный ток отключения  $I_{\text{пр}}$  должен быть больше максимального тока КЗ  $I_{\text{кmax}}^{(3)}$  в месте установки предохранителя.

Номинальный ток плавкой вставки  $I_{\text{вн}}$  выбирают наибольшим исходя из следующих условий:

$$I_{\text{вн}} \geq I_{\text{раб.макс}}$$

Выбранная вставка должна удовлетворять требованиям чувствительности, т.е.

(1)

$$\frac{I_k^{(1)}}{I_{\text{вн}}} \geq 3$$

где  $I_k^{(1)}$  – ток однофазного КЗ в наиболее удаленной точке линии.

Номинальное напряжение  $U_{\text{нв}}$  и ток  $I_{\text{нв}}$  автоматов должны соответствовать условиям нормального режима, т.е.  $U_{\text{нв}} \geq U_{\text{с}}$ ;  $I_{\text{нв}} \geq I_{\text{раб.макс}}$

Автоматы проверяют по условиям стойкости при КЗ, т.е.  $I_{\text{ПКС}} \geq I_{\text{кmax}}^{(3)}$  или

$$i_{\text{нкс}} \geq i_{\text{ymax}}^{(3)}; \quad i_{\text{дин}} \geq i_{\text{ymax}}^{(3)}; \quad I_T^2 t > Bk \approx 0,1 (I_{\text{кmax}}^{(3)})^2$$

где  $I_{\text{ПКС}}$  и  $i_{\text{нкс}}$  – действующие и амплитудное значение токов предельной коммутационной стойкости;

$i_{\text{дин}}$  и  $i_{\text{ymax}}^{(3)}$  – ток электродинамической стойкости автомата и ударный ток КЗ;

$I_T$  и  $t$  – ток и время термической стойкости;

$Bk$  – интеграл Джоуля.

Номинальный ток теплового расцепителя  $I_{\text{н.расц}} \geq I_{\text{р.макс}}$ ; выбранные предохранители и автоматы должны быть проверены с предыдущей и последующей защитами.

Выбираем оборудование для схемы трансформаторной подстанции:

Разъединитель РВ,  $I_{\text{н}}=400\text{А}$ , амплитуда предельного сквозного тока – 41 кА, предельный ток термической устойчивости в течении 4с – 16 кА.

$$i_{\text{ymax}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 460,4 = 1172 \text{ А}$$

$$I_T^2 t > Bk \approx 0,1(I_{k\max}^{(3)})^2$$

$$16^2 \cdot 4 > 0,1(460,4)^2$$

Разрядник РВО–10

Предохранители ПКТ 101 –10, номинальный ток 2-31,5 А, в нашем случае эти предохранители подходят.

Выключатель – ВБЭС21–10–20/1600, номинальный ток – 1000 А.

Автоматический выключатель на линии АЕ2050М, номинальный ток расцепителя – 100 А, (требуется 85).

Оборудование для трансформаторной подстанции выбрано.

Для сети 10 кВ выбираем вакуумный выключатель ВБКЭ-10; номинальный ток – 630 А, ток отсечки – 20;31,5А, ток термической стойкости – 20;31,5 кА (3сек), ток динамической стойкости – 20;31,5 кА

$$3 \cdot 31,5^2 > 0,1(460,4)^2$$

условие выполняется.

Максимальную токовую защиту (МТЗ) относят к токовым защита, реагирующим на величину тока в защищаемом элементе и приходящем в действие, если ток превысил некоторое заранее установленное значение. Возрастание тока по сравнению с его значением в нормальном режиме работы системы электроснабжения – характерный признак коротких замыканий.

Основные параметры МТЗ: ток срабатывания и время срабатывания (выдержка времени). Кроме того, защита должна обладать требуемой чувствительностью, описываемой коэффициентом чувствительности.

Токовое измерительное реле защиты не должно срабатывать в рабочем режиме, в том числе и в режиме длительных допустимых перегрузок.

Чувствительность защиты оценивают коэффициентом чувствительности, представляющим собой отношение минимального тока КЗ в конце защищаемой зоны, к току срабатывания защиты.

Для основной зоны обязательное значение коэффициента чувствительности  $k_{\text{ч}} \geq 1,5$ , а для зоны резервирования –  $k_{\text{ч}} \geq 1,2$

$$I_{k \min} = 116,2$$

$$I_{c3} \geq \frac{k_n k_{c3n}}{k_g} I_{\text{раб. max}}$$

$$I_{c3} = \frac{1,2 \cdot 1,3 \cdot 25}{0,65} = 60 \text{ A}$$

$$n_{T/T} = \frac{60}{5}$$

$$I_{cp} = \frac{I_{c3}}{n_{T/T}} = 5 \text{ A}$$

$$I_{c3} = \frac{I_{cp}}{k_{c.x.}^{(3)}} n_{T/T} = \frac{5 \cdot 12}{1} = 60 \text{ A}$$

$$k_{\text{ч.осн.}} = \frac{I_{\kappa}}{I_{c3}} = \frac{116,2 \cdot \sqrt{3}}{60} = 1,67 > 1,5$$

$$k_{\text{ч.рез.}} = \frac{93 \cdot \sqrt{3}}{60} = 1,34 > 1,2$$

общую оценку МТЗ проводят с учетом основных требований: селективности, чувствительности, быстродействия и надежности функционирования.

### Расчет заземления ТП

Для трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ при использовании заземляющего устройства одновременно для электроустановок высшего и низшего напряжений сопротивление заземляющего устройства должно быть в пределах:

$$10 \text{ Ом} \geq R_s \geq \frac{125}{I_s}$$

Удельное сопротивление грунта –  $0,6 \cdot 10^4$  Ом см.

В качестве заземлителей используют угловую сталь 50/50/4 длиной 2,5м, заземлители углублены на 0,7м и связаны полосой 40×4.

$$R = \frac{0,16 \cdot \rho}{l} \left( \ln \frac{2,1 \cdot l}{b} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h_{cp} + l}{4h_{cp} - l} \right)$$

$$\rho = k \cdot \rho_T = 1,2 \cdot 10^4$$

$$R = \frac{0,16 \cdot 1,2 \cdot 10^4}{250} \left( \ln \frac{2,1 \cdot 250}{5} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 160250}{4 \cdot 160 - 250} \right) = 39 \text{ Ом}$$



$$R = \frac{0,16 \cdot \rho}{l} \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot h} = 3,4 \text{ Ом}$$

Затем определяют ориентировочное количество заземлителей для оценки значений коэффициентов экранирования.

$$n = \frac{R_3}{R_0} = 10 \text{ шт}$$

Отношение  $\frac{a}{L} = \frac{7000}{10}$ ;  $\frac{a}{L} = \frac{7}{2,5} = 2,8$

Из таблицы находим  $\eta_s = 0,75$

Уточнением количество  $n' = \frac{n}{\eta_s} = 13,3 \approx 13$

$$\eta'_s = 0,69$$

$$\frac{a}{L} = \frac{7000}{13}$$

для помещений  $\eta_s = 0,4$

$$R_{\text{зп}} = \frac{1}{\frac{\eta'_s n'}{R_y} + \frac{R_{\text{э.п.}}}{R_n}} = 4 \text{ Ом}$$

Расчетное сопротивление заземляющего устройства 4 Ом.

### Заключение

Согласно выполненным расчетам, максимальная расчетная нагрузка потребителей составляет 393,6кВА. Электроснабжение села предполагается осуществить от трех трансформаторных подстанций 10/0,4кВ общей мощностью 420кВА. Годовое потребление электроэнергии 904,4 тыс. кВт.ч потери электроэнергии в сети 0,38 кВ составляют 3,5% от полезно отпущенной электроэнергии. Капитальные затраты на сеть 0,38кВ равны 28,4 тыс.р., себестоимость передачи электроэнергии по сети 0,38кВ в тех же ценах составляет 0,36кВт.ч, приведенные затраты – 0,68к./кВт.ч.

**Таблица 1. Коэффициент одновременности в сетях напряжением 0,38 кВ в зависимости от числа потребителей для различных объектов**

| Число потребителей | Жилые дома с нагрузкой на вводе |                      | Жилые дома с электроплитами и водонагревателями | Производственные предприятия |
|--------------------|---------------------------------|----------------------|---|------------------------------|
|                    | До 2 кВт на 1 дом               | свыше 2 кВт на 1 дом |   |                              |
| 2                  | 0,76                            | 0,75                 | 0,73  | 0,85                         |
| 3                  | 0,66                            | 0,64                 | 0,62  | 0,80                         |
| 5                  | 0,55                            | 0,53                 | 0,50  | 0,75                         |
| 10                 | 0,44                            | 0,42                 | 0,38  | 0,65                         |
| 20                 | 0,37                            | 0,34                 | 0,29  | 0,55                         |
| 50                 | 0,30                            | 0,27                 | 0,22  | 0,47                         |
| 100                | 0,26                            | 0,24                 | 0,17  | 0,4                          |
| 200                | 0,24                            | 0,20                 | 0,15  | 0,35                         |
| 500 и более        | 0,22                            | 0,18                 | 0,12  | 0,30                         |

**Таблица 2. Добавка мощностей для суммирования нагрузок в сетях напряжением 0,38 кВ**

| P   | P <sub>доб</sub> | P   | P <sub>доб</sub> | P   | P <sub>доб</sub> | P   | P <sub>доб</sub> |
|-----|------------------|-----|------------------|-----|------------------|-----|------------------|
| 0,2 | +0,2             | 12, | +7,3             | 50  | +34,0            | 170 | +123             |
| 0,4 | +0,3             | 14  | +8,5             | 55  | +37,5            | 180 | +130             |
| 0,6 | +0,4             | 16  | +9,8             | 60  | +41,0            | 190 | +140             |
| 0,8 | +0,5             | 18  | +11,2            | 65  | +44,5            | 200 | +150             |
| 1,0 | +0,6             | 20  | +12,5            | 70  | +48,0            | 210 | +158             |
| 2,0 | +1,2             | 22  | +13,8            | 80  | +55,0            | 220 | +166             |
| 3,0 | +1,8             | 24  | +15,0            | 90  | +62,0            | 230 | +174             |
| 4,0 | +2,4             | 26  | +16,4            | 100 | +69,             | 240 | +182             |
| 5,0 | +3,0             | 28  | +17,7            | 110 | +76              | 250 | +190             |
| 6,0 | +3,6             | 30  | +19,0            | 120 | +84              | 260 | +198             |
| 7,0 | +4,2             | 32  | +20,4            | 130 | +92              | 270 | +206             |
| 8,0 | +4,8             | 35  | +22,8            | 140 | +100             | 280 | +214             |
| 9,0 | +5,4             | 40  | +26,5            | 150 | +108             | 290 | +222             |
| 10  | +6,0             | 45  | +30,2            | 160 | +116             | 300 | +230             |

**Таблица 3. Характеристики проводов воздушных линий**

| Сечение, мм <sup>2</sup> | Марка А |            |            | Марка АС |            |            |
|--------------------------|---------|------------|------------|----------|------------|------------|
|                          | Масса   | Длит. ток. | Акт. сопр. | Масса    | Длит. ток. | Акт. сопр. |
|                          | кг/км   | А          | Ом/км      | кг/км    | А          | Ом/км      |
| 16                       | 44      | 105        | 1.98       | 62       | 105        | 2.06       |
| 25                       | 68      | 135        | 1.28       | 92       | 130        | 1.38       |
| 35                       | 95      | 170        | 0.92       | 128      | 175        | 0.85       |
| 50                       | 137     | 215        | 0.64       | 193      | 210        | 0.65       |
| 70                       | 190     | 265        | 0.46       | 269      | 265        | 0.46       |
| 95                       | 266     | 320        | 0.34       | 431      | 330        | 0.33       |
| 120                      | 323     | 375        | 0.27       | 504      | 380        | 0.27       |
| 150                      | 419     | 440        | 0.21       | 623      | 445        | 0.21       |
| 185                      | 516     | 500        | 0.17       | 781      | 510        | 0.17       |

**Таблица 4. Индуктивные сопротивления воздушных линий, Ом/км**

| Сечение,<br>мм <sup>2</sup> | Марки А, АС |         |       |        |
|-----------------------------|-------------|---------|-------|--------|
|                             | до 1 кВ     | 6-10 кВ | 35 кВ | 110 кВ |
| 16                          | 0.358       | 0.391   | 0.460 |        |
| 25                          | 0.345       | 0.377   | 0.446 |        |
| 35                          | 0.336       | 0.366   | 0.435 | 0.453  |
| 50                          | 0.325       | 0.355   | 0.423 | 0.441  |
| 70                          | 0.309       | 0.341   | 0.410 | 0.428  |
| 95                          | 0.300       | 0.332   | 0.401 | 0.419  |
| 120                         | 0.292       | 0.324   | 0.393 | 0.411  |
| 150                         | -           | 0.319   | 0.388 | 0.406  |
| 185                         | -           | 0.313   | 0.382 | 0.400  |

**Таблица 5. Технические данные трансформаторов ТМ и ТМН (трансформаторы с  $U_H=0,4$  кВ – ГОСТ 12022 – 76 и с  $U_H= 10,5/11$  кВ – ГОСТ 11920 – 73)**

| Номинальная мощность,<br>кВА | Номинальное напряжение обмоток, кВ |         | Напряжение короткого замыкания, % | Ток холостого хода, % | Потери мощности     |           |                    | Сопротивление трансформатора, приведенное к напряжению 0,4 кВ $Z_T$ , Ом |
|------------------------------|------------------------------------|---------|-----------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------|--------------------|--|
|                              | ВН                                 | НН      |                                   |                       | холостого хода, кВт |           | краткого замыкания |  |
|                              |                                    |         |                                   |                       | уровень А           | уровень Е |                    |  |
| 25                           | 6; 10                              | 0,4     | 4,5/4,7                           | 3,2                   | 0,130               | 0,135     | 0,6/0,69           | 0,29/0,3   |
| 40                           | 6; 10                              | 0,4     | 4,5/4,7                           | 3,0                   | 0,175               | 0,19      | 0,88/1,0           | 0,18/0,188   |
| 63                           | 6; 10                              | 0,4     | 4,5/4,7                           | 2,8                   | 0,240               | 0,265     | 1,28/1,47          | 0,115/0,119  |
|                              | 20                                 | 0,4     | 5,3                               | 2,8                   | 0,265               | -         | 1,28               | 0,126  |
| 100                          | 6; 10                              | 0,4     | 4,5/4,7                           | 2,6                   | 0,33                | 0,365     | 1,97/2,27          | 0,072/0,075  |
|                              | 20; 35                             | 0,4     | 6,5/6,8                           | 2,6                   | 0,42                | 0,465     | 1,97/2,27          | 0,104/0,106  |
| 160                          | 6; 10                              | 0,4     | 4,5/4,7                           | 2,4                   | 0,51                | 0,565     | 2,65/3,1           | 0,045/0,047  |
|                              | 20; 35                             | 0,4     | 6,5/6,8                           | 2,4                   | 0,62                | 0,7       | 2,65/3,1           | 0,065/0,067  |
| 250                          | 6; 10                              | 0,4     | 4,5/4,7                           | 2,3                   | 0,74                | 0,82      | 3,7/4,2            | 0,029/0,030  |
|                              | 20; 35                             | 0,4     | 6,5/6,8                           | 2,3                   | 0,9                 | 1,0       | 3,7/4,2            | 0,042/0,043  |
| 400                          | 6; 10                              | 0,4     | 4,5/-                             | 2,1                   | 0,95                | 1,05      | 5,5/-              | 0,18/-   |
|                              | 20; 35                             | 0,4     | 6,5/-                             | 2,1                   | 1,2                 | 1,35      | 5,5/-              | 0,026/-  |
| 630                          | 6; 10                              | 0,4     | 5,5/-                             | 2,0                   | 1,31                | 1,56      | 7,6/-              | 0,014/-  |
|                              | 20; 35                             | 0,4     | 6,5/-                             | 2,0                   | 1,6                 | 1,9       | 7,6/-              | 0,0165/-   |
| 630                          | 20; 35                             | 10,5/11 | 6,5/-                             | 2,0                   | 1,6                 | 1,9       | 7,6                |  |
| 1000                         | 20; 35                             | 10,5/11 | 6,5                               | 1,5                   | 2,35                | 2,75      | 11,6               |  |
| 1600                         | 20; 35                             | 10,5/11 | 6,5                               | 1,4                   | 3,1                 | 3,65      | 16,5               |  |
| 2500                         | 20; 35                             | 10,5/11 | 6,5                               | 1,1                   | 4,35                | 5,1       | 23,5               |  |
| 4000                         | 20; 35                             | 10,5/11 | 7,5                               | 1,0                   | 5,7                 | 6,7       | 33,5               |  |
| 6300                         | 20; 35                             | 10,5/11 | 7,5                               | 0,9                   | 8,0                 | 9,4       | 46,5               |  |

**Таблица 6. Номинальные токи плавких вставок предохранителей, рекомендуемых для защиты трансформаторов 6...20/0,4 кВ**

| Номинальная мощность трансформатора, кВА | Номинальный ток (А) трансформатора на стороне |       |       | Номинальный ток плавкой вставкой предохранителя, А |        |       |
|--|---|-------|-------|--|--------|-------|
|  | 6 кВ  | 10 кВ | 20 кВ | 6 кВ   | 10 кВ  | 20 кВ |
| 25                                       | 2,40  | 1,44  | -     | 8  | 5      | -     |
| 40                                       | 3,83  | 2,31  | -     | 10   | 8      | -     |
| 63                                       | 6,06  | 3,64  | 1,82  | 16   | 10     | 5     |
| 100                                      | 9,62  | 5,77  | 2,90  | 20   | 16     | 8     |
| 160                                      | 15,4  | 9,25  | 4,63  | 32   | 20     | 16    |
| 250                                      | 24,0  | 14,5  | 7,25  | 50   | 40(32) | 20    |
| 400                                      | 38,6  | 23,1  | 11,55 | 80   | 50     | 32    |
| 630                                      | 60,5  | 36,4  | 18,2  | 160  | 80     | 40    |

**Таблица 7. Разъединители наружной установки**

| Тип             | Амплитуда сквозного тока, кА | Ток термической стойкости, кА | Тип провода          |
|-----------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| РЛНДА-10/200    | 20                           | 8                             | ПРН-10М              |
| РЛНДА-1-10/200  | 20                           | 8                             | ПРНЗ-10              |
| РЛНДА-10/400    | 25                           | 10                            | ПРН-10М              |
| РЛНДА-1-10/400  | 25                           | 10                            | ПРНЗ-10              |
| РЛНД-10/400     | 25                           | 10                            | ПРН-10М              |
| РЛНД-1-10/400   | 25                           | 10                            | ПРНЗ-10              |
| РЛНДА-10/630    | 35,5                         | 12,5                          | ПРН-10               |
| РЛНДА-1-10/630  | 35,5                         | 12,5                          | ПРНЗ-10              |
| РЛНД-10/630     | 35,5                         | 12,5                          | ПРН-10               |
| РЛНД-1-10/630   | 35,5                         | 12,5                          | ПРНЗ-10              |
| РОК-10К/4000    | 250                          | 90                            | ПЧН                  |
| РОК-10К/5000    | 180                          | 71                            | ПЧН                  |
| ЗРН-20/200      | 23                           | 5                             | ПРНУ                 |
| ЗРН-20/400      | 23                           | 5                             | ПРНУ                 |
| РНД(З)-35/1000  | 64                           | 25                            | ПР-90                |
| РНД(З)-35Б/1000 | 64                           | 25                            | ПВН-20<br>(ПРН-110В) |
| РНД(З)-35/2000  | 84                           | 31,5                          | ПР-У1                |
| РНД(З)-35Б/2000 | 84                           | 31,5                          | ПВН-20<br>(ПРН-110В) |
| РНД(З)-35/3200  | 128                          | 50                            | ПР-90                |
| РНД(З)-35У/1000 | 64                           | 25                            | ПР-90                |
| РНД(З)-35У/2000 | 84                           | 31,5                          | ПР-90                |

**ПРИМЕЧАНИЯ.** Обозначения типа разъединителя - буквенная часть: Р- разъединитель, В- внутренней установки или вертикальный (типа РНВ), Н- наружной установки, Л- линейный, О- однополюсный, Д- двухколонковый, З- заземляющим ножом (в скобках - возможность варианта без заземляющего ножа), К- коробчатого профиля, М- модернизированный, П- наличие рычажной передачи для уменьшения момента на валу привода или подвесное исполнение, А- алюминиевый нож, У- усиленный вариант исполнения изоляции, Б- исполнение с увеличенным расстоянием между полюсами.

**Таблица 8. Технические характеристики автоматических выключателей**

| Тип автомата. | Номинальный ток автомата, А. | Число полюсов. | Вид расцепителя. | Номинальный ток расцепителя, А.                                | Обозначение типа. | Отсечка.       |
|---------------|------------------------------|----------------|------------------|--|-------------------|----------------|
| АП-50         | 50                           | 3              | Комбинированный  | 1,6 2,5 4 6,4 10<br>16 25 40 50                                | АП-50-3МТ         | 11 $I_{НОМ}$ . |
| А3160         | 50                           | 3              | Тепловой         | 15 20 25 30 40<br>50   | А3163             | -              |
| А3110         | 100                          | 3              | Комбинированный  | 15 20 30 40 50<br>60 80 100                                    | А3114/1           | 10 $I_{НОМ}$   |
| А3120         | 100                          | 3              | Комбинированный  | 15 20 25 30 40<br>50 60 80 100                                 | А3124             | 430 600 800    |
| А3130         | 200                          | 3              | Комбинированный  | 120 150 200  | А3134             | 7 $I_{НОМ}$    |
| А3140         | 600                          | 3              | Комбинированный  | 250 300 400<br>500 600   | А3144             | 7 $I_{НОМ}$    |
| АЕ2030        | 25                           | 3              | Комбинированный  | 0,6 0,8 1 1,25<br>1,6 2 2,5 3,2 4 5<br>6 8 10 12,5 16<br>20 25 | АЕ2036            | 12 $I_{НОМ}$   |
| АЕ2040        | 63                           | 3              | Комбинированный  | 10 12,5 16 20<br>25 32 40 50 63                                | АЕ2046            | 12 $I_{НОМ}$   |
| АЕ2050        | 100                          | 3              | Комбинированный  | 16 20 25 32 40<br>50 63 80 100                                 | АЕ2056            | 12 $I_{НОМ}$   |
| А3710         | 160                          | 3              | Комбинированный  | 16 20 25 32 40<br>50 63 80 100<br>125 160                      | А3716ф            | 1600           |
| А3720         | 250                          | 3              | Комбинированный  | 160 200 250  | А3726ф            | 2500           |
| А3730         | 400                          | 3              | Комбинированный  | 250 320 400  | А3736ф            | 4000           |
| А3740         | 630                          | 3              | Комбинированный  | 400 500 630  | А3746ф            | 6300           |

## Список литературы

1. Будзко И.А., Лещинская Т.Е., Сукманов В.И. Электроснабжение сельского хозяйства. - М.: Колос, 2000.
2. Руководящие материалы по проектированию. - М.: РОСЭП, 1996-2003.
3. Будзко И.А., Левин М.С. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов. 2-е изд. - М.: Агропромиздат, 1985.
4. Справочник инженера-электрика сельскохозяйственного производства. -М.: Информагротех, 1999.
5. Практикум по электроснабжению сельского хозяйства. /Под ред. И.А. Будзко 2-е изд. - М.: Агропромиздат, 1982.
6. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению сельского хозяйства /Л.И.Васильев, Ф.М.Ихтейман, С.Ф. Симоновский и др. - 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Агропромиздат, 1989.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение   | 3  |
| Методические указания по выполнению проекта  | 4  |
| 1. Расчет электрической нагрузки   | 4  |
| 2. Определение количества трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ и их места<br>расположения | 5  |
| 3. Выбор установленной мощности трансформаторов  | 7  |
| 4. Расчет сети 0,38 кВ   | 8  |
| 5. Проверка сети 0,38 кВ по условиям пуска и устойчивой работы<br>электродвигателей        | 9  |
| 6. Расчёт сети 10 кВ   | 10 |
| 7. Определение отклонения напряжения у потребителя   | 11 |
| 8. Расчет токов короткого замыкания  | 12 |
| 9. Защита сети от аварийных режимов  | 13 |
| 10. Техничко-экономические показатели  | 14 |
| 11. Мероприятий по охране труда  | 17 |
| Приложение 1   | 17 |
| Приложение 2   | 25 |
| Приложение 3   | 42 |
| Список литература  | 46 |

Учебное издание

Маловастая Екатерина Федоровна

*ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА*

*методические указания*

*для курсового и дипломного проектирования студентов специальности  
311400 – «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»*

Издание второе

Редактор Лебедева Е.М..

---

Подписано к печати 18.03.2014 г. Формат 60x84 /16  
Бумага офсетная. Усл. п. л. 2,79. Тираж 60 экз. Изд. 2639.

---

Издательство Брянской государственной сельскохозяйственной академии  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянская ГСХА