

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Методические указания к курсовому проектированию

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

В соответствии с учебным графиком предусмотрено выполнение курсового проекта. В курсовом проекте «Проектирование электрической сети 220/110 кВ» решается задача проектирования вновь сооружаемой электрической сети 220/110 кВ, питаемой от одного источника электрической энергии. В соответствии с заданием решается комплекс вопросов технического, технологического и экономического характера.

Выполнение этого проекта необходимо для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков проектирования и расчёта режимов электрических сетей. Выполняемые расчёты являются индивидуальными для каждого студента.

Вариант исходных данных (табл. 2.1–2.5) для выполнения курсового проекта определяется по первым трём буквам фамилии и инициалам студента. Например, студент Иванов Сергей Петрович будет иметь шифр задания ИВАСП. Это означает, что из табл. 2.1 исходных данных к соответствующему индивидуальному заданию следует взять вариант – И, из табл. 2.2 – В, из табл. 2.3 – А, из табл. 2.4 – С, из табл. 2.5 – П.

Если фамилия состоит из одной или двух букв, то в качестве второй и третьей буквы следует взять букву А. Если нет второго инициала, то в качестве пятой буквы следует взять букву А.

Курсовые проекты, выполненные не по своему варианту, на проверку не принимаются.

Исходные данные должны быть выбраны студентом в процессе выполнения лабораторной работы № 1 (см. методические указания [5]) из табл. 2.1–2.5, внесены в бланк (прил. 3), который включается в пояснительную записку (ПЗ) после титульного листа.

В конце ПЗ необходимо указать, какие учебники, учебные пособия и электронные ресурсы были использованы при его выполнении.

Студенты, обучающиеся по классической заочной форме (КЗФ): отправляют курсовой проект в виде файла пояснительной записки к курсовому проекту и всех файлов расчёта режимов на проверку в электронном курсе, и получают рецензию. Студент, не получивший положительной рецензии на пояснительную записку, не допускается к защите курсового проекта. Для защиты курсового проекта необходимо выполнить задание, которое предполагает ответы на вопросы по теме

курсового проекта. При наличии ошибок в курсовом проекте и в ответах на вопросы по его защите, указанных в рецензии, студент должен исправить и вновь выслать работу на повторное рецензирование. Защита курсового проекта, оформленного в виде твёрдой копии, проходит во время сессии; к этому времени нужно исправить работу с учётом всех замечаний, указанных в рецензии.

Студенты, обучающиеся с использованием дистанционных образовательных технологий (ДОТ): отправляют курсовой проект на проверку в виде файла пояснительной записки к курсовому проекту и всех файлов расчёта режимов и получают рецензию на курсовой проект. Студент, не получивший положительной рецензии на пояснительную записку, не допускается к защите курсового проекта. Для защиты курсового проекта необходимо выполнить задание, которое предполагает ответы на вопросы по теме курсового проекта. При наличии ошибок в курсовом проекте и в ответах на вопросы по его защите, указанных в рецензии, студент должен исправить и вновь выслать работу на повторное рецензирование.

Контрольные вопросы для подготовки к защите курсового проекта даны в прил. 1, пример оформления титульного листа – в прил. 2, бланк задания на курсовое проектирование – в прил. 3.

2. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Исходные данные для выполнения курсового проекта приведены в пяти таблицах (табл. 2.1–2.5). Заданы координаты точек, соответствующие положению источника питания и подстанций в пространстве, масштаб, активные мощности в режиме максимальных нагрузок, коэффициенты мощности, активные мощности в режиме минимальных нагрузок (в процентах от активных мощностей в режиме максимальных нагрузок), время использования максимальной нагрузки, напряжение на источнике. Коэффициент K_k показывает процентное содержание электроприёмников I и II категорий в составе комплексной нагрузки подстанции. Номинальное напряжение электроприёмников $U = 10$ кВ.

Таблица 2.1

Исходные данные для подстанции 1

Варианты	АБ	ВГД	ЕЁЖЗ	ИЙК	ЛМ	НОП	РСТ	УФХ	ЦЧШЩ	ЫЬЭЮЯ
X , см	6	6,5	7,0	7,5	8,0	7,5	6,5	7,0	6,0	8,0
Y , см	1,5	1,0	0,5	0,0	1,5	1,0	0,0	1,5	0,0	0,0
P_{\max} , МВт	40	50	60	70	80	90	100	110	110	110
T_{\max} , час	3800	4000	3800	4000	3800	4000	4200	4400	4600	4800
$\cos \varphi$	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,80
K_k , %	100	100	80	80	100	100	80	80	100	100

Таблица 2.2

Исходные данные для подстанции 2

Варианты	АБ	ВГД	ЕЁЖЗ	ИЙК	ЛМ	НОП	РСТ	УФХ	ЦЧШЩ	ЫЬЭЮЯ
X , см	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	2,5	3,0	4,0	4,5	3,5
Y , см	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	3,0	4,0	4,5	4,5
P_{\max} , МВт	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
T_{\max} , час	2400	2600	2800	3000	3200	3200	3000	2800	2600	2400
$\cos \varphi$	0,75	0,75	0,79	0,77	0,75	0,77	0,79	0,77	0,75	0,77
K_k , %	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30

Таблица 2.3

Исходные данные для подстанции 3

Варианты	АБ	ВГД	БЕЖЗ	ИЙК	ЛМ	НОП	РСТ	УФХ	ЦЧШЩ	БЬЭЮЯ
X , см	5,0	6,5	5,0	6,0	5,0	6,5	5,0	6,0	6,0	5,5
Y , см	7,0	7,0	5,0	5,0	6,5	6,5	5,5	5,5	5,0	6,5
P_{\max} , МВт	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20
T_{\max} , час	6200	6300	8000	7900	7800	7700	7600	7400	7200	7000
$\cos \varphi$	0,84	0,82	0,80	0,82	0,84	0,86	0,84	0,82	0,80	0,82
K_k , %	70	75	60	65	70	75	60	65	70	75

Таблица 2.4

Исходные данные для подстанции 4

Варианты	АБ	ВГД	БЕЖЗ	ИЙК	ЛМ	НОП	РСТ	УФХ	ЦЧШЩ	БЬЭЮЯ
X , см	8,0	10,0	10,0	8,0	9,0	9,0	9,0	8,0	10,0	9,5
Y , см	4,5	4,5	2,5	2,5	3,5	4,5	2,5	3,5	3,5	4,0
P_{\max} , МВт	10,0	10,0	8,0	8,0	11,0	11,0	9,0	9,0	8,0	8,0
T_{\max} , час	5300	5000	4700	5300	5000	4700	5300	5000	4700	5300
$\cos \varphi$	0,80	0,78	0,76	0,80	0,78	0,78	0,78	0,76	0,80	0,82
K_k , %	20	30	40	0	0	0	0	20	30	40

Таблица 2.5

Параметры системы и режима

Варианты	АБ	ВГД	БЕЖЗ	ИЙК	ЛМ	НОП	РСТ	УФХ	ЦЧШЩ	БЬЭЮЯ
X , см	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	7,0	11,0	12,0	11,0	3,0
Y , см	0,0	3,0	7,0	9,0	10,0	10,0	8,0	4,0	0,0	0,0
$U_{PЭС\max}$, кВ	246	242	238	242	246	240	244	249	242	238
$U_{PЭС\min}$, кВ	227	235	229	237	231	233	225	225	229	229
$\cos \varphi_0$	0,90	0,91	0,91	0,90	0,92	0,93	0,90	0,92	0,9	0,92
P_{\min} , % от P_{\max}	50	51	52	50	51	52	45	50	55	50
Масштаб, км/см	10	10	15	15	15	15	20	20	10	10

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 220/110 КВ»

Пояснительная записка по курсовому проекту должна содержать расчётный материал, обоснование принятых решений, пояснения к каждому рассмотренному разделу.

Оформление пояснительной записки производится в соответствии с требованиями стандартов. Нумерация формул и таблиц сквозная. Объём пояснительной записки не регламентируется, а зависит от её содержания и определяется включаемыми в неё расчётами и пояснениями.

Пояснительная записка должна сопровождаться разъяснениями всех этапов расчёта и принятия решений по проекту.

По каждому разделу проекта необходимо:

- сформулировать задачу, решаемую в разделе;
- привести исходные данные;
- привести необходимые чертежи и схемы;
- описать принятую автором проекта методику и последовательность решения задачи с приведением расчётных формул в общем виде;
- выполнить подстановку чисел в формулы, дать результаты вычислений с указанием размерностей полученных величин. Повторные аналогичные расчёты в целях экономии времени и места целесообразно сводить в таблицы;
- привести краткий анализ полученных результатов расчёта с соответствующими выводами.

Титульный лист пояснительной записки оформляется в соответствии с прил. 2.

Исходные данные по проекту сводятся в бланк задания (прил. 3) в процессе выполнения лабораторной работы № 1.

Рекомендуется следующая структура пояснительной записки: титульный лист (на бланке); задание (на бланке); содержание; введение; основная часть (по разделам); заключение; список литературы; приложения.

Примерный перечень разделов пояснительной записки приведён в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Примерный перечень разделов пояснительной записки

Введение
1. Разработка вариантов схем электрической сети 220/110 кВ
1.1. Определение взаимного расположения источника питания и потребителей на координатной плоскости в соответствии с исходными данными и разработка эскизов возможных вариантов конфигурации электрической сети. Анализ разработанных эскизов вариантов и выбор двух наиболее перспективных. <i>Остальные пункты примерного перечня выполняются для тех двух вариантов, которые сочтены автором проекта наиболее перспективными</i>
1.2. Выполнение предварительных расчётов: определение мощностей нагрузок подстанций, длин линий электропередачи в соответствии с указанным масштабом, числа цепей линий электропередачи в соответствии с требованиями надёжности и бесперебойности электроснабжения потребителей
1.3. Выбор номинальных напряжений участков электрической сети
1.4. Выбор сечений проводов
1.5. Проверка выбранных сечений по техническим ограничениям
1.6. Определение сопротивлений и проводимостей линий электропередачи
1.7. Выбор трансформаторов (автотрансформаторов) на подстанциях
1.8. Определение сопротивлений и проводимостей трансформаторов (автотрансформаторов)
1.9. Подготовка расчётной схемы и выполнение электрического расчёта режима максимальных нагрузок с помощью программного комплекса с целью определения суммарных потерь активной мощности, необходимого количества, типа (типов) и мощности компенсирующих устройств
2. Составление полных схем электрических соединений, выполнение предварительного технико-экономического расчёта для каждого варианта, выбор наиболее экономичного варианта на основе анализа технико-экономических показателей (окончательно должен остаться один вариант электрической сети)

3. Точный электрический расчёт режимов выбранного варианта (расчёт выполняется на основании схемы, подготовленной в п. 1.9)
3.1. Электрический расчёт режима максимальных нагрузок. Выводы по результатам расчёта (п. 1.9)
3.2. Электрический расчёт послеаварийного режима. Выводы по результатам расчёта (вид послеаварийного режима выбирается студентом самостоятельно и может быть согласован с преподавателем)
3.3. Электрический расчёт режима минимальных нагрузок с учётом мероприятий по снижению потерь электроэнергии. Выводы по результатам расчёта
Заключение по проекту
Список литературы

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

4.1. Разработка эскизов возможных вариантов конфигурации электрической сети

Прежде всего, следует определить положение источника питания и потребителей на координатной плоскости. Затем приступить к разработке эскизов возможных вариантов конфигурации электрической сети.

При выборе вариантов надо обращать внимание на экономичность решений, наибольшую целесообразность схем. Следует выбирать наиболее простые схемы, переходя к более сложным схемам только в том случае, если это вызвано техническими и экономическими требованиями. Все варианты должны в равной степени удовлетворять техническим требованиям. Однако допустимо сравнение технически удовлетворительных вариантов, отличающихся по таким техническим показателям, как надёжность электроснабжения и качество электроэнергии, если это приемлемо для потребителей.

Среди намеченных вариантов путём предварительного анализа и оценки отбираются лучшие, конкурентоспособные и производится их сравнение. Укажем некоторые рекомендации при выборе конфигурации. Намечаемые варианты не следует выбирать случайно, каждый вариант должен иметь ведущую идею построения сети (радиальная сеть, кольцевая и смешанная).

При разработке вариантов электроснабжения можно рекомендовать выполнение следующих этапов работы:

1. Выделить подстанции, потребители которых требуют 100 % резерва по сети, и предварительно рассмотреть, какими путями может быть выполнено это требование.

2. Выделить подстанции, расположенные вблизи друг от друга и от центра питания, а также более удалённые подстанции. Такое разделение даст возможность наметить подстанции, которые целесообразно объединить общей сетью. Электроснабжение удалённых подстанций можно осуществить отдельными линиями.

3. Определить хотя бы приближённо потоки мощности по отдельным линиям.

Не следует допускать малозагруженных линий. Наличие их – признак того, что вариант выбран неудовлетворительно.

При одинаковом напряжении сети предварительный отбор вариантов можно производить на основе сравнения длин линий и трасс,

протяжённостей двухцепных линий, числа выключателей на подстанциях, величин наибольших падений напряжений, надёжности электроснабжения потребителей и гибкости сети – возможности производства переключений без перерывов в электроснабжении, а также дальнейшего расширения сети. Длина линий и трасс определяется с учётом их непрямолинейности. Действительные длины принимаются больше длин, измеренных по прямой линии [4].

В результате анализа разработанных эскизов вариантов следует выбрать два наиболее перспективных варианта. Все остальные расчёты выполняются для тех двух вариантов, которые сочтены автором проекта как наиболее перспективные.

4.2. Выполнение предварительных расчётов

4.2.1. Определение мощностей нагрузок подстанций

Определяются мощности нагрузок подстанций, длины линий электропередачи в соответствии с указанным масштабом, числом цепей линий электропередачи в соответствии с требованиями надёжности и бесперебойности электроснабжения потребителей.

По известным значениям P_{\max} и $\cos \varphi$ определяем модуль полной мощности:

$$S_{\max} = \frac{P_{\max}}{\cos \varphi}$$

и реактивную мощность:

$$Q_{\max} = \sqrt{S_{\max}^2 - P_{\max}^2}.$$

Комплексное значение полной мощности нагрузки в максимальном режиме определяется выражением

$$\underline{S}_{\max} = P_{\max} + jQ_{\max}.$$

4.2.2. Определение длин линий электропередачи

Длину любой ЛЭП $li-j$ можно определить следующим образом:

- путём умножения длины измеренного линейкой участка $i-j$ на масштаб m , приведённый в табл. 2.5;
- применением формулы для нахождения длины вектора по координатам точек начала и конца на плоскости, затем найденную длину вектора умножить на масштаб:

$$l_{i-j} = \left(\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \right) \cdot m.$$

Необходимо учесть провисание проводов (5–10% от полученной длины).

4.2.3. Определение потоков мощностей без учёта потерь мощности

Данный пункт является основополагающим для последующих расчётов по выбору номинального напряжения и сечений проводов ЛЭП.

Для радиальной схемы потоки мощностей можно найти по первому закону Кирхгофа.

Если кольцевую сеть представить рассечённой по узловой ПС 2 и развёрнутой, то её можно классифицировать как электрическую сеть с двусторонним питанием, у которой напряжения по концам равны по величине и фазе (рис. 1).

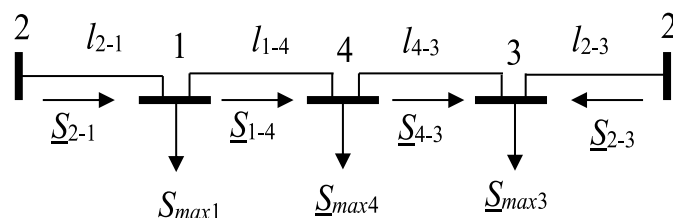


Рис. 1. Схема с двусторонним питанием

Направления потоков мощности на участках 1-4 и 4-3 приняты условно, действительные их направления определятся только в результате расчёта.

Величину потоков мощности на головных участках 2-1 и 2-3 можно определить по правилу моментов, делая допущение о том, что представленная на рис. 1 электрическая сеть является однородной.

Однородная электрическая сеть – это сеть, характерным признаком которой является равенство отношений погонного реактивного сопротивления проводов ЛЭП к погонному активному сопротивлению на всех её участках, то есть соблюдается условие однородности сети:

$$\frac{x_0}{r_0} = const.$$

Рассмотрим получение условия однородности подробнее. Для удобства приведём электрическую схему рис. 1 к виду рис. 2 с известными сопротивлениями, обозначив шины ПС 2 буквами А и В.

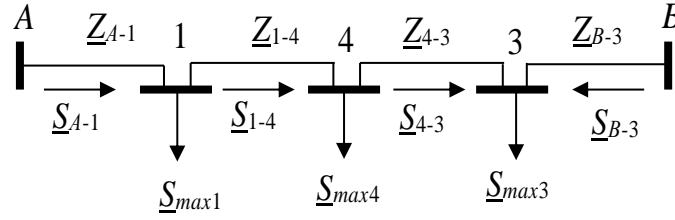


Рис. 2. Схема с двусторонним питанием при известных сопротивлениях

При известных сопротивлениях потоки мощности на головных участках этой сети определились бы по формулам:

$$\underline{S}_{A-1} = \frac{\underline{S}_{max1} \cdot (\underline{Z}_{1-4}^* + \underline{Z}_{4-3}^* + \underline{Z}_{B-3}^*) + \underline{S}_{max4} \cdot (\underline{Z}_{4-3}^* + \underline{Z}_{B-3}^*) + \underline{S}_{max3} \cdot \underline{Z}_{B-3}^*}{\underline{Z}_{1-4}^* + \underline{Z}_{4-3}^* + \underline{Z}_{B-3}^* + \underline{Z}_{A-1}^*} =$$

$$= \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \cdot \underline{Z}_{mB}^*}{\underline{Z}_{AB}^*};$$

$$\underline{S}_{B-3} = \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \cdot \underline{Z}_{mA}^*}{\underline{Z}_{AB}^*}.$$

Полное сопротивление любого участка ВЛ можно определить по известной формуле

$$\underline{Z}_{i-j} = (r_{0i-j} \cdot l_{0i-j} + jx_{0i-j} \cdot l_{0i-j}) = l_{0i-j} (r_{0i-j} + jx_{0i-j}).$$

При соблюдении условия однородности сети, используя формулу (1.3), уравнения (1.1) и (1.2) можно привести к виду:

$$\underline{S}_{A-1} = \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \cdot (r_0 + jx_0) \cdot l_{mB}}{(r_0 + jx_0) \cdot l_{AB}} = \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \cdot l_{mB}}{l_{AB}};$$

$$\underline{S}_{B-3} = \frac{\sum_{m=1}^n \underline{S}_m \cdot l_{mA}}{l_{AB}}.$$

Из формул (1.4) следует важный практический вывод: если на первом этапе проектирования принять, что рассматриваемая электрическая сеть является однородной, то в формулу для определения

потоков мощностей на головных участках замкнутой электрической сети вместо неизвестных сопротивлений можно подставить известные длины линий электропередачи.

Проверка расчётов заключается в следующем: сумма потоков мощностей на головных участках должна быть равна сумме мощностей нагрузок ПС.

$$\underline{S}_{A-1} + \underline{S}_{B-3} = \underline{S}_{max1} + \underline{S}_{max3} + \underline{S}_{max4}.$$

После определения мощностей, протекающих по головным участкам электрической сети, можно найти мощности на остальных её участках, используя первый закон Кирхгофа, последовательно применённый для каждой точки включения нагрузки

4.3. Выбор номинальных напряжений сети

Номинальные напряжения сети выбираются в зависимости от передаваемой мощности и дальности передачи. Для предварительного выбора номинального напряжения можно использовать специальные кривые, являющиеся границами раздела областей применения напряжений [6], а также эмпирические формулы [6], например, эмпирическую формулу Г.А. Илларионова:

$$U_{эк} = \frac{1000}{\sqrt{500/l + 2500/P}},$$

где l – длина линии, км; P – передаваемая активная мощность в расчёте на одну цепь, МВт.

4.4. Выбор сечений проводов

Число цепей ЛЭП $n_{ц}$ выбирается в зависимости от величины нагрузки и категории потребителей по надёжности электроснабжения. Степень надёжности электроснабжения потребителей характеризуется коэффициентом $K_k, \%$ (исходные данные).

При выборе сечений проводов используется *метод экономической плотности тока* [6]. Значения экономической плотности тока $j_{эк}$ приведены в табл. 4.1 [4].

Средневзвешенное время действия наибольшей нагрузки:

$$T_{max.ср.взв} = \frac{\sum P_{maxi} T_{maxi}}{\sum P_{maxi}},$$

где $P_{\max i}$, $T_{\max i}$ – соответственно активная мощность и время использования наибольшей нагрузки каждого электроприёмника, мощность которого передаётся по данной линии.

Таблица 4.1

Значения экономической плотности тока

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм ² , при числе часов использования максимума нагрузки в год		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные алюминиевые провода	1,3	1,1	1,0

Выбор сечений проводов воздушных линий (ВЛ) по *экономической плотности тока* выполняется следующим образом.

Ток на пятый год эксплуатации линии в нормальном режиме

$$I_{(5)} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n_{\text{ц}}},$$

где S_{\max} – модуль полной мощности, протекающей по участку сети; $n_{\text{ц}}$ – число цепей в ВЛЭП.

Определяется расчётный ток в нормальном режиме работы:

$$I_p = I_{(5)} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_T,$$

где α_i – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки по годам эксплуатации линии, колеблется в диапазоне 0,6 до 1,65; α_T – коэффициент, учитывающий число часов использования максимальной нагрузки линии T_{\max} , принимается в зависимости от номинального напряжения и коэффициента участия в максимуме энергосистемы [6].

Экономическое сечение проводов фазы проектируемой линии

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}.$$

Полученное сечение $F_{\text{эк}}$ округляется до ближайшего стандартного сечения [6].

4.5. Проверка сечений проводов по техническим ограничениям

Сечения проводов, выбранных по экономическому критерию, проверяются на соответствие ряду технических требований [1].

Окончательный выбор сечения можно сделать только после проверки выполнения этих требований.

Проверка по механической прочности. Сечение провода, выбранное по экономическому критерию, должно соответствовать условию

$$F \geq F_{\min \text{ мех.}}$$

Минимально допустимые сечения проводов по условиям механической прочности $F_{\min \text{ мех}}$ приведены в табл. 4.2 [4].

Таблица 4.2

Минимально допустимые сечения проводов
по условиям механической прочности

Характеристика ВЛ	Сечение сталеалюминиевых проводов, мм ²
ВЛ без пересечений в районах по гололёду:	
до II	35/6,2
в III–IV	50/8
в V и более	70/11
ВЛ, сооружаемые на двухцепных или многоцепных опорах:	
до 20 кВ	70/11
35 кВ и выше	120/19

Проверка по условиям короны. Проверка сечений проводов по условиям короны выполняется для ВЛ 110 кВ и выше. Выбранное сечение должно соответствовать условию:

$$F \geq F_{\min \text{ кор.}}$$

Минимально допустимые диаметры проводов ВЛ по условиям короны $F_{\min \text{ кор}}$ приведены в табл. 4.3 [4].

Проверка по допустимой токовой нагрузке (по нагреву). Сечение провода, выбранное по экономическому критерию, должно быть проверено по условию:

$$I_{\text{нб}} < I_{\text{доп}},$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый длительный ток для проводника, определяемый по справочнику [6] для выбранного сечения; $I_{\text{нб}}$ – наибольшее значение тока в длительных режимах, под которыми обычно подразумеваются послеаварийные и ремонтные режимы электрической сети.

Таблица 4.3

Минимально допустимые диаметры проводов ВЛ
по условиям короны

Напряжение ВЛ, кВ	Фаза с одиночными проводами
110	11,4 (АС 70/11)
150	15,2 (АС 120/19)
220	21,6 (АС 240/32) 24,0 (АС 300/39)

В двухцепной линии наибольший ток будет протекать при отключении одной из цепей:

$$I_{\text{нб}} = \frac{S_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} (n_{\text{ц}} - 1)}.$$

Проверка по допустимой потере напряжения. Проверке по потерям напряжения воздушные линии 35 кВ и выше не подлежат, так как повышение уровня напряжения путём увеличения сечения проводов по сравнению с применением на понижающих подстанциях трансформаторов с РПН экономически не оправдано [1].

4.6. Определение сопротивлений и проводимостей линий электропередачи

Сопротивления и проводимости схемы замещения ВЛЭП определяются по общепринятой методике в [1].

4.7. Выбор трансформаторов (автотрансформаторов) на подстанциях

Для потребителей первой и второй категорий на подстанциях предусматривается установка не менее двух трансформаторов.

В современной практике проектирования при определении расчётной мощности трансформаторов на понижающих подстанциях с установкой двух трансформаторов ($n_T = 2$) применяется эмпирическая формула:

$$S_{T \text{ расч}} = 0,7 P_{\text{max}}.$$

По расчётной мощности трансформатора из справочника в [6] выбирается ближайший больший по номинальной мощности понижающий трансформатор.

4.8. Определение сопротивлений трансформаторов (автотрансформаторов)

Сопротивления и проводимости трансформаторов определяются по общепринятой методике в [1].

4.9. Подготовка расчётной схемы и выполнение электрического расчёта режима максимальных нагрузок.

Определение суммарных потерь активной мощности, необходимого количества, типа и мощности компенсирующих устройств

Составляется полная схема замещения сети для каждого варианта, в которой линии электропередачи представляются П-образными, а трансформаторы – Г-образными схемами замещения.

Определяются потери мощности в трансформаторах и в линиях электропередачи для режима максимальных нагрузок.

Баланс реактивной мощности определяет мощность компенсирующих устройств, необходимую для обеспечения нормированного значения коэффициента мощности на шинах РЭС. Располагаемая реактивная мощность РЭС определяется по величине максимальной активной мощности, потребляемой с шин РЭС и по заданному коэффициенту мощности РЭС.

Потребляемая сетью реактивная мощность складывается из реактивных мощностей нагрузок, потерь реактивной мощности в линиях и трансформаторах за вычетом зарядной мощности линий. Разница между располагаемой реактивной мощностью и требуемой определяет необходимую мощность компенсирующего устройства.

Для расчётов всех электрических режимов в КП необходимо создать модель электрической сети, например, в программном комплексе RastrWin3 (сайт разработчика: <http://www.rastrwin.ru/>).

4.10. Составление схем электрических соединений, выполнение предварительного технико-экономического расчёта каждого варианта, выбор наиболее экономичного варианта на основе анализа технико-экономических показателей

Схемы электрических соединений включают схему выдачи мощности РЭС, схемы соединения линий, схемы присоединения понижающих подстанций к сети, схемы устройств низкого напряжения. Выбор схемы выдачи мощности РЭС и схем присоединения подстанций

к сети следует выполнять с учётом принятой конфигурации того или иного варианта.

Условия составления полных схем электрических соединений:

1. Надёжность питания присоединённых потребителей в нормальном, ремонтном и послеаварийном режимах.
2. Надёжность транзита мощности через ПС в нормальном, ремонтном и послеаварийном режимах.
3. Простота, наглядность, экономичность, возможность восстановления питания в послеаварийных ситуациях посредством автоматики.

Экономические показатели вариантов определяются для сопоставления вариантов электрической сети. К экономическим показателям относятся капитальные затраты и издержки эксплуатации в расчёте на год.

При экономическом сравнении вариантов вводятся следующие допущения.

Варианты признаются равноценными по надёжности, если при отключении одной цепи двухцепной ЛЭП или одной линии в замкнутой сети, питание потребителей сохраняется по другой линии или цепи;

Капиталовложения в сеть принимаются единовременными (срок строительства один год), а эксплуатационные расходы – постоянными по времени.

В этом случае критерием экономической целесообразности является минимум приведённых затрат, определяемых по формуле:

$$Z = E_H K_{\Sigma} + И,$$

где $E_H \approx 0,12$ – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капиталовложений; $K_{\Sigma} = K_{Л\Sigma} + K_{ПС\Sigma}$ – капиталовложения в сеть, включающие в себя стоимость сооружения ЛЭП и подстанций; И – ежегодные издержки эксплуатации.

Капиталовложения по каждому варианту сети определяются по усреднённым показателям стоимости и складываются из стоимости ЛЭП, стоимости трансформаторов и стоимости распределительных устройств. Капиталовложения, входящие в формулу приведённых затрат, не должны учитывать стоимость элементов, повторяющихся во всех вариантах сети.

Капиталовложения на строительство ВЛЭП

$$K_{Л\Sigma} = \sum (K_{0Л_i} \cdot l_i),$$

где $K_{0Л_i}$ – укрупнённый показатель стоимости сооружения 1 км линии, учитывающий затраты на оборудование и строительно-монтажные работы.

Укрупнённый показатель стоимости сооружения соответствуют нормальным условиям строительства на территории Европейской части России. Нормальные условия – сооружение ВЛ вне населённых пунктов, в равнинной местности, при расчётном напоре ветра до 600 Па.

$$K_{0Л_i} = K_{0Л(н)_i} \cdot k_{зон} \cdot k_{усл},$$

где $K_{0Л(н)_i}$ – базисный показатель стоимости сооружения 1 км линии; $k_{зон}$ – зональный повышающий коэффициент к базисной стоимости электросетевых объектов; $k_{усл}$ – коэффициент усложнения условий строительства ВЛ.

Капиталовложения на строительство подстанций складываются из стоимости трансформаторов, ячеек открытых распределительных устройств (ОРУ), компенсирующих устройств.

Ежегодные эксплуатационные издержки складываются из издержек на амортизацию, обслуживание и издержек на возмещение потерь электрической энергии в электрической сети. Ежегодные издержки на амортизацию и обслуживание определяются на основе норм ежегодных издержек на амортизацию и обслуживание, устанавливаемых в процентах от ранее определённых капитальных затрат. Издержки на возмещение потерь электрической энергии определяются на основе замыкающих оценок стоимости потерь электроэнергии. Оптимальным по экономическим показателям является вариант, имеющий наименьшие приведённые затраты.

Варианты, имеющие приведённые затраты, различающиеся менее, чем на 5 %, считаются равноэкономичными, и выбор варианта из них должен осуществляться на основе инженерных оценок: перспективность схемы, удобство эксплуатации и др.

4.11. Точный электрический расчёт режимов выбранного варианта

Точный электрический расчёт режима сети необходим для проверки качества электроэнергии по отклонениям напряжения на шинах нагрузки и определения коэффициентов трансформации трансформаторов понижающих подстанций в трёх наиболее важных режимах: максимальных нагрузок, наименьших нагрузок, наиболее тяжёлом послеаварийном.

Выбор ответвлений производится для поддержания необходимого уровня напряжения на шинах нагрузки и на шинах среднего напряжения. Методика выбора ответвлений и коэффициентов трансформации изложена в [1].

В спроектированной сети должно обеспечиваться встречное регулирование напряжения: в максимальном режиме напряжение на шинах

низкого напряжения подстанций должно быть на 5–10 % выше номинального, в минимальном – на 0–5 %, а в послеаварийном режиме, по возможности, выше на 5–10 %, но не ниже номинального. Главным средством для этого служат трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой. В проекте требуется выбрать рабочие ответвления всех трансформаторов в трёх расчётных режимах. В результате расчёта должны быть определены напряжения на шинах низкого напряжения для этих режимов.

Точный электрический расчёт режимов выбранного варианта выполняется в программном комплексе RastrWin3 (сайт разработчика: <http://www.rastrwin.ru/>) на основе схемы, подготовленной в п. 1.9 для трёх режимов: 1) электрический расчёт режима максимальных нагрузок; 2) электрический расчёт послеаварийного режима (вид послеаварийного режима задаётся преподавателем); электрический расчёт режима минимальных нагрузок с учётом мероприятий по экономии потерь электроэнергии.

По результатам расчётов необходимо сделать выводы.

4.12. Заключение к курсовому проекту

В заключении к курсовому проекту необходимо привести общие выводы о спроектированной электрической сети.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Методическое обеспечение

Основная литература:

1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.proektant.org/books/0008-ELE-1989.pdf>, свободный.

2. Электрические системы. Электрические сети / под ред. В.А. Веникова, В.А. Строева. – М.: Высш. шк., 1998. – 511 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://publ.lib.ru/ARCHIVES/V/VENIKOV_Valentin_Andreevich/_Venikov_V.A..html#0002, свободный.

3. Лыкин П.В. Электрические системы и сети: учеб. пособие. – М.: Университетская книга; Логос, 2008. – 254 с.

4. Правила устройства электроустановок. – М.: КноРус, 2014 (Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2014 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=98464&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.8454094384244503#09861620465484267>, свободный.

5. Электроэнергетические системы и сети: метод. указ. для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профили «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических сетей» и «Электроснабжение» / сост. Н.Л. Бацева, Н.П. Фикс; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 62 с.

Дополнительная литература:

6. Поспелов Г.Е. Электрические системы и сети: учебник / Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин, П.В. Лычев. – Минск: Технопринт, 2004.

7. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://portal.tpu.ru/SHARED/a/ANDREEVMV/academic/avtomatika_ees/Tab1/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%B1%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87.pdf, свободный.

8. Межгосударственный стандарт ГОСТ 21027-75 «Системы энергетические. Термины и определения». – М.: Стандартиформ, 2005. – 6 с.

Информационное обеспечение:

9. СТО ТПУ 2.5.01-2006. Система образовательных стандартов. Работы выпускные, квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления / ТПУ [Электронный ресурс]. – Томск, 2006. – Режим доступа: <http://109.123.155.36/f/1959/m1.pdf>, свободный.
10. НЭЛБУК, Электронная библиотека (ЭБ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.nelbook.ru/?search=электрические сети](http://www.nelbook.ru/?search=электрические%20сети), свободный.
11. Сайт ОАО «Системный оператор Единой энергосистемы России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://so-ops.ru/index.php?id=rza_goals_rel, свободный.
12. Сайт федеральной сетевой компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.fsk-ees.ru, свободный.
13. Сайт режимщиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.Regimov.net, свободный.
14. Сайт создателей программного обеспечения для расчёта режимов энергосистем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.RastrWin.ru, свободный.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Контрольные вопросы для подготовки к защите курсового проекта

1. По каким принципам осуществляется предварительный выбор вариантов конфигурации сети?
2. Что называют номинальным напряжением электроустановок?
3. Как выбирается номинальное напряжение сети?
4. Назовите требования, предъявляемые к электрическим сетям.
5. Что называется надёжностью электроснабжения потребителей?
6. Как учитывается требуемый уровень надёжности электроснабжения при выборе схемы электрической сети?
7. Каковы категории потребителей по степени требуемой надёжности электроснабжения?
8. Как выбираются сечения проводов ЛЭП?
9. По каким нагрузкам выбирают сечения проводов и почему?
10. Что такое экономическая плотность тока?
11. Какие факторы определяют максимально допустимую температуру нагревания проводов и кабелей?
12. Как проверяют провода по допустимому нагреву?
13. Каковы виды графиков нагрузки?
14. Какова связь между годовым графиком нагрузки и временем использования максимальной нагрузки?
15. Для чего и когда делается расщепление проводов фазы?
16. Что такое расчётная нагрузка подстанции?
17. Схема замещения ЛЭП: каково физическое содержание её элементов?
18. Схема замещения трансформатора: каким физическим явлениям соответствуют её элементы?
19. Как определить зарядную мощность ЛЭП?
20. Поясните проведение опытов «холостого хода» и «короткого замыкания» трансформаторов.
21. Как определить параметры схемы замещения трансформатора по его каталожным данным?
22. Каков принцип выбора трансформаторов на подстанциях?
23. Каковы условия параллельной работы трансформаторов?
24. Поясните обозначения в марке выбранных вами трансформаторов.
25. Какие цели преследуются при расчётах режимов сети?
26. Как производится расчёт режима сети в «два этапа»?
27. Что такое точка потокораздела?

28. Каковы особенности расчёта минимального и послеаварийного режимов сети.

29. Дайте определения и поясните с помощью векторной диаграммы понятия падения и потери напряжения на участке сети.

30. Приведите примеры векторных диаграмм напряжений и токов на участке сети при различных нагрузках.

31. Как определяется падение напряжения в сети?

32. Когда необходим учёт поперечной составляющей падения напряжения?

33. Напишите формулы потерь мощности в линиях электропередачи и в трансформаторах.

34. Как зависят потери мощности от приложенного напряжения, сечения провода и т.п.?

35. Какие методы определения нагрузочных потерь электроэнергии в электрических сетях Вы знаете?

36. Что такое время максимальных потерь?

37. Какие методы снижения потерь электроэнергии вам известны?

38. Что будет, если в системе не будет обеспечен баланс активной мощности?

39. К каким последствиям может привести нарушение баланса реактивной мощности?

40. Что называют дефицитом активной и реактивной мощности?

41. Какие источники реактивной мощности вам известны?

42. Для чего применяют компенсирующие устройства?

43. Как выбирается мощность и расположение компенсирующих устройств?

44. Как обеспечиваются требования надёжности электроснабжения в принятом Вами варианте сети?

45. Из чего складываются ежегодные издержки на эксплуатацию сети?

46. Как определяют капиталовложения в сеть?

47. Назовите основные технико-экономические показатели сети, поясните их экономический смысл.

48. Какие показатели качества электроэнергии вам известны?

49. Что понимают под встречным регулированием напряжения?

50. Какие существуют способы и средства регулирования напряжения в электрических системах?

51. Как выбираются ответвления трансформаторов с РПН?

52. Что такое отклонение напряжения, колебания напряжения, падение напряжения?

53. В чем принципиальная разница между ежегодными издержками и приведёнными затратами?

54. Каково отличие схемы замещения повышающего трансформатора от схемы замещения понижающего трансформатора?
55. Какие требования предъявляются к электрическим сетям?
56. Что понимается под транспозицией проводов?

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

*Пример оформления титульного листа ...
пояснительной записки к курсовому проекту*

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

П О Я С Н И Т Е Л Ь Н А Я З А П И С К А

к курсовому проекту

«ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 220/110 КВ»

Разработал

студент группы _____

(И.О. Фамилия)

(подпись, дата)

Проверил

преподаватель _____

(И.О. Фамилия)

(подпись, дата)

Томск 201_

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Задание на курсовое проектирование

1. Расположение потребителей и источника питания на координатной плоскости, масштаб ...км/1 см.

Вариант 1	Вариант 2
-----------	-----------

2. Характеристики потребителей электроэнергии и источника питания.

Наименование	РЭС	Потребители			
		1	2	3	4
X, см					
Y, см					
Активная мощность в режиме максимальных нагрузок, МВт	–				
Активная мощность в режиме минимальных нагрузок, МВт	–				
Коэффициент мощности					
T_{\max} , час	–				
K_K , %	–				
Масштаб, км/1 см					
$U_{\text{РЭС max}}$, кВ					
$U_{\text{РЭС min}}$, кВ					
Номинальное напряжение, кВ	110/ 220	10			

Студент _____ (Подпись)