



Федеральное агентство по рыболовству
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Директор института

Фонд оценочных средств
(приложение к рабочей программе модуля)
«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ»

основной профессиональной образовательной программы бакалавриата
по направлению подготовки

13.03.02 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ИНСТИТУТ

морских технологий, энергетики и строительства

РАЗРАБОТЧИК

кафедра энергетики

РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ, ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

1.1 Результаты освоения дисциплины

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенций

Код и наименование компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями
<p>ПК-1: Способен выполнять работы по обеспечению полного цикла или отдельных стадий эксплуатации и требуемых технологических режимов работы электроустановок и электротехнического оборудования.</p>	<p>Электрические станции и подстанции</p>	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - структуру, электрические схемы и основные показатели электрических станций и подстанций; - технологический процесс производства электрической энергии; - назначение, виды, принцип действия и технические данные электротехнического оборудования электростанций и подстанций; - территориальное расположение электротехнического оборудования электростанций и подстанций; - основные режимы работы электротехнического оборудования электрических станций и подстанций; <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - обосновывать выбор и эксплуатировать электрооборудование электрических станций и подстанций; - работать над проектами электрических станций и подстанций и отображать графически схемы распределительных устройств; - использовать знание схем, конструктивных особенностей, эксплуатационных характеристик и правил эксплуатации электротехнического оборудования, механизмов и устройств для обеспечения функционирования электростанций и подстанций в нормальных, ремонтных, аварийных и послеаварийных режимах работы; - разрабатывать мероприятия по снижению расхода электроэнергии на собственные нужды электростанций и подстанций; <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - методами расчета и выбора основного электротехнического и коммутационного оборудования электрических станций и подстанций; - навыками анализа технической информации по электрооборудованию, схемам электрических соединений электрических станций и подстанций; - методами анализа условно постоянных затрат

Код и наименование компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями
		на эксплуатацию электротехнического оборудования электростанций и подстанций и разработки предложений по их сокращению;

1.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания открытого и закрытого типов;
- задания к контрольной работе (для заочной формы обучения).

К оценочным средствам для промежуточной аттестации относятся:

- типовые задания по курсовому проекту;
- экзаменационные задания по дисциплине, представленные в виде тестовых заданий открытого и закрытого типов.

1.3 Критерии оценки результатов освоения дисциплины

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) 100 – балльную/процентную систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (табл. 2).

Таблица 2 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
1 Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может корректно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2 Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3 Научное	Не может делать	В состоянии осу-	В состоянии	В состоянии осу-

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	ществлять научно корректный анализ предоставленной информации	осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные	ществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4 Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

2 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Компетенция ПК-1: Способен выполнять работы по обеспечению полного цикла или отдельных стадий эксплуатации и требуемых технологических режимов работы электроустановок и электротехнического оборудования.

Тестовые задания открытого типа

1. К критериям оценки эффективности электрической станции относятся _____

Ответ: себестоимость 1кВт*ч выработанной на электростанции электрической энергии и стоимость 1 кВт установленной мощности электростанции

2. Холодным резервом электростанции называется _____

Ответ: резерв, сосредоточенный в неработающих агрегаторах, которые в случае необходимости могут быть быстро включены в работу

3. Гидроаккумулирующая (ГАЭС) электростанция предназначена для покрытия _____ нагрузок.

Ответ: пиковых

4. Коэффициент поверхностного эффекта определяется по формуле _____

Ответ: $K_{\text{п}} = \frac{r}{R}$,

где R – омическое сопротивление проводника; r – активное сопротивление проводника

5. Понятие нагревостойкости изоляции характеризуется

Ответ: воздействием нормированной температуры в течение нормального срока эксплуатации

6. Тепловое состояние проводника описывается _____

Ответ: уравнением теплового баланса $\Delta P dt = C dA + A \theta dt$

7. Критерием при проверке токопроводов на термическую стойкость, является _____

Ответ: величина конечной температуры

8. Под термической стойкостью неизолированных проводников понимается способность противостоять кратковременному тепловому воздействию _____

Ответ: току короткого замыкания

9. При рассмотрении электродинамических сил в трехфазном токопроводе при трехфазном коротком замыкании справедливо _____

Ответ: что на крайние проводники действуют одинаковые по величине силы

10. В цепи переменного тока гашение дуги в межэлектродном промежутке выключателя происходит при _____

Ответ: прохождении тока через нулевое значение

11. Высоковольтный выключатель, в котором вакуум служит средой для гашения электрической дуги, называется _____

Ответ: вакуумный

12. Проверка разъединителей осуществляется по критерию _____

Ответ: включающей способности

13. Диапазоном номинальных напряжений обмоток статора, на которые изготавливаются синхронные генераторы электростанций, является _____

Ответ: 0,4-27 кВ

14. Синхронный компенсатор предназначен для _____

Ответ: выдачи или потребления реактивной мощности из сети

15. Отличительной особенностью энергосберегающих трансформаторов на аморфных сплавах по сравнению с традиционными из электротехнической стали является _____

Ответ: значительно меньшее значение потерь холостого хода

16. Номинальный ток вторичной обмотки измерительного трансформатора тока составляет _____

Ответ: 5 А или 1 А

17. Проверяется ли измерительный трансформатор напряжения на термическую и электродинамическую стойкость _____

Ответ: не проверяется

18. Одиночная система шин применяется: _____

Ответ: низкая сторона подстанций, шины генераторного напряжения теплоэлектростанций, собственные нужды электростанций

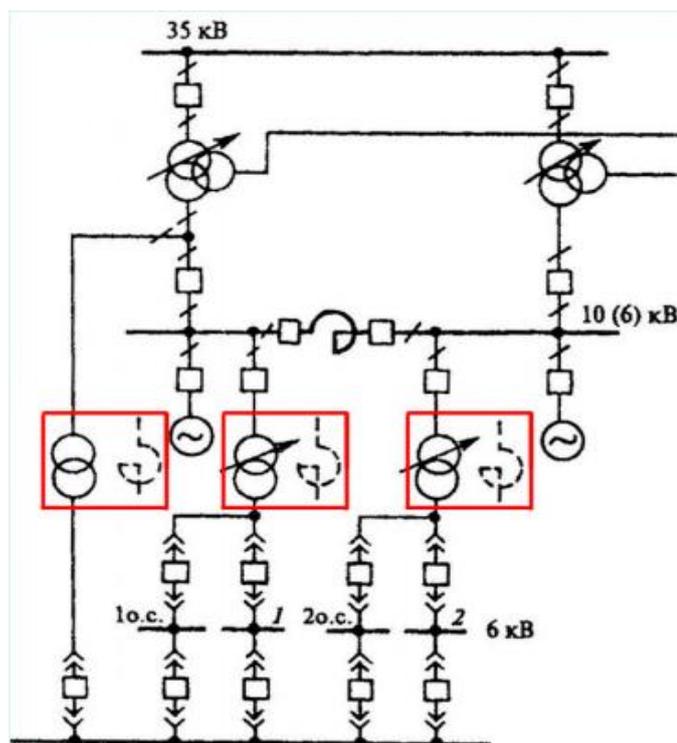
19. Как осуществляется электроснабжение цепей постоянного оперативного тока электростанции в нормальном режиме эксплуатации _____

Ответ: от подзарядного агрегата (устройства)

20. Электроустановка, предназначенная для приема и распределения электроэнергии, содержащая электрические аппараты, шины и вспомогательные устройства – это _____

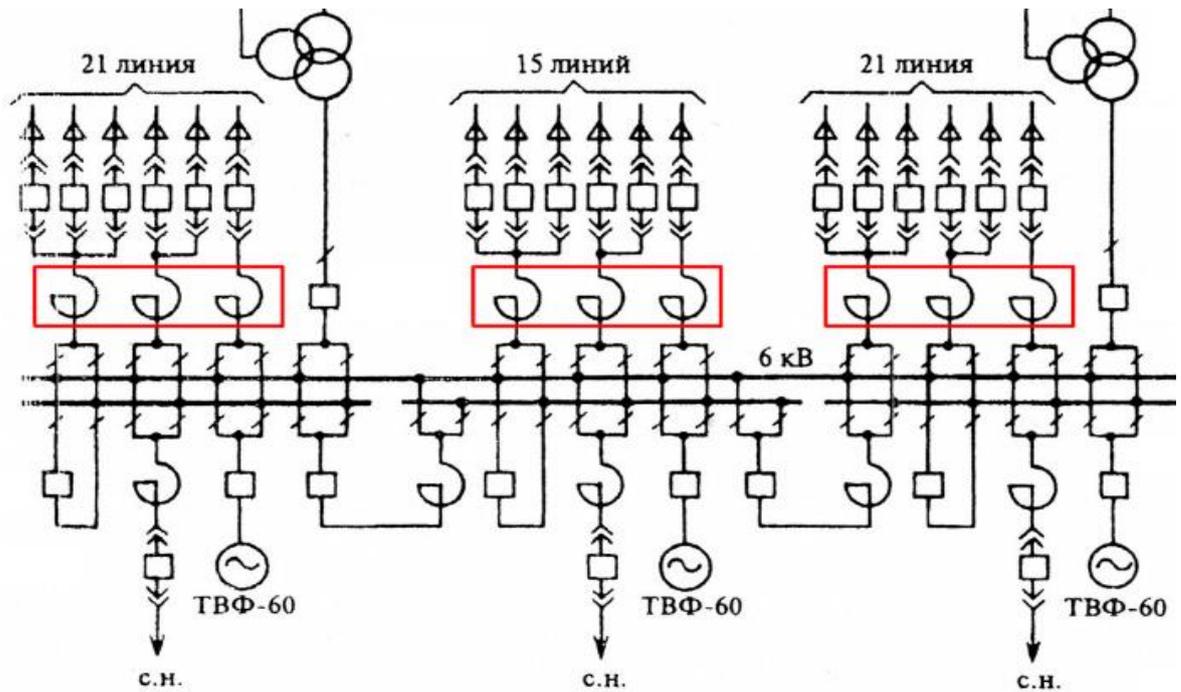
Ответ: распределительное устройство

21. На рисунке представлена схема питания собственных нужд ТЭЦ. Схема предполагает возможность установки трансформаторов либо реакторов (отмечены красной рамкой). Установка того или иного элемента определяется _____



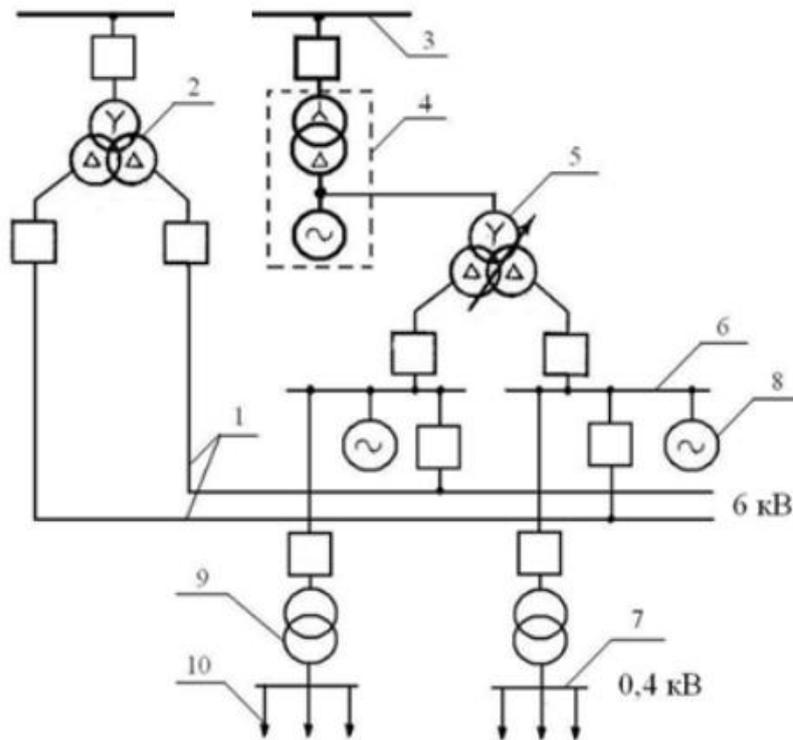
Ответ: номинальными значениями напряжений шин главного распределительного устройства (ГРУ) и собственных нужд (СН)

22. На рисунке представлена главная схема ТЭЦ. Линейные реакторы (отмечены красной рамкой) предназначены для _____



Ответ: ограничения токов короткого замыкания

23. Назначение пуска - резервного трансформатора (2) в системе собственных нужд электростанции



Ответ: обеспечение электроэнергией электроприводов и другого электрооборудования собственных нужд блока (4) для его пуска и резервирования рабочего трансформатора (3)

24. Заземляющие устройства электроустановок напряжением выше 1 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью (подстанции 110 кВ и выше) при токах КЗ свыше 500 А должно иметь в любое время года сопротивление (с учетом сопротивления естественных и искусственных заземлителей) _____

Ответ: не менее 0,5 Ом

Тестовые задания закрытого типа

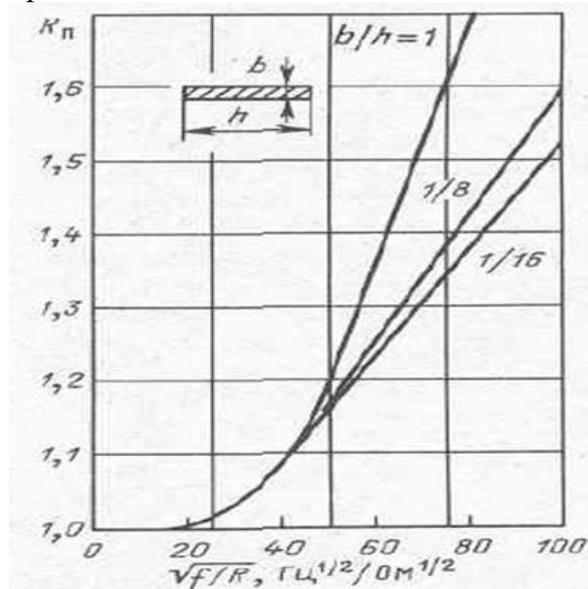
25. Покрытие базовой нагрузки суточного графика электрической системы обеспечивается

1. ГАЭС, АЭС, ТЭЦ
2. КЭС, АЭС, ГЭС, ТЭЦ
3. ТЭЦ, БиоЭС, ВЭС
4. ГЭС, ВЭС, БиоЭС

26. Горячим или вращающимся резервом электростанции называется

1. Резерв, сосредоточенный в агрегаторах, нагрузка которых меньше номинальной мощности
2. Резерв, сосредоточенный в агрегаторах, нагрузка которых больше номинальной мощности
3. Резерв, сосредоточенный в одном агрегаторе, нагрузка которого больше максимальной мощности
4. Резерв, сосредоточенный в неработающих агрегаторах, которые в случае необходимости могут быть быстро включены в работу

27. К значительному росту поверхностного эффекта у плоских шин прямоугольного сечения приводит



1. Увеличение параметра b
2. Уменьшение параметра b
3. Увеличение параметра h
4. Уменьшение параметра h

28. Нагревание стальных конструкций, расположенных в сильных магнитных полях, приводит к

1. Снижению температуры в производственных помещениях за счет усиленного теплообмена
2. **Снижению прочности железобетонных конструкций**
3. Закалке железа в железобетонных конструкциях, вследствие чего их прочность увеличивается
4. Увеличению вероятности удара током при прикосновении

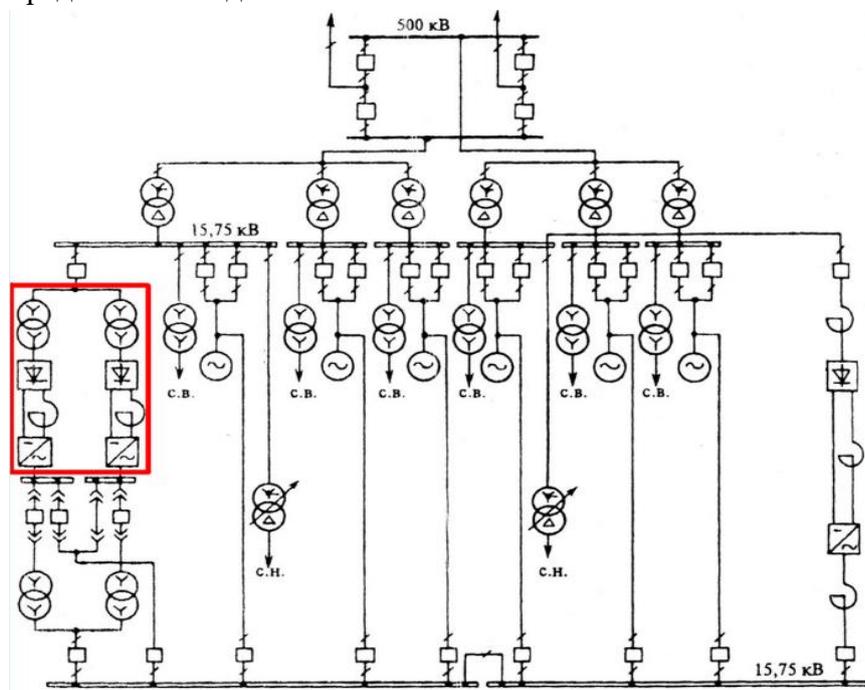
29. Трансформатор с расщепленной обмоткой низшего напряжения **HE** используется с целью

1. **Связи распределительных устройств трёх различных напряжений**
2. Ограничения токов короткого замыкания
3. Уменьшения числа присоединений в распределительном устройстве высокого напряжения
4. Связи распределительных устройств двух различных номинальных напряжений

30. Допустимые систематические перегрузки трансформатора могут возникать

1. **Систематически, из-за неравномерности суточного графика нагрузки**
2. Кратковременно, в случае аварии на ЛЭП
3. Систематически, в случае аварии на ЛЭП
4. Систематически, из-за постоянства суточного графика нагрузки

31. На рисунке представлена главная схема ГАЭС. Устройства, отмеченные красной рамкой, предназначены для



1. **Запуск синхронных машин в двигательном режиме**
2. Система питания затворов на плотине
3. Ограничение токов КЗ в системе собственных нужд
4. Ограничение токов КЗ в РУ 500 кВ

32. Защитное заземление обеспечивает

1. Электробезопасность в нормальном и аварийном режимах работы электроустановки
2. Стеkanie токов молнии в аварийном режиме работы электроустановки
3. Стеkanie токов молнии во всех режимах работы электроустановки
4. Заземление нейтралей оборудования во всех режимах работы электроустановки

3 ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ И КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

3.1 Учебным планом предусмотрено выполнение контрольной работы для студентов заочной формы обучения.

Контрольная работа включает два задания.

Задание 1. Выбор и проверка на термическую стойкость токопроводов в распределительном устройстве (РУ) электростанции

Задание 2. Расчет наибольших результирующих и изгибающих электродинамических нагрузок действующих на шины при коротких замыканиях.

Типовые задачи для задания 1:

Задача 1. Выбрать по наибольшему продолжительному току и проверить на термическую стойкость алюминиевые шины к трансформатору собственных нужд электростанции (рис.1) при следующих условиях. На электростанции (на рис. 1) установлены два турбогенератора мощностью по 60 МВт ($75 \text{ МВ} \cdot \text{А}$), 10,5 кВ, $X''d = 0,132$, $T_{аг} = 0,26 \text{ с}$, а также два трансформатора собственных нужд мощностью по 10 МВ·А. При нормальной работе станции нагрузка трансформаторов составляет по 5 МВт, $\cos \varphi = 0,85$.

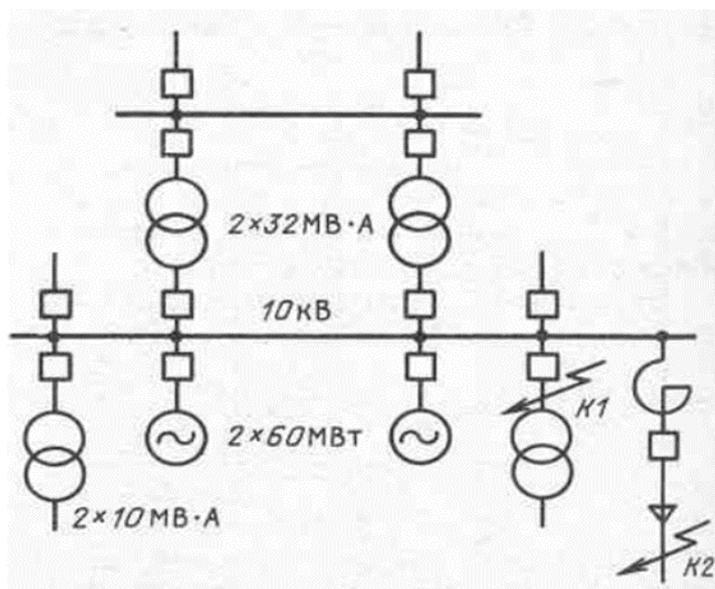


Рис. 1. Схема электростанции к задачам 1 и.2

В случае вынужденного отключения одного из трансформаторов нагрузка второго удваивается. Связь станции с сетью системы осуществляется через два трансформатора. Эквивалентное сопротивление этих трансформаторов и сети системы, отнесенное к базисной мощности 150 МВ·А, составляет $X_c = 0,35$, $T_{ac} = 0,05$ с.

Выберем сечение алюминиевых шин к трансформаторам собственных нужд по наибольшему продолжительному току. Очевидно, этот ток соответствует работе станции с одним трансформатором с нагрузкой 10 МВт:

$$I_{\text{нб.прод}} = (2,5 \cdot 10^3) / (\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,85) = 650 \text{ (А)}.$$

Подходящими являются (см. [1]) алюминиевые шины сечением $50 \times 5 = 250 \text{ мм}^2$ с допустимым (номинальным) током 665 А.

Определим токи в ветвях схемы при КЗ в точке К1. Базисный ток:

$$I_6 = 150 / (\sqrt{3} \cdot 10,5) = 8,25 \text{ (кА)}.$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока ветви Г и С:

$$I_{\text{поГ}} = I_6 / X_{\text{Г}} = 8,25 / 0,132 = 62,5 \text{ (кА)}.$$

$$I_{\text{поС}} = I_6 / X_c = 8,25 / 0,35 = 23,6 \text{ (кА)}.$$

Определим относительные интегралы по кривым рис. 2 (время отключения КЗ примем равным $t_k = 0,5$ с): $B_{*j} = 0,52$; $Q_{*j} = 0,71$.

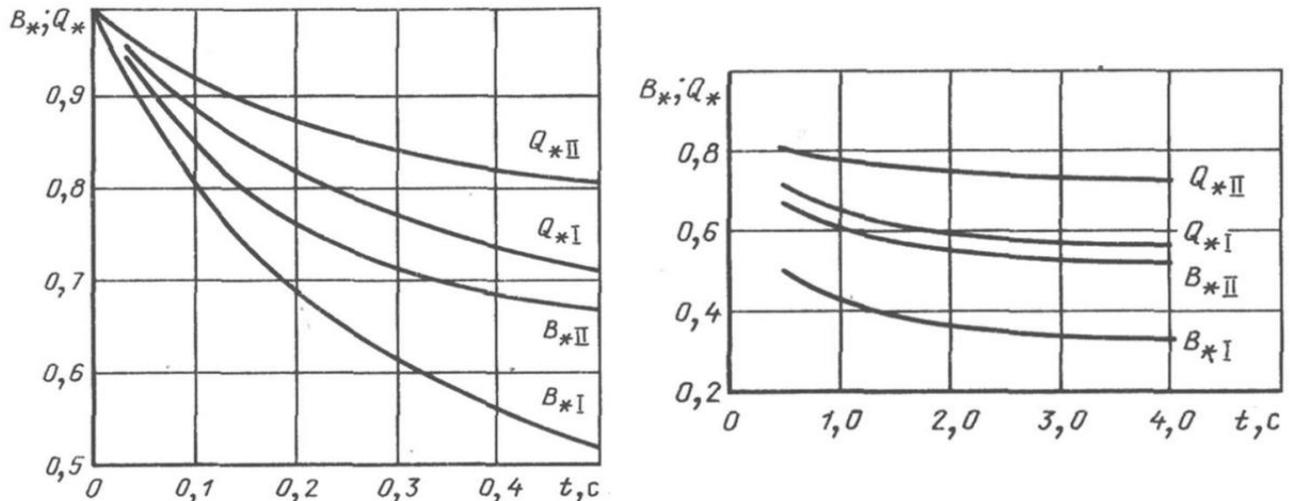


Рис. 2. Кривые для определения относительных интегралов B_* и Q_* .

Определим интеграл Джоуля $W_{\text{п}}$ от периодической составляющей тока КЗ:

$$W_{\text{п}} = (I_{\text{пс}}^2 + 2I_{\text{пс}}I_{\text{поГ}}Q_* + I_{\text{поГ}}^2B_*) \cdot t = (23,6^2 + 2 \cdot 23,6 \cdot 62,5 \cdot 0,71 + 62,5^2 \cdot 0,52) \cdot 0,5$$

$$W_{\text{п}} = 2360 \cdot 10^6 \text{ (А}^2 \cdot \text{с)}.$$

Определим интеграл Джоуля $W_{\text{а}}$ от аperiodической составляющей тока КЗ по

$$W_{\text{а}} = I_{\text{пс}}^2 T_{\text{ac}} + I_{\text{поГ}}^2 T_{\text{аГ}} + \frac{4I_{\text{пс}}I_{\text{поГ}}}{\frac{1}{T_{\text{ac}}} + \frac{1}{T_{\text{аГ}}}} = 23,6^2 \cdot 0,05 + 62,5^2 \cdot 0,26 + \frac{4 \cdot 23,6 \cdot 62,5}{\frac{1}{0,05} + \frac{1}{0,26}}$$

$$= 1290 \cdot 10^6 \text{ (А}^2 \cdot \text{с)}.$$

Полный интеграл Джоуля:

$$B = B_{п} + B_{а} = (2360 + 1290) \cdot 10^6 = 3650 \cdot 10^6 \text{ (A}^2 \cdot \text{с)}.$$

Определим функцию A:

$$A = B/s^2 = 3650 \cdot 10^6 / 250^2 = 5,84 \cdot 10^4 \text{ (A}^2/\text{мм}^4).$$

Как следует из диаграммы (рис. 3), конечная температура шины значительно выше допустимой.

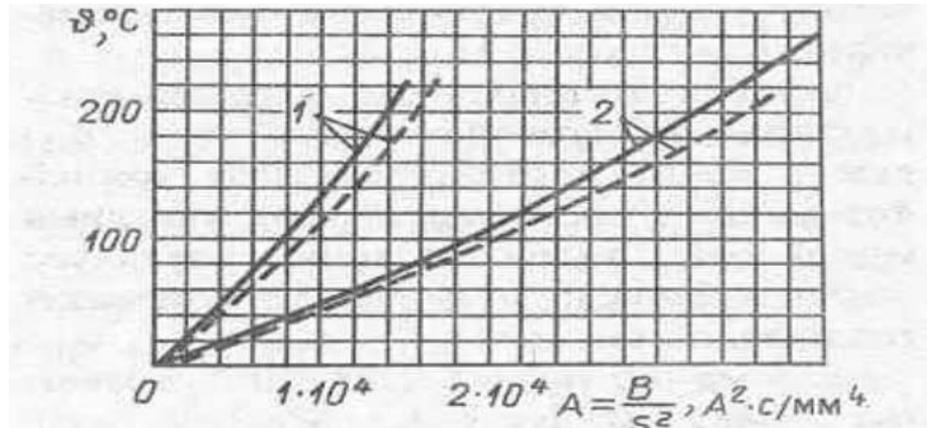


Рис. 3. Кривые для определения конечной температуры шин и кабелей при КЗ: сплошные линии относятся к шинам; пунктирные к кабелям с многопроволочными жилами; 1 – алюминий; 2 – медь

Определим минимальное сечение шины, отвечающее требованию термической стойкости, по приближенному выражению:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B}}{c} = \frac{\sqrt{3650 \cdot 10^6}}{89} = 678 \text{ (мм}^2).$$

Выберем алюминиевые шины сечением $80 \times 8 = 640 \text{ мм}^2$ с допустимым (номинальным) током 1690 А [1] и уточним конечную температуру шины при КЗ.

Начальная температура шины при токовой нагрузке 650 А по выражению

$$\theta_1 = \theta_{в} + (\theta_{ном} - \theta_{в,ном}) \left(\frac{I}{I_{ном}} \right)^2 = 25 + (70 - 25) \left(\frac{650}{1690} \right)^2 = 31,6 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Соответствующее значение функции $A_1 = 0,26 \cdot 10^4 \text{ (A}^2 \cdot \text{с/мм}^4)$ (см. рис. 3).

Определим функцию A

$$A = \frac{B}{s^2} = \frac{3650 \cdot 10^6}{640^2} = 0,89 \cdot 10^4 \text{ (A}^2 \cdot \text{с/мм}^4),$$

$$A_1 + A = (0,26 + 0,89) \cdot 10^4 = 1,15 \cdot 10^4 \text{ (A}^2 \cdot \text{с/мм}^4).$$

Конечная температура по кривой рис. 3 $\theta_2 = 160 \text{ }^\circ\text{C}$, т. е. меньше допустимой.

Таким образом, в рассматриваемых условиях сечение шины, отвечающее термической стойкости, приблизительно в 2,5 раза превышает сечение, выбранное по наибольшему продолжительному току.

Задача 2. Проверить на термическую стойкость кабельную линию 10 кВ, присоединенную к сборным шинам станции (рис. 1) через токоограничивающий реактор при следующих условиях: трехжильный кабель с алюминиевыми жилами 3×150 (мм²) уложен в земле. Параметры реактора: 10 кВ, 400 А, 0,45 Ом. Постоянная времени аperiodической составляющей тока T_a при замыкании в точке K2 равна 0,1 с. Полное время отключения линии при K3 $t_k = 1,5$ с. Остальные данные см. задача 1.

Этот пример отличается от предыдущего тем, что точка замыкания удалена электрически от генераторов. Следовательно, периодическая составляющая тока может быть принята неизменной. Отношение t/T_a относительно велико, что упрощает определение интеграла квадратичного тока K3.

Определим ток короткого замыкания в точке K2. Эквивалентное сопротивление до сборных шин станции в относительных единицах, отнесенных к базисным условиям, равно:

$$X_{*эк} = \frac{X_{ГХс}}{X_{Г} + X_{с}} = (0,132 \cdot 0,35)/(0,132 + 0,35) = 0,09,$$

или выраженное в омах:

$$X_{эк} = \frac{X_{*эк} U_{б}}{I_{б} \sqrt{3}} = (0,09 \cdot 10,5)/(8,25 \cdot \sqrt{3}) = 0,066 \text{ (Ом)}.$$

Эквивалентное сопротивление до точки K2:

$$X_k = X_{эк} + X_p = 0,066 + 0,45 = 0,516 \text{ (Ом)}.$$

Периодическая составляющая тока K3 в точке K2:

$$I_{пс} = \frac{U_{б}}{\sqrt{3} X_k} = 10,5 / (\sqrt{3} \cdot 0,516) = 11,75 \text{ (кА)}.$$

Интеграл Джоуля при $t_k = 1,5$ с может быть определен по нижеприведенному выражению, поскольку амплитуда периодической составляющей тока неизменна, а отношение $t_k/T_a = 1,5/0,1 \gg 2$: $B = I_{пс}^2 (t_k + T_a) = 11,75^2 \cdot (1,5 + 0,1) = 221 \cdot 10^6 \text{ (A}^2 \cdot \text{с)}$.

Минимальное сечение кабеля при $C = 100 \text{ (A} \cdot \text{с}^{1/2}/\text{мм}^2)$

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B}}{C} = \frac{\sqrt{221 \cdot 10^6}}{100} = 149 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Уточним конечную температуру кабеля при коротком замыкании.

Начальная температура кабеля при допустимой нагрузке 275 А и температуре земли 15 °С равна 60 °С. Соответствующее значение функции $A_1 = 0,48 \cdot 10^4 \text{ (A}^2 \cdot \text{с}/\text{мм}^4)$ (см. 3).

Функция A равна:

$$A = \frac{B}{s^2} = \frac{221 \cdot 10^6}{150^2} = 0,98 \cdot 10^4 \text{ (A}^2 \cdot \text{с}/\text{мм}^4\text{)};$$

Сумма $A_1 + A$:

$$A_1 + A = 0,48 \cdot 10^4 + 0,98 \cdot 10^4 = 1,46 \cdot 10^4 \text{ A}^2 \cdot \text{с}/\text{мм}^4.$$

Конечная температура кабеля по рис. 3 равна 185 °С, т. е. меньше допустимой. Таким образом, кабель 3 × 150 мм² обладает достаточной термической стойкостью.

Типовые задачи для задания 2:

Задача 3. Определить наибольшие результирующие и изгибающие электродинамические нагрузки при трехфазном коротком замыкании, действующие на шины, расположенные в одной плоскости (рис. 4, а), а также по вершинам прямоугольного равнобедренного треугольника (рис. 4, б) и равностороннего треугольника (рис. 4, в). Расстояние между шинами (во всех конструкциях) $a = 0,4$ м, ударный ток КЗ $i_{уд} = 50$ кА.

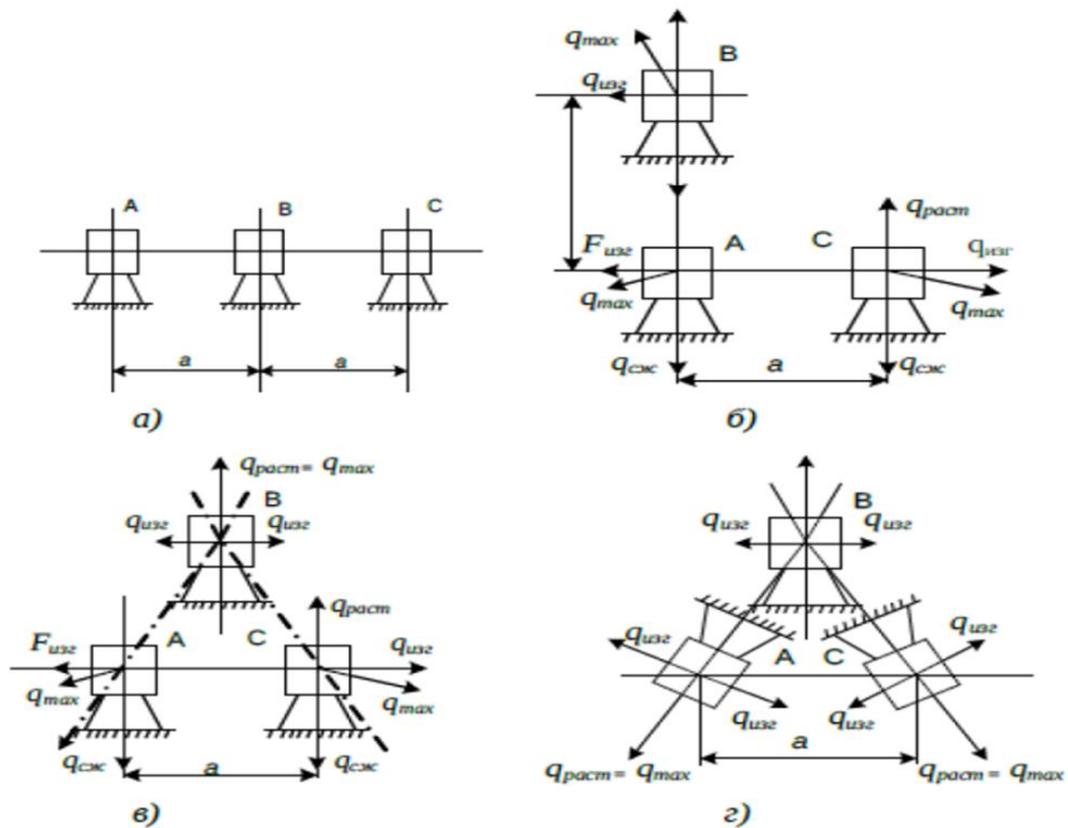


Рис. 4. Шинные конструкции

Результирующие электродинамические нагрузки вычисляем по формуле (1). Предварительно по табл. 3 находим коэффициенты ξ этой нагрузки и определяем расчетную фазу шинной конструкции.

Наибольшее удельное усилие на проводник средней фазы может быть определено из выражения, Н/м,

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} k_{\phi} I_m^2 / a, \tag{1}$$

где I_m — амплитуда тока в фазе, А; a — расстояние между соседними фазами, м.

Таблица 3. Значения коэффициента максимальной нагрузки ξ от расположения фаз

Расположение шин	Фаза	Коэффициент ξ максимальной нагрузки			
		Результирующей	Изгибающей	Растягивающей	Сжимающей
В одной плоскости	A, C	0.93	0.93	0.00	0.00

(рис 4, а)	<i>B</i>	1.00	1.00	0.00	0.00
По вершинам прямоугольного равнобедренного треугольника (рис 4, б)	<i>A</i>	0.87	0.87	0.29	0.87
	<i>B</i>	0.95	0.43	0.93	0.07
	<i>C</i>	0.95	0.93	0.14	0.43
По вершинам равностороннего треугольника (рис 4, в)	<i>A</i>	1.00	0.94	0.25	0.75
	<i>B</i>	1.00	0.50	1.00	0.00
	<i>C</i>	1.00	0.94	0.25	0.75
По вершинам равностороннего треугольника (рис. 4, г)	<i>A</i> <i>B, C</i>	1.00	0.5	1.00	0.00

Для шин, расположенных в одной плоскости (см. рис. 4, а), расчетной является фаза *B*. В этой фазе $\xi = 1$ (а для крайних фаз он составляет 0,93), поэтому наибольшая нагрузка

$$f_{max} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 50^2 \cdot 10^6 / 0,4 = 1082,5 \text{ (Н/м)}.$$

Коэффициент ξ при расположении шин по вершинам прямоугольного равнобедренного треугольника (см. рис. 4, б) для шины фазы *A* равен 0,87, шин фаз *B* и *C* — 0,95. Таким образом, результирующие нагрузки будут больше в фазах *B* и *C*. Согласно (1)

$$f_{max} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 0,95 \cdot 50^2 \cdot 10^6 / 0,4 = 1028 \text{ (Н/м)}.$$

Если шины расположены по вершинам равностороннего треугольника (см. рис. 6.22, в), коэффициенты ξ для всех трех фаз одинаковы и равны единице. Следовательно, максимальные результирующие нагрузки составят 1082,5 Н/м.

Коэффициент изгибающих нагрузок ξ (см. табл. 1) при расположении шин:

- в одной плоскости (см. рис 4, а) равен 1;
- по вершинам равнобедренного прямоугольного треугольника (см. рис. 4, б) равен 0,93;
- по вершинам равностороннего треугольника (см. рис. 4, в) равен 0,94.

Соответственно удельные изгибающие нагрузки $f_{нз}$ для этих конструкций составляют 1082,5; 1007 и 1017 Н/м.

Таким образом, наименьшие результирующие и изгибающие электродинамические нагрузки имеют место при расположении шин по вершинам прямоугольного равнобедренного треугольника. Однако это не означает, что электродинамическая стойкость этой конструкции является наиболее высокой (см. задачу 4).

Задача 4. Определить наибольшие электродинамические нагрузки на прямоугольные шины, расположенные ребром, при двухфазном коротком замыкании. Сечение шин 80×8 мм, ударный ток КЗ $i_{уд} = 20$ кА, расстояние между осями шин принято 160, 80, 48, 32 и 16 мм.

В случае двухфазного короткого замыкания влияние третьей (неповрежденной) фазы мало, поэтому для определения удельного усилия используют выражение (2), принимая во внимание,

$$|i_1| = |i_2| = i_{уд}^{(3)}, \text{ отсюда:}$$

$$f = 2 \cdot 10^{-7} k_{\phi} i_j i_2 / a \quad (2)$$

$$f^{(2)} = 2 \cdot 10^{-7} k_{\phi} i_{уд}^{2(2)} / a \quad (3)$$

Определим коэффициент формы K_{ϕ} (рис.3) для шины прямоугольного сечения при отношении ширины шины c к ее высоте $b/h = 8/80 = 0,1$. Предварительно вычислим отношение $(a - b)/(h + b)$ (табл. 4).

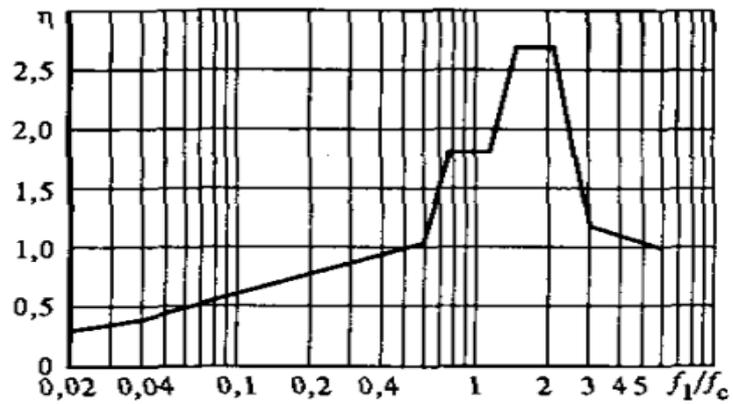


Рис. 5. Зависимость динамического коэффициента от f_1/f_c

Таблица 4. Результаты расчетов электродинамических нагрузок при заданных расстояниях a между прямоугольными шинами 80×8 мм, положенными на ребро при двухфазном КЗ

a , мм	$(a - b)/(h + b)$	k_{ϕ}	f_{max} , Н/м
160	1,72	0,98	490
80	0,82	0,90	900
48	0,45	0,75	1250
32	0,27	0,65	1625
16	0,09	0,38	1900

Значения максимальных нагрузок находим по (3). При $a = 160$ и 16 мм, они составят соответственно

$$f_{max} = 0,98 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot 20^2 \cdot 10^6 / 0,16 = 490 \text{ (Н/м)};$$

$$f_{max} = 0,38 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot 20^2 \cdot 10^6 / 0,016 = 1900 \text{ (Н/м)}.$$

Результаты расчетов электродинамических нагрузок при заданных расстояниях a приведены в табл.

2. Они показывают, что при малых расстояниях между плоскими шинами коэффициент формы существенно влияет на электродинамические нагрузки. Например, при уменьшении расстояния между полосами шин в 10 раз нагрузки возрастают только в 4 р

3.2 Учебным планом предусмотрено выполнение курсового проекта [3]

Задание на курсовой проект выдается с учетом потребностей в генерации Калининградской области [4,5] и тенденций развития мировой энергетики (рис. 5. табл. 6).

Значимость развития энергетики Калининградской области подтверждена нормативными документами РФ: “Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года” [4]. Согласно **Энергетической стратегии РФ**: “Реализация пространственных приоритетов государственной энергетической политики” предполагает:

- повышение устойчивости и надежности энергоснабжения макрорегионов с максимальным, экономически эффективным использованием местных энергетических ресурсов (МЭР), возобновляемых источников энергии (ВИЭ), распределенной генерации;

- гарантированное обеспечение энергетической безопасности Калининградской области.

Следует отметить, что потенциал МЭР и ВИЭ, как в РФ и Калининградской области очень высок.

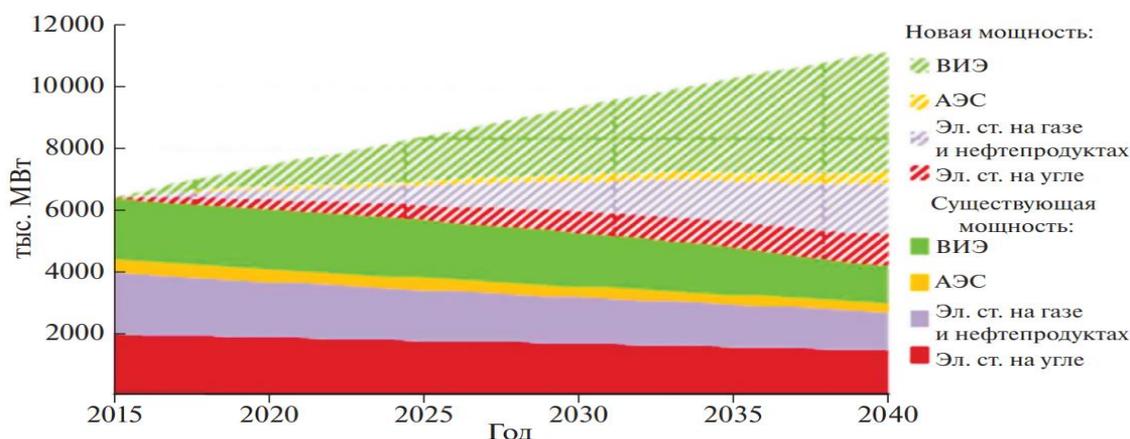


Рис.5. Установленная мощность электростанций в мире [6]

Табл. 6. Потенциал нетрадиционных возобновляемых источников электрической энергии в РФ, млн т у.т./год

Ресурсы	Теоретический потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
Малая гидроэнергетика	402	126	70
Биомасса	468	140	69
Солнечная энергия	2.2×10^6	9676	3
Ветровая энергия	886×10^3	2216	11
Геотермальная энергия	*	11869	114***
Низкопотенциальное тепло	563	194	53
Всего	3.09×10^6	24221**	320

* Теоретический потенциал гидротермальной энергии составляет 22.9 трлн т у.т.

** Технический потенциал приливной энергии трех приливных электростанций (Мезенской, Пенжинской и Тугурской) составляет 253 млрд кВт·ч или 83 млн т у.т. с суммарной электрической мощностью 109 ГВт.

*** Суммарные запасы высокопотенциального теплоносителя с температурой 100°С и выше, представленные паром и пароводяной смесью, соответствуют электрической мощности ГеоТЭС около 1000 МВт.

Табл. 7 - Исходные данные по энергопотенциалу ВИЭ и МЭР Калининградской области

№	Источник ВИЭ и МЭР	Исходные данные
1	Ветровая энергия	Технический потенциал ветровой энергии составляет 14,4 млрд. кВт*ч [8]; 52,3 млрд. кВт*ч [7]
2	Твердые коммунальные отходы	На территории КО оформлено 958 789 т. отходов [9]
3	Солнечная энергия	Технический потенциал солнечной энергии для производства электроэнергии: 2,03 млрд. кВт*ч [7]
4	Торф	Общие запасы торфа – более 3,0 млрд. т [9]
5	Отходы животноводства и птицеводства	Энергетический потенциал биогаза, (Q) 400 ТДж [9]
6	Ивовые плантации	Площадь неиспользуемых сельскохозяйственных земель к 2016 г. составит 39 тыс. га [9]
7	Малая гидроэнергетика	Технический потенциал, 0,2 млрд. кВт*ч/год, [9]
8	Геотермальная энергия	Технический потенциал, 0,007 млрд. кВт*ч/год, [9]

Типовые задания на курсовой проект выдаются на проектирование электрической части электростанций, где в качестве энергоресурса используются ВИЭ или МЭР региона (Таблица 7,8).

Таблица 8. Типовые задания на курсовой проект «Проектирование электрической части электростанции

№	Тип электростанции	Исходный энергоресурс
1	Ветроэлектростанция	Ветровая энергия
2	Гидроэлектростанция	Энергия воды
3	Гидроаккумулирующая электростанция	Энергия воды
4	Гравитационная электростанция	Механическая энергия
4	Ветрогидроаккумулирующая электростанция	Энергия воды и ветра
5	Биоэлектростанция	Твердые коммунальные отходы
6	Биоэлектростанция	Отходы животноводства
7	Биоэлектростанция	Отходы птицеводства
8	Биоэлектростанция	Отходы свиноводства
9	Биоэлектростанция	Сточные воды
10	Биоэлектростанция	Ивовые плантации
11	Теплоэлектростанция	Древесные отходы
12	Геотермальная электростанция	Природное тепло Земли
12	Теплоэлектростанция	Торф

Методические указания по выполнению курсового проекта подробно изложены в [3]. Ниже приводятся ряд рекомендаций к выполнению курсового проекта, целью которых является нацелить студента на использование критериев, приведенных в таблице 2.

Разделы проекта.

– обоснование и расчет мощности электрической станции;

- обоснование и выбор структурной схемы электростанции, схема её подключения к электроэнергетической системе, схемы коммутации;
- выбор проводников, коммутационных аппаратов, генераторов и силовых трансформаторов главной схемы электростанции;
- расчет токов коротких замыканий, обеспечение их ограничения при необходимости, проверка выбранного электрооборудования электрической станции на термическую и электродинамическую стойкость;

Раздел: обоснование и расчет мощности электрической станции

В рамках этого раздела, с учетом типового задания, на основе материалов, изложенных в работах [3,8-12]: выбирается месторасположение электростанции; потребление электрической и тепловой энергии ближайшего населенного пункта; оценка потенциала первичных энергетических ресурсов, который будет использован для преобразования, заключенной в них энергии, в электрическую и тепловую (для теплоэлектростанций, биоэлектростанций); проводится расчет мощности электростанции. Предварительно выбирается число и мощность синхронных генераторов.

Критерий: 2 работа с информацией (Таблица 2). В настоящее время ряд основных ведущих журналов РФ стали открытыми для пользователей (Таблица 9).

Таблица 9. Ведущие и информационные журналы РФ в области энергетики

№	Журнал	Статус	С какого времени открыт
1	Энергетическая политика	K1	Без ограничений
2	Известия РАН Энергетика	Scopus	С 2021 года и ранее
3	Электричество	Scopus	С 2020 года и ранее
4	Теплоэнергетика	Scopus	С 2019 года и ранее
5	Электроэнергия. Передача и распределение.	K2	С 2021 года и ранее
6	Электрические станции	K1	Платный
Другие журналы			
5	Энергоэксперт-информационно-аналитический журнал для специалистов в области энергетики		С 2023 года и ранее
6	Твердые бытовые отходы-информационный журнал в области обращения с отходами и использования вторичного сырья		С 2017 года и ранее

В частности, по результатам поиска информации по биоэлектростанции на основе ТБО статья «Тугов А. Н. ТЭС на ТКО - ключевое решение для России//ТБО. 2015, №8.- С.26-32», посвящена решению задач по утилизации ТКО.

Раздел: обоснование и выбор структурной схемы электростанции, схема её подключения к электроэнергетической системе, схемы коммутации.

1 Критерий. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов

Для обоснования и выбора структурной схемы анализируются: нормальный, ремонтный и послеаварийные режимы работы электростанции [3]. Далее, с учетом схемы системы электроснабжения Калининградской области (СИПР [10]), аналогично для другого региона РФ, выбирают точку подключения электростанции к системе электроснабжения региона, уровни напряжений, линии электропередачи между подстанцией энергосистемы и электростанцией, уточняют количество и мощность синхронных генераторов. Количество линий электропередачи связи электростанций и другое должны удовлетворять требованиям, изложенных в [13]. Подробно данный вопрос изложен в [3].

Раздел: выбор проводников, коммутационных аппаратов, генераторов и силовых трансформаторов главной схемы электростанции.

Критерий 3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта.

Рекомендации - выбор электрооборудования российского производителя.

Раздел: расчет токов коротких замыканий, обеспечение их ограничения при необходимости, проверка выбранного электрооборудования электрической станции на термическую и электродинамическую стойкость.

Методические указания по выполнению данного раздела в полной мере изложены в [3] и соответствуют -**Критерию 4: освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач** (таблица 2).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ И РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Электрические станции и подстанции: учебно-методическое пособие – локальный электронный методический материал по выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника /В.Ф. Белей. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 18с.

2. Проектирование схем электроустановок / Балаков Ю.А., Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. - М.: Издательство МЭИ, 2004 - 288с., ил.

3.Электрические станции и подстанции: учебно-методическое пособие – локальный электронный материал по выполнению курсового проекта для студ. бакалавриата по направлению подгот. 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»/ В. Ф. Белей. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 38 с.

4.Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 года №1523-р “Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года”.

5.Белей В.Ф. Состояние и векторы развития мировой, российской и энергетики Калининградской области // IX БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ [Электронный ресурс]: материалы Международного морского форума в 6 томах. Т.1. “Инновации в науке, образовании и предпринимательстве – 2020”, XVIII Международная научная конференция – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО “КГТУ”, 2022. – С.563-591

6. Волков Э.П. О концепции перестройки электроэнергетики России // Известия РАН. Энергетика. 2019. № 2. С. 3–16.

7. The Global Wind Atlas: A high-resolution dataset of climatologies and associated web-based application; Bulletin of the American Meteorological Society, Volume 104: Issue 8, Pages E1507-E1525, August 2023, DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0075.1>

8.Коцарь, Г. В. Определение перспективных площадок размещения ветроэлектростанций при помощи геоинформационных систем на примере Калининградской области / Г. В. Коцарь // Промышленная энергетика. – 2022. – № 8. – С. 49-59. – DOI 10.34831/EP.2022.58.12.006.

9.Ю.С. Васильев и др. Оценки ресурсов возобновляемых источников энергии в России: справочник – учеб. пособие – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2008. – 250 с.

10. Распоряжение губернатора Калининградской области от 22 августа 2022г. № 41-р “Об утверждении схемы и программы перспективного развития электроэнергетики Калининградской области на 2023 – 2027 годы”

11.Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Калининградской области от 30.01.2024 № 28 “О внесении изменений в приказ Министерства природных ресурсов и экологии Калининградской области от 22 ноября 2019 года № 649 – Территориальная схема обращения с отходами производства и потребления в Калининградской области”

12.Рагулина, И.Р. Биоэнергетический потенциал Калининградской области // Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. географ. наук. БФУ им. И. Канта, 2007. С.24

13. Постановление Правительства РФ от 13.08.2018 N 937 (ред. от 12.04.2024) "Об утверждении Правил технологического функционирования электроэнергетических систем и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации"

4 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Электрические станции и подстанции» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Преподаватель-разработчик – д.т.н., проф. В. Ф. Белей

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен заведующим кафедрой энергетики.

Заведующий кафедрой



В.Ф. Белей

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен методической комиссией ИМТЭС (протокол № 8 от 26.08.2024 г).

Председатель методической комиссии ИМТЭС



О.А. Бельх