МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭиАС
_____ В.Р. Храмшин

04.02.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

САПР В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Направление подготовки (специальность)
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль/специализация) программы
Электроснабжение

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Электроснабжения промышленных предприятий
Курс	3
Семестр	6

Магнитогорск
2025 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 144)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий
30.01.2025 г., протокол № 4

Зав. кафедрой _____ А.В. Варганова

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС
04.02.2025 г., протокол № 3

Председатель _____ В.Р. Храмшин

Рабочая программа составлена:
зав. кафедрой ЭПП, канд. техн. наук _____ А.В. Варганова

Рецензент:
зам. начальника ЭТО
АО «МАГНИТОГОРСКИЙ ГИПРОМЕЗ» _____ А.Ю. Литвинов

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.В. Варганова

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.В. Варганова

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.В. Варганова

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2029 - 2030 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от __ _____ 20__ г. № __
Зав. кафедрой _____ А.В. Варганова

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

формирование у студентов знаний, практических умений и навыков в области проектирования распределительных устройств электростанций и подстанций, электрического освещения, а также в области моделирования режимов систем электроснабжения с использованием современных достижений науки, техники, международного и отечественного опыта в этой области.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина САПР в электроэнергетике входит в часть учебного плана, формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Электрические станции и подстанции

Математические задачи энергетики

Программирование в инженерном деле

Учебная - ознакомительная практика

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Производственная-преддипломная практика

Управление качеством электрической энергии

Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетических системах и сетях

Надежность систем электроснабжения

Smart Grids в городских и промышленных сетях

Электроснабжение

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «САПР в электроэнергетике» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-3 Способен принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования и проводить обоснование проектных решений, а также оформлять техническую документацию на различных стадиях разработки проекта	
ПК-3.1	Разрабатывает и оформляет комплекты проектной и рабочей документации простых узлов системы электроснабжения объектов капитального строительства
ПК-3.2	Выбирает оптимальные технические решения для разработки отдельных разделов на различных стадиях проекта системы электроснабжения объекта капитального строительства
ПК-3.3	Выбирает оборудование для отдельных разделов проекта на различных стадиях проектирования системы электроснабжения объектов капитального строительства
ПК-4 Способен разрабатывать и корректировать документы по эксплуатации электротехнического оборудования	
ПК-4.1	Выполняет чертежи электрических схем и вносит в них изменения.

4 Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

– контактная работа – 54,15 акад. часов:
– аудиторная – 51 акад. часов;
– внеаудиторная – 3,15 акад. часов;
– самостоятельная работа – 36,15 акад. часов;
– в форме практической подготовки – 0 акад. час;
– подготовка к экзамену – 17,7 акад. час

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Раздел 1								
1.1 Общие понятия о САПР: структура, подходы к разработке	6	3			5			ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1
Итого по разделу		3			5			
2. Раздел 2								
2.1 Внедрение САПР для решения задач в области электроэнергетики: история, современные САПР, основные области применения и возможности	6	3			5			ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1
Итого по разделу		3			5			
3. Раздел 3								
3.1 Применение САПР для решения задач в области электроэнергетики	6	2			5			ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1
Итого по разделу		2			5			
4. Раздел 4								
4.1 САПР расчета светотехнической части	6	2		6	5	Выполнение СР-1, подготовка к АКР-1	СР-1, АКР-1	ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1
Итого по разделу		2		6	5			
5. Раздел 5								
5.1 Особенности работы с САПР в электроэнергетике	6	4		8	5	Выполнение СР-2, подготовка к АКР-1	СР-2, АКР-1	ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1
Итого по разделу		4		8	5			
6. Раздел 7								

6.1 САПР расчета и оптимизации режимов систем электроснабжения и электроэнергетических систем	6	3		20	11,15	Выполнение СР-3, подготовка к АКР-1	СР-3, АКР-1	ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1
Итого по разделу		3		20	11,15			
7. Промежуточная аттестация								
7.1 Подготовка к экзамену	6					Подготовка к экзамену	экзамен	ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1
Итого по разделу								
Итого за семестр		17		34	36,15		экзамен	
Итого по дисциплине		17		34	36,15		экзамен	

5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «САПР в электроэнергетике» используются традиционная и модульно-компетентностная технологии.

Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений по курсу «САПР в электроэнергетике» происходит с использованием мультимедийного оборудования.

Лекции проходят в традиционной форме, в форме лекций-консультаций и проблемных лекций. Теоретический материал на проблемных лекциях является результатом усвоения полученной информации посредством постановки проблемного вопроса и поиска путей его решения. На лекциях – консультациях изложение нового материала сопровождается постановкой вопросов и дискуссией в поисках ответов на эти вопросы.

При проведении практических занятиях используются работа в команде и методы IT.

Самостоятельная работа стимулирует студентов в процессе подготовки домашних заданий, при решении задач на практических занятиях, при подготовке к контрольным работам и итоговой аттестации.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Варганова А. В. Системы автоматизированного проектирования в электроэнергетике: автоматизированное создание схем распределительных устройств напряжением 6-220 кВ понизительных подстанций : учебное пособие [для вузов] / А. В. Варганова, Е. А. Панова ; Магнитогорский гос. технический ун-т им. Г. И. Носова. - 2-е изд. - Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2021. - 1 CD-ROM. - URL: https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/3000. - ISBN 978-5-9967-2133-7. - Текст : электронный.

б) Дополнительная литература:

1. Меликов, А. В. Теория надежности элементов электротехнических комплексов и систем электроснабжения : учебное пособие / А. В. Меликов. – Волгоград : ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2019. – 96 с. – ISBN 978-5-4479-0193-6. – Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1087875 (дата обращения: 19.03.2025). – Режим доступа: по подписке.

2. Кирюхин, Ю.А. Проектирование силовых высокочастотных трансформаторов : монография / Ю.А. Кирюхин, В.С. Степанов, С.А. Аршинов. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 152 с. – ISBN 978-5-9729-0312-2. – Текст : электронный. – URL: https://znanium.com/catalog/product/1053407 (дата обращения: 19.03.2025). – Режим доступа: по подписке.

3. Тремясов, В.А. Теория надежности в энергетике. Надежность систем генерации, использующих ветровую и солнечную энергию : учеб. пособие / В.А. Тремясов, Т.В. Кривенко. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – 164 с. - ISBN 978-5-7638-3749-0. – Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1031885 (дата обращения: 19.03.2025). – Режим доступа: по подписке.

4. Журнал «Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика» https://www.powervestniksusu.ru/index.php/PVS.

5. Журнал «Электротехнические системы и комплексы» http://esik.magtu.ru/ru/

в) Методические указания:

Методические указания приведены в приложении 3 к РПД.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
STATISTICA в.6	К-139-08 от 22.12.2008	бессрочно
MathCAD v.15 Education University Edition	Д-1662-13 от 22.11.2013	бессрочно
MS SQL Server Management Studio	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Autodesk AutoCad 2011 Master Suite	К-526-11 от 22.11.2011	бессрочно
АСКОН Компас 3D в.16	Д-261-17 от 16.03.2017	бессрочно
Adobe Reader	свободно распространяемое ПО	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно
LibreOffice	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Linux Calculate	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	URL: https://dlib.eastview.com/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	https://host.megaprolib.net/MP0109/Web
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: http://www1.fips.ru/
Российская Государственная библиотека. К	https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа - мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

2. Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации - доска, мультимедийный проектор, экран.

3. Помещения для самостоятельной работы обучающихся - персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

4. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования - стеллажи, сейфы для хранения учебного оборудования.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
(обязательное)

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

По дисциплине «Системы автоматизированного проектирования в электроэнергетике» предусмотрено проведение аудиторной контрольной работы и 6 индивидуальных заданий для обучающихся.

Аудиторная контрольная работа (АКР):

1. Назовите, какие измерительные приборы и приборы учета должны быть установлены на присоединении ВЛ 220 кВ?
2. Назовите, какие измерительные приборы и приборы учета должны быть установлены на присоединении КЛ 6 кВ?
3. Назовите, какие измерительные приборы и приборы учета должны быть установлены на присоединении ТСН (ввод ВН)?
4. Назовите, какие измерительные приборы и приборы учета должны быть установлены на присоединении синхронного двигателя напряжением выше 1 кВ?
5. Назовите, какие измерительные приборы и приборы учета должны быть установлены на присоединении силового трансформатора с расщепленной обмоткой НН (ввод низкого напряжения)?
6. Какую схему должна предложить САПР в соответствии с требованиями норм проектирования для распределительного устройства ВН проходной подстанции напряжением 35 кВ с 4 присоединениями, при условии, что на РУ предполагаются частые коммутации трансформатора? Назовите номер и полное название схемы.
7. Какую схему должна предложить САПР в соответствии с требованиями норм проектирования для распределительного устройства ВН транзитной подстанции напряжением 35 кВ с 6 присоединениями? Назовите номер и полное название схемы.
8. Какую схему должна предложить САПР в соответствии с требованиями норм проектирования для распределительного устройства СН узловой подстанции напряжением 110 кВ с 5 присоединениями? Назовите номер и полное название схемы.
9. Какую схему должна предложить САПР в соответствии с требованиями норм проектирования для распределительного устройства ВН узловой подстанции напряжением 110 кВ с 12 присоединениями? Назовите номер и полное название схемы.
10. Какую схему должна предложить САПР в соответствии с требованиями норм проектирования для распределительного устройства ВН узловой подстанции напряжением 220 кВ с 4 присоединениями? Назовите номер и полное название схемы.
11. Минимально допустимый ток отключения может быть у выключателей на РУ 10 кВ с $I_{п0}$ = 12,6 кА и $T_а$ = 0,07 с

а)20 кА
б) 25 кА
в) 31,5 кА
г) 50 кА

12. Минимально допустимый номинальный ток выключателя на вводе 10 кВ силового трансформатора ТРДН-25000/110 составляет:

а) 630 А
б) 1000 А
в) 1600 А
г) 2000 А

13. Минимально допустимый номинальный ток выключателя на вводе 110 кВ силового трансформатора ТРДН-25000/110 составляет:

а) 630 А
б) 1000 А
в) 1600 А

г) 2000 А

14. Минимально допустимый ток электродинамической стойкости может быть у выключателей на РУ 220 кВ с $I_{п0}$ = 21 кА и $T_а$ = 0,02 с

а)20 кА

б) 25 кА

в) 31,5 кА

г) 50 кА

15. Минимально допустимый ток отключения может быть у выключателей на РУ 220 кВ с $I_{п0}$ = 21 кА и $T_а$ = 0,02 с

а) 35 кА

б) 50 кА

в) 102 кА

г) 125 кА

16. Минимально допустимый ток электродинамической стойкости может быть у выключателей на РУ 10 кВ с $I_{п0}$ = 12,6 кА и $T_а$ = 0,07 с

а)35 кА

б) 50 кА

в) 102 кА

г) 125 кА

Примерные самостоятельные работы:

СР-1 «САПР светотехнической части электроустановок»

Осуществить расчет прожекторного освещения открытого распределительно устройства подстанции 110/10 кВ с использованием программного обеспечения Dialux, если план подстанции приведен на рисунке. Привести план расстановки прожекторных мачт, указать типы светильников и ламп. Привести план с изображением изолиний.

СР-2 «САПР схем распределительных устройств электростанций и подстанций»

На основании технического задания с использованием САПР «ОРУ CAD» и «ЗРУ CAD»:

- рассчитать технико-экономические показатели;
- выбрать оптимальную схему распределительного устройства главной понизительной подстанции;
- разработать однолинейную схему ГПП;
- осуществить расчет токов короткого замыкания;
- осуществить выбор и проверку оборудования РУ ВН и НН;
- спроектировать собственные нужды подстанции.

1. Общая характеристика района размещения подстанции

1.1	Месторасположение ПС	Урал
1.2	Рельеф площадки ПС	Равнинный
1.3	Грунты	Суглинки

2. Технические показатели ПС

2.1	Мощность трансформаторов	40 МВА
2.2	Тип и количество трансформаторов	2×ТРДН-40000/110
2.3	Главные схемы электрических соединений	Одинарная секционированная
2.4	Количество присоединений на стороне ВН	6

2.5 ЗРУ-10 кВ - 4-х секционное, рассчитанное на установку 52 ячеек вакуумных выключателей

2.6 Количество отходящих линий – 4ВЛ

2.7 ПА принята при количестве присоединений 110кВ более двух

СР-3 «Оптимизация режимов работы систем электроснабжения с собственными источниками электроэнергии»

Для заданной схемы электроснабжения с собственными источниками электроэнергии, осуществить поиск оптимального распределения активных мощностей между генераторами электростанций в ПВК «КАТРАН», если технико-экономические модели турбогенераторов имеют следующий вид:

Технико-экономические модели генераторов

$P_{ном}$ = 6МВт

P, МВт	4	5	6
D_0, м^3	44	47	50
S, руб./м^3	234	235	233

$P_{ном}$ = 12 МВт

P, МВт	8	9	10	11	12
D_0, м^3	61	65	69	74	77
S, руб./м^3	351	358	342	347	354

$P_{ном}$ = 20 МВт

P, МВт	13	15	17	18	19	20
D_0, м^3	115	125	135	140	145	150
S, руб./м^3	270	272	274	269	267	267

$P_{ном}$ = 32 МВт

P, МВт	14	18	20	24	26	30
D_0, м^3	177	195	205	220	229	235
S, руб./м^3	240	240	232	245	241	234

$P_{ном}$ = 40 МВт

P, МВт	25	27	29	30	32	36	39	40
D_0, м^3	163	171	176	182	188	201	212	216
S, руб./м^3	331	335	337	336	332	330	330	329

$P_{ном}$ = 63 МВт

P, МВт	37	40	43	46	48	51	54	60
D_0, м^3	177	189	202	214	222	235	248	260
S, руб./м^3	360	365	362	361	354	353	353	350

$P_{ном}$ = 100 МВт

P, МВт	82	85	86	88	90	92	95	100
D_0, м^3	217	225	229	234	237	248	250	265
S, руб./м^3	321	325	325	333	330	329	327	326

Перечень вопросов для промежуточной аттестации:

1. Перечислите основные цели автоматизации проектирования СЭС. С помощью применения каких технологий их можно достичь?
2. Дайте определение понятиям: проектные операция и процедура, проектные решение и маршрут, этап и стадия проектирования.
3. Какие виды проектных процедур могут быть использованы в САПР?
4. Какие этапы входят в типовую схему проектирования? Приведите их область назначения и основные функции.
5. Какие типовые задачи автоматизации проектирования характерны для ОРУ CAD

и ЗРУ CAD?

6. В чём особенность параллельного (смешанного проектирования)? Для каких энергетических объектов его можно применить?

7. Перечислите преимущества и недостатки технологии CAD/ CAM/CAE. В чём заключаются основные трудности их внедрения в электроэнергетике?

8. Какими свойствами обладает система электроснабжения как объект проектирования? Как они влияют на создание САПР?

9. Какие задачи САПР ОРУ CAD и ЗРУ CAD относятся к формализуемым, а какие – к трудно формализуемым? Какие применяются режимы в работе САПР в зависимости от характера и степени участия человека и использования ЭВМ?

10. В чём особенности нисходящего и восходящего проектирования? Как это учитывается при создании САПР? Приведите примеры.

11. Дайте определения обеспечивающим подсистемам САПР. Как связаны между собой техническое и программное обеспечения САПР ОРУ CAD и ЗРУ CAD?

12. Какие подсистемы САПР можно отнести к обслуживающими, а какие – к проектирующим?

13. Приведите примеры компонентов и комплексов САПР систем электроснабжения.

14. Перечислите основные проблемы проектирования систем электроснабжения. Какое влияние они оказывают на создание САПР ОРУ CAD и ЗРУ CAD?

15. Какая информация необходима для составления ТЭО электрической части электроэнергетического объекта?

16. Какие основные задачи проектирования СЭС необходимо автоматизировать в первую очередь? Почему?

17. Какие этапы и стадии проектирования элементов систем электроснабжения регламентированы? Каким образом их лучше автоматизировать?

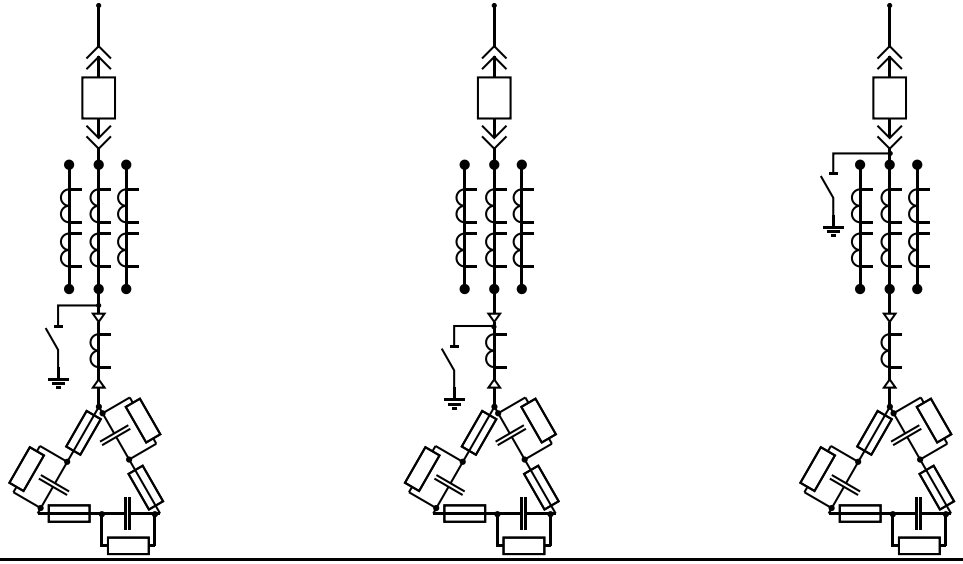
18. Какие промышленные программные пакеты САПР вам известны? Сравните их основные возможности и область применения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(обязательное)

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации
а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенций	Оценочные средства
ПК-3: Способен принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования и проводить обоснование проектных решений, а также оформлять техническую документацию на различных стадиях разработки проекта		
ПК-3.1	Разрабатывает и оформляет комплекты проектной и рабочей документации простых узлов системы электроснабжения объектов капитального строительства	**Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации:** 1. Перечислите основные цели автоматизации проектирования СЭС. С помощью применения каких технологий их можно достичь? 2. Дайте определение понятиям: проектные операция и процедура, проектные решение и маршрут, этап и стадия проектирования. 3. Какие виды проектных процедур могут быть использованы в САПР? 4. Какие этапы входят в типовую схему проектирования? Приведите их область назначения и основные функции. 5. Какие типовые задачи автоматизации проектирования характерны для ОРУ CAD и ЗРУ CAD? 6. В чём особенность параллельного (смешанного проектирования)? Для каких энергетических объектов его можно применить? 7. Перечислите преимущества и недостатки технологии CAD/ CAM/CAE. В чём заключаются основные трудности их внедрения в электроэнергетике? **Задания для самостоятельных работ:** **СР-2 «САПР схем распределительных устройств электростанций и подстанций»** На основании технического задания с использованием САПР «ОРУ CAD» и «ЗРУ CAD»: - разработать однолинейную схему ГПП; - спроектировать собственные нужды подстанции.

Код индикатора	Индикатор достижения компетенций	Оценочные средства
		Общая характеристика района размещения подстанции 1.1 Месторасположение ПС — Урал 1.2 Рельеф площадки ПС — Равнинный 1.3 Грунты — Суглинки **2. Технические показатели ПС** 2.1 Мощность трансформаторов — 40 МВА 2.2 Тип и количество трансформаторов — 2×ТРДН-40000/110 2.3 Главные схемы электрических соединений — Одинарная секционированная 2.4 Количество присоединений на стороне ВН — 6 2.5 ЗРУ-10 кВ - 4-х секционное, рассчитанное на установку 52 ячеек вакуумных выключателей 2.6 Количество отходящих линий - 4 ВЛ 2.7 ПА принята при количестве присоединений 110 кВ более двух **Аудиторная контрольная работа:** Какая из схем выполнена верно: а) б) в)

Код индикатора	Индикатор достижения компетенций	Оценочные средства
		
ПК-3.2	Выбирает оптимальные технические решения для разработки отдельных разделов на различных стадиях проекта системы электроснабжения объекта капитального строительства	**Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации:** 1. Приведите примеры компонентов и комплексов САПР систем электроснабжения. 2. Перечислите основные проблемы проектирования систем электроснабжения. Какое влияние они оказывают на создание САПР ОРУ CAD и ЗРУ CAD? 3. Какие промышленные программные пакеты САПР вам известны? Сравните их основные возможности и область применения. **Задания для самостоятельных работ:** **СР-2 «САПР схем распределительных устройств электростанций и подстанций»** На основании технического задания с использованием САПР «ОРУ CAD» и «ЗРУ CAD»: - рассчитать технико-экономические показатели; - выбрать оптимальную схему распределительного устройства главной понизительной подстанции; Условия задачи приведены в индикаторе 4.1.

Код индикатора	Индикатор достижения компетенций	Оценочные средства

СР-3 «Оптимизация режимов работы систем электроснабжения с собственными источниками электроэнергии»

Для заданной схемы электроснабжения с собственными источниками электроэнергии, осуществить поиск оптимального распределения активных мощностей между генераторами электростанций в ПВК «КАТРАН», если технико-экономические модели турбогенераторов имеют следующий вид:

Технико-экономические модели генераторов

$P_{ном}$ = 6 МВт

P, МВт	4	5	6
D_0, м^3	44	47	50
S, руб./м^3	234	235	233

$P_{ном}$ = 12 МВт

P, МВт	8	9	10	11	12
D_0, м^3	61	65	69	74	77
S, руб./м^3	351	358	342	347	354

$P_{ном}$ = 20 МВт

P, МВт	13	15	17	18	19	20
D_0, м^3	115	125	135	140	145	150
S, руб./м^3	270	272	274	269	267	267

$P_{ном}$ = 32 МВт

P, МВт	14	18	20	24	26	30
D_0, м^3	177	195	205	220	229	235
S, руб./м^3	240	240	232	245	241	234

<table>
<tr><th>Код индикатора</th><th>Индикатор достижения компетенций</th><th>Оценочные средства</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>

$P_{ном}$ = 40 МВт

P, МВт	25	27	29	30	32	36	39	40
D_0, м^3	163	171	176	182	188	201	212	216
S, руб./м^3	331	335	337	336	332	330	330	329

$P_{ном}$ = 63 МВт

P, МВт	37	40	43	46	48	51	54	60
D_0, м^3	177	189	202	214	222	235	248	260
S, руб./м^3	360	365	362	361	354	353	353	350

$P_{ном}$ = 100 МВт

P, МВт	82	85	86	88	90	92	95	100
D_0, м^3	217	225	229	234	237	248	250	265
S, руб./м^3	321	325	325	333	330	329	327	326

Аудиторная контрольная работа:

1. Назовите, какие измерительные приборы и приборы учета должны быть установлены на присоединении ВЛ 220 кВ?
2. Назовите, какие измерительные приборы и приборы учета должны быть установлены на присоединении КЛ 6 кВ?
3. Назовите, какие измерительные приборы и приборы учета должны быть установлены на присоединении ТСН (ввод ВН)?
4. Назовите, какие измерительные приборы и приборы учета должны быть установлены на присоединении синхронного двигателя напряжением выше 1 кВ?
5. Назовите, какие измерительные приборы и приборы учета должны быть установлены на присоединении силового трансформатора с расщепленной обмоткой НН (ввод низкого напряжения)?
6. Какую схему должна предложить САПР в соответствии с требованиями норм проектирования для распределительного устройства ВН проходной подстанции

</td></tr>
</table>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенций	Оценочные средства
		напряжением 35 кВ с 4 присоединениями, при условии, что на РУ предполагаются частые коммутации трансформатора? Назовите номер и полное название схемы. 7. Какую схему должна предложить САПР в соответствии с требованиями норм проектирования для распределительного устройства ВН транзитной подстанции напряжением 35 кВ с 6 присоединениями? Назовите номер и полное название схемы. 8. Какую схему должна предложить САПР в соответствии с требованиями норм проектирования для распределительного устройства СН узловой подстанции напряжением 110 кВ с 5 присоединениями? Назовите номер и полное название схемы. 9. Какую схему должна предложить САПР в соответствии с требованиями норм проектирования для распределительного устройства ВН узловой подстанции напряжением 110 кВ с 12 присоединениями? Назовите номер и полное название схемы. 10.Какую схему должна предложить САПР в соответствии с требованиями норм проектирования для распределительного устройства ВН узловой подстанции напряжением 220 кВ с 4 присоединениями? Назовите номер и полное название схемы.
ПК-3.3	Выбирает оборудование для отдельных разделов проекта на различных стадиях проектирования системы электроснабжения объектов капитального строительства	**Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации:** 1. Какие задачи САПР ОРУ CAD и ЗРУ CAD относятся к формализуемым, а какие – к трудно формализуемым? Какие применяются режимы в работе САПР в зависимости от характера и степени участия человека и использования ЭВМ? 2. В чём особенности нисходящего и восходящего проектирования? Как это учитывается при создании САПР? Приведите примеры. 3. Дайте определения обеспечивающим подсистемам САПР. Как связаны между собой техническое и программное обеспечения САПР ОРУ CAD и ЗРУ CAD? 4. Какие подсистемы САПР можно отнести к обслуживающими, а какие – к проектирующим? **Задания для самостоятельных работ:** **СР-2 «САПР схем распределительных устройств электростанций и подстанций»** На основании технического задания с использованием САПР «ОРУ CAD» и «ЗРУ CAD»: - осуществить расчет токов короткого замыкания;

Код индикатора	Индикатор достижения компетенций	Оценочные средства
		- осуществить выбор и проверку оборудования РУ ВН и НН. Условия задачи приведены в индикаторе 4.1. **Аудиторная контрольная работа:** 1. Минимально допустимый ток отключения может быть у выключателей на РУ 10 кВ с $I_{п0}$ = 12,6 кА и $T_а$ = 0,07 с а)20 кА б) 25 кА в) 31,5 кА г) 50 кА 2. Минимально допустимый номинальный ток выключателя на вводе 10 кВ силового трансформатора ТРДН-25000/110 составляет: а) 630 А б) 1000 А в) 1600 А г) 2000 А 3. Минимально допустимый номинальный ток выключателя на вводе 110 кВ силового трансформатора ТРДН-25000/110 составляет: а) 630 А б) 1000 А в) 1600 А г) 2000 А 4. Минимально допустимый ток электродинамической стойкости может быть у выключателей на РУ 220 кВ с $I_{п0}$ = 21 кА и $T_а$ = 0,02 с а) 20 кА б) 25 кА в) 31,5 кА г) 50 кА 5. Минимально допустимый ток отключения может быть у выключателей на РУ 220 кВ с

Код индикатора	Индикатор достижения компетенций	Оценочные средства
		$I_{п0}$ = 21 кА и $T_а$ = 0,02 с а) 35 кА б) 50 кА в) 102 кА г) 125 кА 6. Минимально допустимый ток электродинамической стойкости может быть у выключателей на РУ 10 кВ с $I_{п0}$ = 12,6 кА и $T_а$ = 0,07 с а) 35 кА б) 50 кА в) 102 кА г) 125 кА
ПК-4: Способен разрабатывать и корректировать документы по эксплуатации электротехнического оборудования		
ПК-4.1	Выполняет чертежи электрических схем и вносит в них изменения.	**Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации:** 1. Какая информация необходима для составления ТЭО электрической части электроэнергетического объекта? 2. Какие основные задачи проектирования СЭС необходимо автоматизировать в первую очередь? Почему? 3. Какие этапы и стадии проектирования элементов систем электроснабжения регламентированы? Каким образом их лучше автоматизировать? **Задания для самостоятельных работ:** **СР-1 «САПР светотехнической части электроустановок»** Осуществить расчет прожекторного освещения открытого распределительно устройства подстанции 110/10 кВ с использованием программного обеспечения Dialux, если план подстанции приведен на рисунке. Привести план расстановки прожекторных мачт, указать типы светильников и ламп. Привести план с изображением изолиний.

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний и выявляющие сформированность компетенций, проводится в экзамена.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме собеседования и включает 2-3 теоретических вопроса.

Показатели и критерии оценивания экзамена:

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

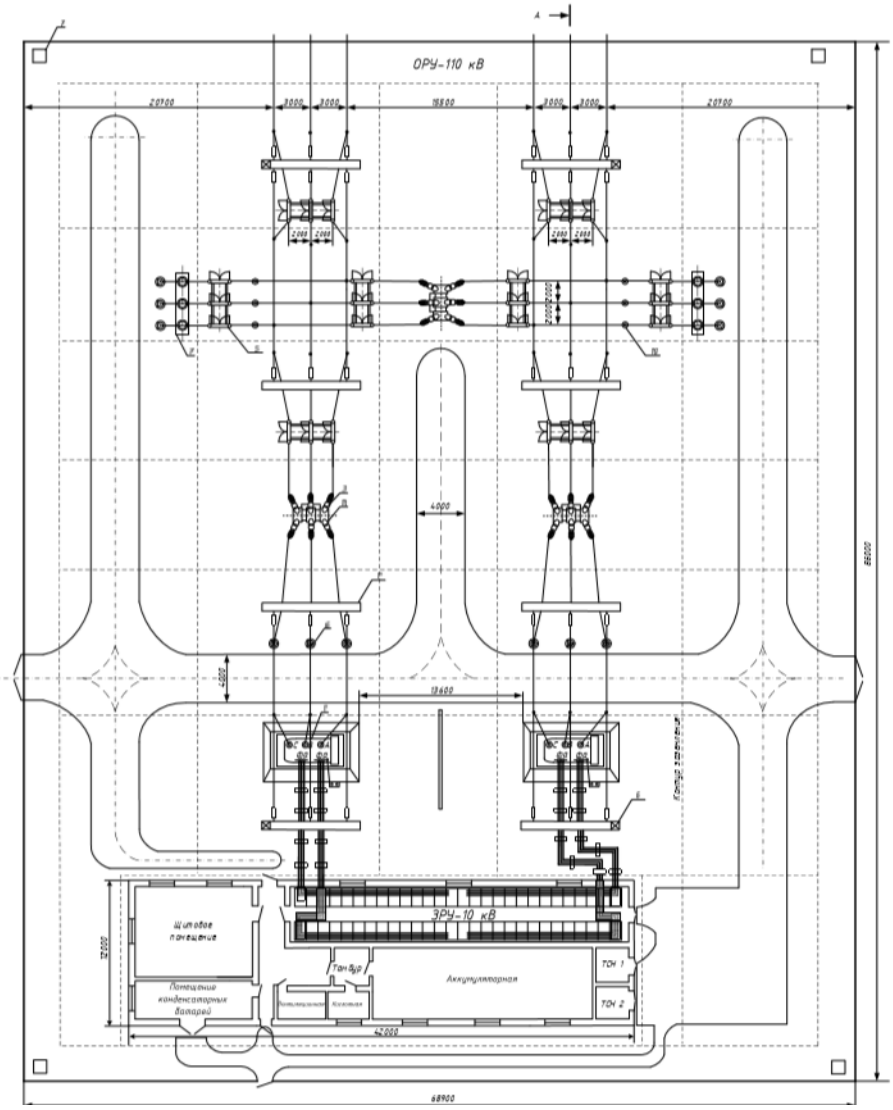
ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(обязательное)

Методические рекомендации по выполнению практических заданий.

СР-1 «САПР светотехнической части электроустановок»

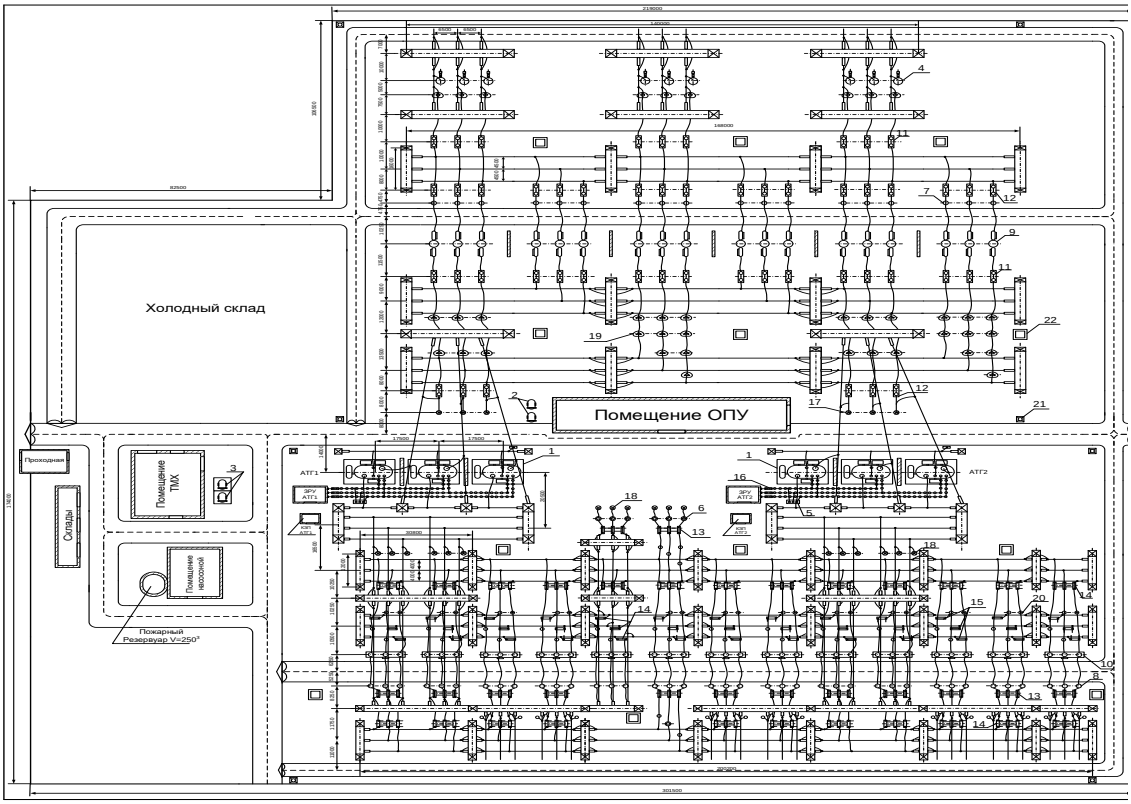
Вариант 1

Осуществить расчет прожекторного освещения открытого распределительно устройства подстанции 110/10 кВ с использованием программного обеспечения Dialux, если план подстанции приведен на рисунке. Привести план расстановки прожекторных мачт, указать типы светильников и ламп. Привести план с изображением изолиний.



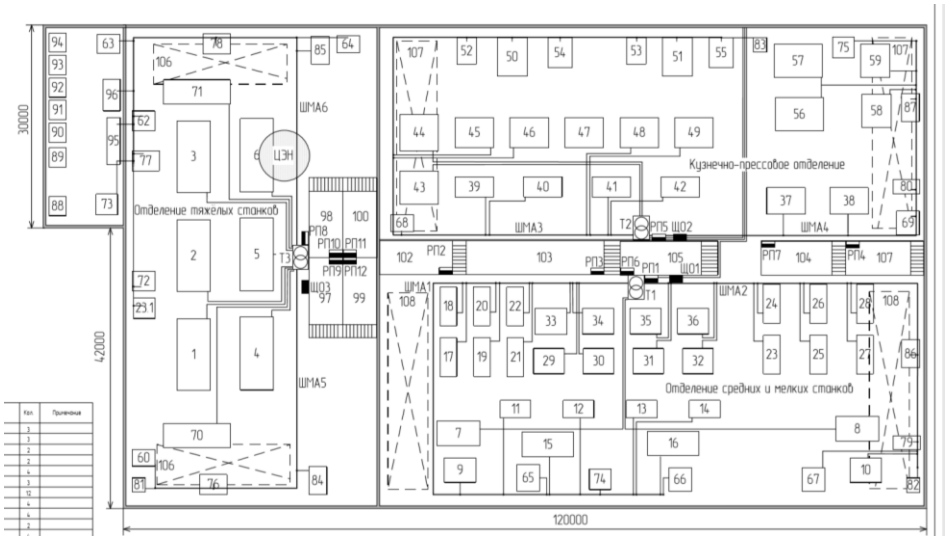
Вариант 2

Осуществить расчет прожекторного освещения открытого распределительно устройства подстанции 500/220 кВ с использованием программного обеспечения Dialux, если план подстанции приведен на рисунке. Привести план расстановки прожекторных мачт, указать типы светильников и ламп. Привести план с изображением изолиний.



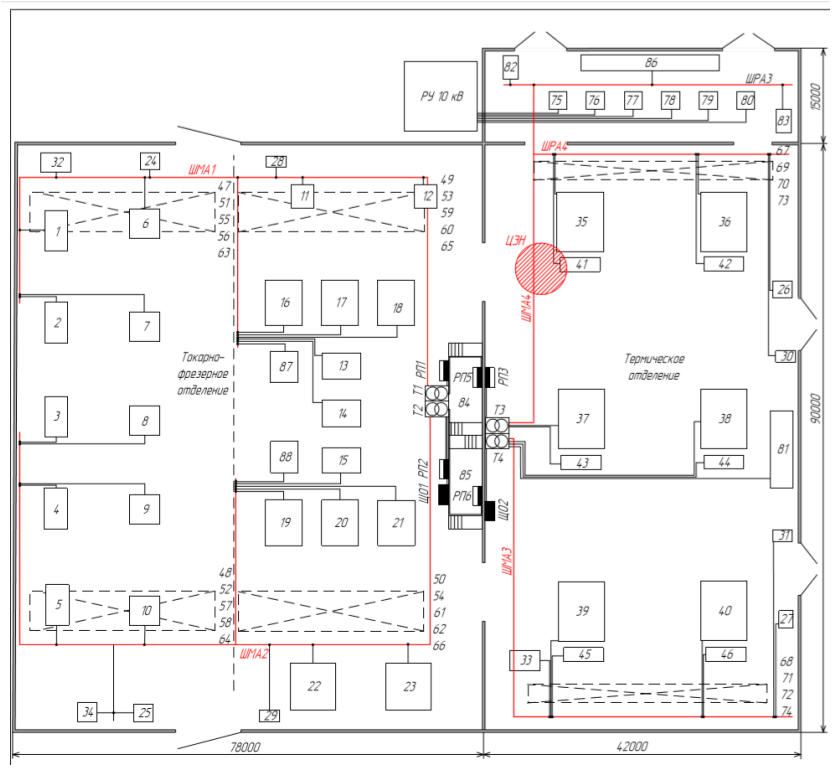
Вариант 3

Осуществить расчет освещения кузнечно-прессового отделения механического цеха с использованием программного обеспечения Dialux, если план цеха приведен на рисунке. Привести план расстановки светильников, указать типы светильников и ламп. Привести план с изображением изолиний.



Вариант 4

Осуществить расчет освещения термического отделения механического цеха с использованием программного обеспечения Dialux, если план цеха приведен на рисунке. Привести план расстановки светильников, указать типы светильников и ламп. Привести план с изображением изолиний.



СР-2 «САПР схем распределительных устройств электростанций и подстанций»

На основании технического задания с использованием САПР «ОРУ CAD» и «ЗРУ CAD»:

- рассчитать технико-экономические показатели;
- выбрать оптимальную схему распределительного устройства главной понизительной подстанции;
- разработать однолинейную схему ГПП;
- осуществить расчет токов короткого замыкания;
- осуществить выбор и проверку оборудования РУ ВН и НН;
- спроектировать собственные нужды подстанции.

Вариант 1

1. Общая характеристика района размещения подстанции

1.1.	Месторасположение ПС	Урал
1.2.	Рельеф площадки ПС	Равнинный
1.3.	Грунты	Суглинки

2. Технические показатели ПС

2.1.	Мощность трансформаторов	40 МВА
2.2.	Тип и количество трансформаторов	2×ТРДН-40000/110
2.3.	Главные схемы электрических соединений	Одинарная секционированная
2.4.	Количество присоединений на стороне ВН	6

2.5. ЗРУ-10 кВ - 4-х секционное, рассчитанное на установку 52 ячеек вакуумных выключателей

2.6. Количество отходящих линий - 4 ВЛ

2.7. ПА принята при количестве присоединений 110 кВ более двух

Вариант 2

1. Общая характеристика района размещения подстанции

1.1.	Месторасположение ПС	Поволжье
1.2.	Рельеф площадки ПС	Равнинный

1.3. Грунты Суглинки

2. Технические показатели ПС

2.1. Мощность трансформаторов 63 МВА

2.2. Тип и количество трансформаторов 2×ТРДЦН-63000/220

2.3. Главные схемы электрических соединений Две рабочие с.ш.

2.4. Количество присоединений на стороне ВН 8

2.5. ЗРУ-10 кВ - 4-х секционное, рассчитанное на установку 38 ячеек вакуумных выключателей

2.6. Количество отходящих линий - 6 ВЛ

2.7. ПА принята при количестве присоединений 220 кВ более двух

Вариант 3

1. Общая характеристика района размещения подстанции

1.1. Месторасположение ПС Западная Сибирь

1.2. Рельеф площадки ПС Равнинный

1.3. Грунты Суглинки

2. Технические показатели ПС

2.1. Мощность трансформаторов 125 МВА

2.2. Тип и количество трансформаторов 2×АТДЦТН-125000/330/110

2.3. Главные схемы электрических соединений 330 кВ - две рабочие с.ш.
110 кВ - две рабочие с обходной с.ш.

2.4. Количество присоединений на стороне ВН 330 кВ - 6
110 кВ - 10

2.5. ЗРУ-10 кВ - 4-х секционное, рассчитанное на установку 46 ячеек вакуумных выключателей

2.6. Количество отходящих линий - 330 кВ - 4; 110 кВ - 8

2.7. ПА принята при количестве присоединений 330 кВ более двух

Вариант 4

1. Общая характеристика района размещения подстанции

1.1. Месторасположение ПС Восточная Сибирь

1.2. Рельеф площадки ПС Равнинный

1.3. Грунты Суглинки

2. Технические показатели ПС

2.1. Мощность трансформаторов 63 МВА

2.2. Тип и количество трансформаторов 2×ТРДН-63000/110

2.3. Главные схемы электрических соединений Шестиугольник

2.4. Количество присоединений на стороне ВН 6

2.5. ЗРУ-10 кВ - 4-х секционное, рассчитанное на установку 30 ячеек вакуумных выключателей

2.6. Количество отходящих линий - 4 ВЛ

2.7. ПА принята при количестве присоединений 110 кВ более двух

Вариант 5

Рассчитать стоимость сооружения подстанции 220 кВ, если:

1. Общая характеристика района размещения подстанции

1.1. Месторасположение ПС Дальний Восток

1.2. Рельеф площадки ПС Равнинный

1.3. Грунты Суглинки

2. Технические показатели ПС

2.1. Мощность трансформаторов 100 МВА

2.2.	Тип и количество трансформаторов	2×ТРДЦН-100000/220
2.3.	Главные схемы электрических соединений	Две рабочие с.ш. с обходной
2.4.	Количество присоединений на стороне ВН	10

2.5. ЗРУ-10 кВ - 4-х секционное, рассчитанное на установку 38 ячеек вакуумных выключателей

2.6. Количество отходящих линий - 8 ВЛ

2.7. ПА принята при количестве присоединений 220 кВ более двух

Вариант 6

1. Общая характеристика района размещения подстанции

1.1.	Месторасположение ПС	Урал
1.2.	Рельеф площадки ПС	Равнинный
1.3.	Грунты	Суглинки

2. Технические показатели ПС

2.1.	Мощность трансформаторов	200 МВА
2.2.	Тип и количество трансформаторов	2×ТРДЦН-200000/330/110
2.3.	Главные схемы электрических соединений	330 кВ - две рабочие с.ш. 110 кВ - две рабочие с обходной с.ш.
2.4.	Количество присоединений на стороне ВН	330 кВ - 8 110 кВ - 12

2.5. ЗРУ-10 кВ - 4-х секционное, рассчитанное на установку 64 ячеек вакуумных выключателей

2.6. Количество отходящих линий - 330 кВ - 6; 110 кВ - 10

2.7. ПА принята при количестве присоединений 330 кВ более двух

Методические указания к выполнению СР-3

По заданной схеме рис.1 в соответствии с заданным вариантом определите:

1)оптимальное распределение активных мощностей генераторов с учетом потерь мощности; без учета потерь мощности в распределительных сетях промышленного энергоузла при различных условиях связи с энергосистемой режимах методом последовательного утяжеления путем сопоставления расчетных значений коэффициента запаса устойчивости с нормативными значениями.

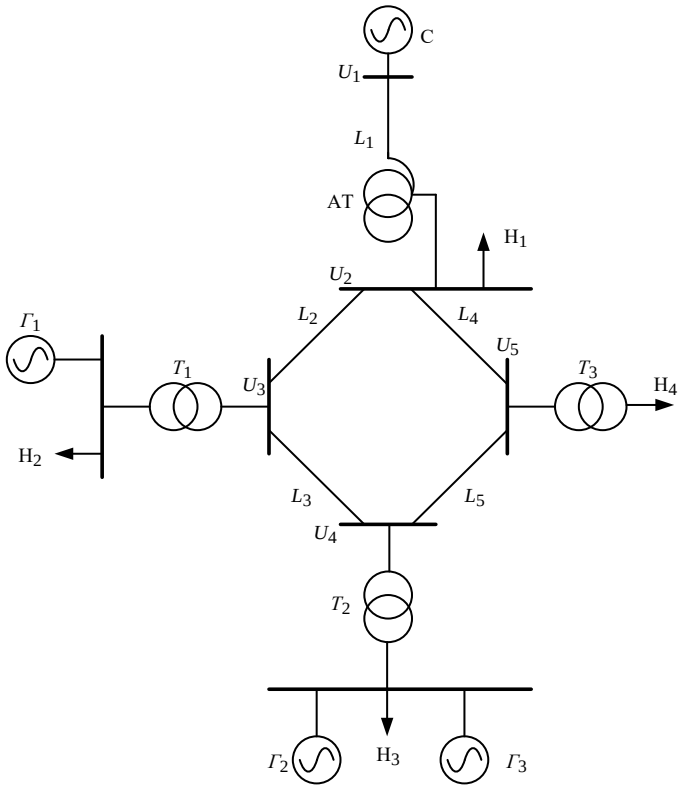


Рис. 1.1.Схема системы электроснабжения промышленного предприятия с собственными источниками электроэнергии

Расчет на примере варианта №21

По исходным данным варианта №21 (прил. 1, 2, 3) начертить схему электроснабжения в ПВК «КАТРАН».

1.Определить оптимальное распределение мощностей между генераторами собственных электростанций промышленного предприятия.

Во вкладке «Генераторы» («Расчёт» → «Параметры» → «Генераторы») установить флажок «Учитывать себестоимость на каждом отрезке характеристики», обязательно во вкладке «Динамика» того же окна «Параметры расчета» сбросить все флажки.

В окне «Оптимизация» (рис. 2) («Оптимизация» → «Оптимизация по активной мощности»):

-во вкладке «Оптимизация» установить «Условия связи с энергосистемой» - «С 525»;

-во вкладке «Оптимизация» установить «Стоимость 1 кВт·час» электроэнергии в соответствии с приложением №2 – 2,82руб.;

-во вкладке «Оптимизация» установить ограничения по приему мощности из энергосистемы - «Равно: 351» (ограничения по приему мощности из энергосистемы определяются автоматически);

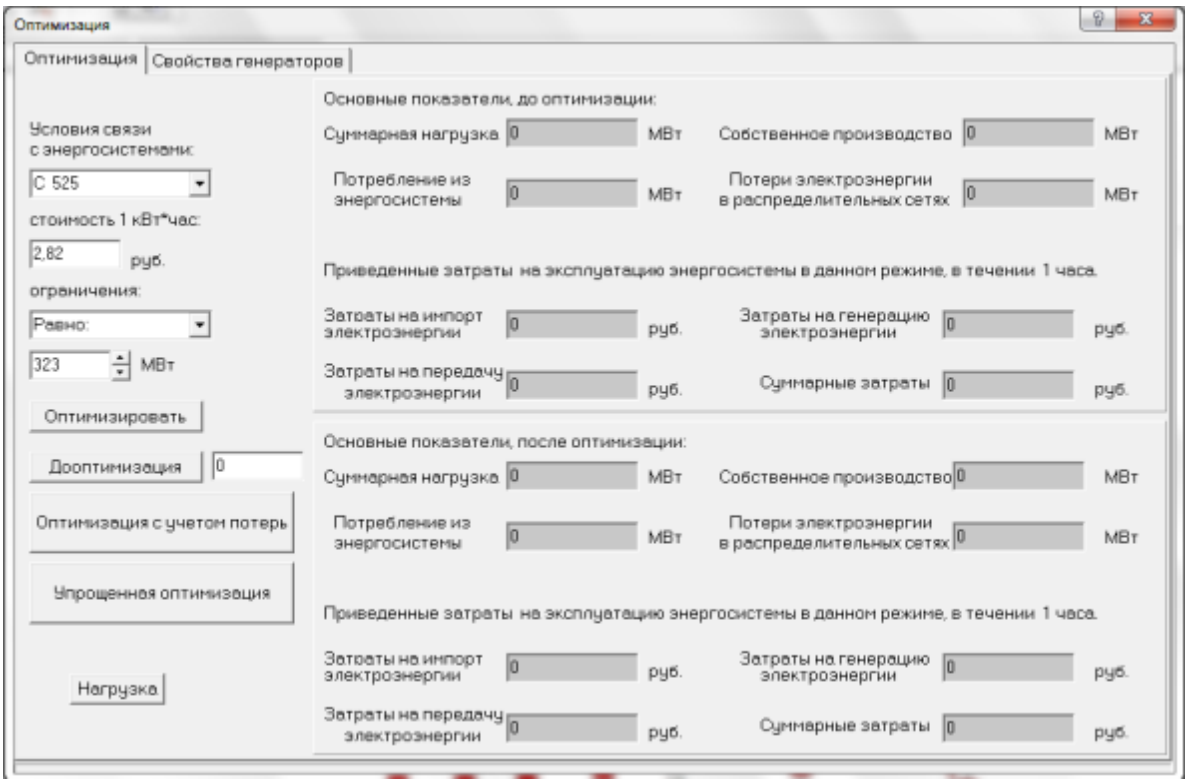


Рис.2.Задание условий связи с энергосистемой

-во вкладке «Свойства генераторов» задать технико-экономические модели для генераторов: $Г_1$ - 2×Т-20 (далее по тексту – $1Г_1$ и $2Г_1$), $Г_2$ - ТВФ-63, $Г_3$ - Т-20 (рис.3) в соответствии с приложением № 4.

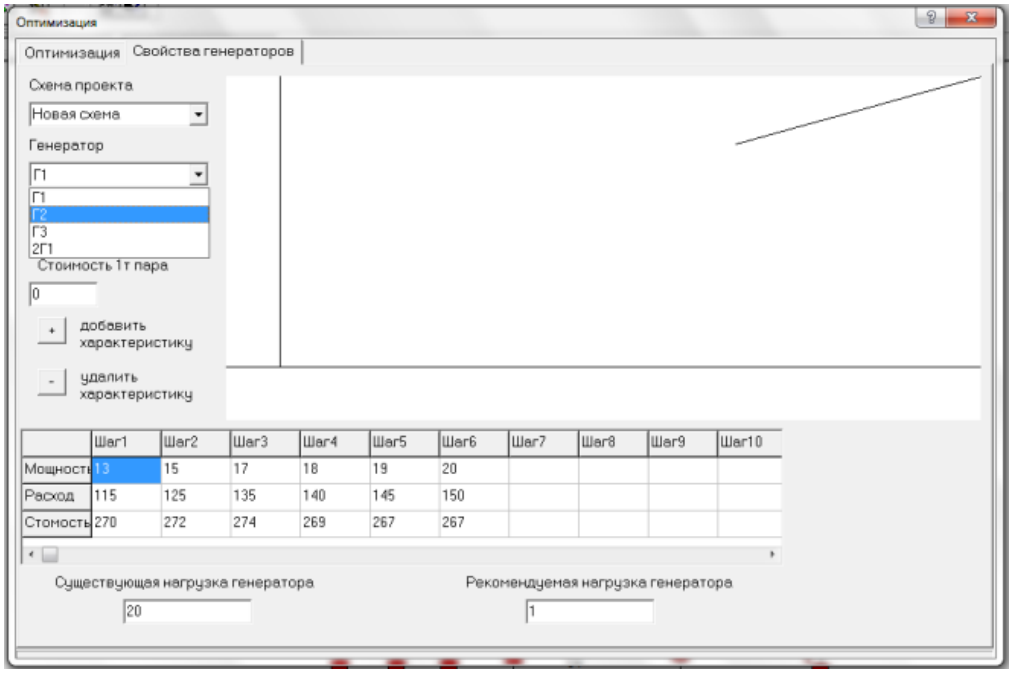


Рис. 3.Задание технико-экономических характеристик генераторов

Нажать кнопку «Оптимизировать» (определение оптимального распределения мощностей между источниками без учета потерь мощности). В результате расчета получим значения в полях «Собственное производство», «Потери электроэнергии в распределительных сетях», «Затраты на импорт электроэнергии», «Затраты на генерацию электроэнергии», «Затраты на передачу электроэнергии», «Суммарные затраты» и «Рекомендуемая нагрузка генераторов» (рис. 4).

Далее, задав шаг 1 МВт и нажав кнопку «Дооптимизация», определить оптимальное распределение мощностей между генераторами промышленных электростанций с учетом потерь активной мощности в распределительных сетях системы электроснабжения предприятия черной металлургии. По результатам расчета зафиксировать те же значения.

Определить значения показателей для существующего режима.

Для каждого значения мощности, принимаемой из энергосистемы, т.е. 351 – 395 МВт, с шагом 1 МВт повторить расчеты. Полученные значения свести в табл. 1 – 2.

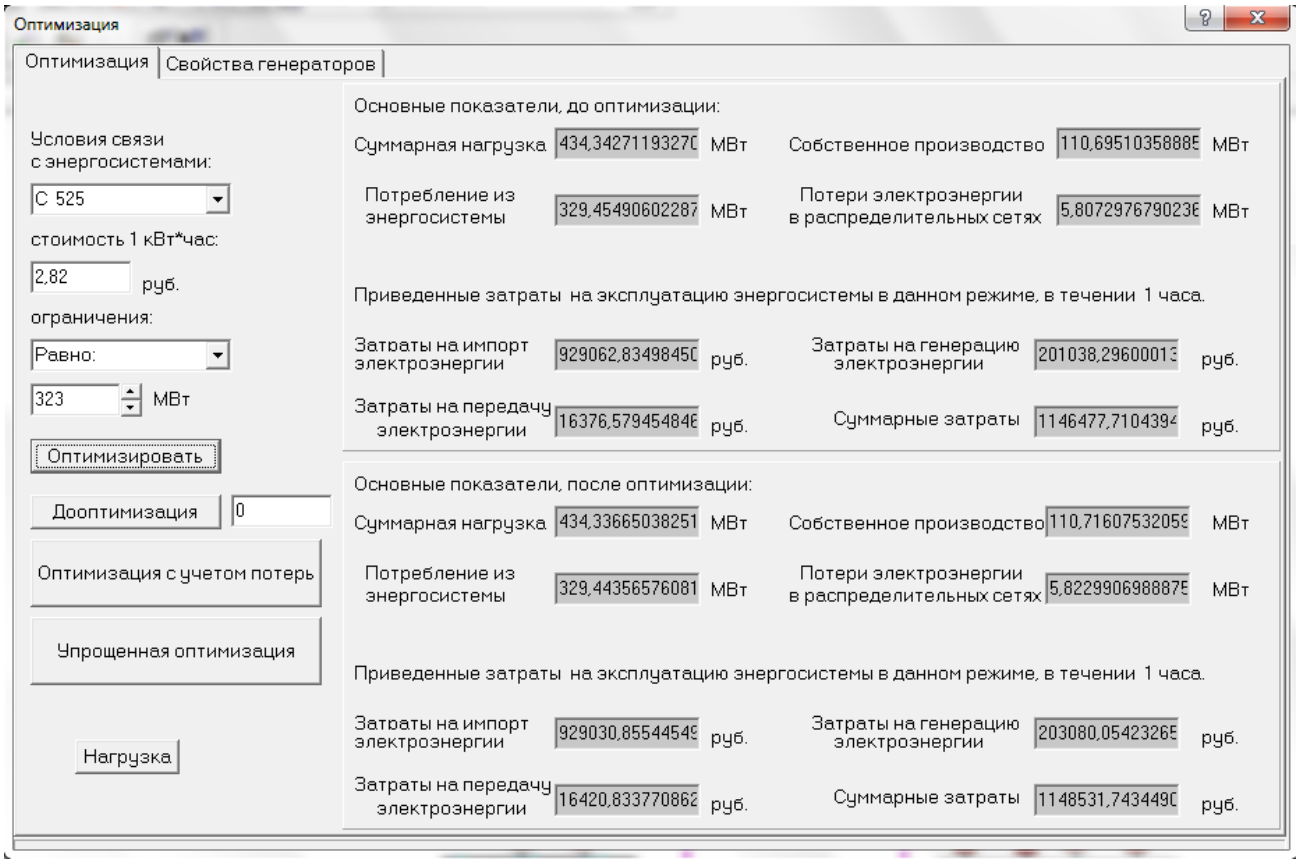


Рис.4.Оптимизация режима системы электроснабжения промышленного предприятия

Таблица 1

Результаты расчета

Прием из системы, МВт	Собственное производство, МВт	Потери, МВт	Затраты на прием э/э, руб.	Затраты на передачу э/э, руб.	Затраты на генерацию э/э, руб.	Суммарные затраты, руб.
Существующий режим						
360	111,342	3,911	1024605,07	11029,26	201550,63	1237184,96
Оптимальный режим без учета потерь						
351	120,351	3,769	1000857,74	10627,48	211150	1222635,22
352	119,349	3,782	1003505,31	10665,93	209890,93	1224062,17
353	118,349	3,8	1006141,94	10716,11	208635,38	1225493,43
354	117,35	3,818	1008776,89	10766,81	208055,33	1227599,03
355	116,35	3,836	1011409,31	10817,19	207355,63	1229582,13
356	115,35	3,854	1014040,89	10868,95	206655,88	1231565,72
357	114,35	3,873	1016670,78	10921,25	205956,06	1233548,1
358	113,35	3,891	1019298,15	10973,26	205256,19	1235527,61
359	112,35	3,91	1021924,68	11026,67	204556,27	1237507,62
360	111,35	3,929	1024548,69	11079,8	203910,93	1239539,42
361	110,35	3,948	1027171,85	11134,34	202380,87	1240687,06

…						
395	76,31	4,603	1115985,77	12980,85	158881,78	1287848,4
Оптимальный режим с учетом потерь						
351	120,351	3,769	1000857,74	10627,48	211150	1222635,22
352	119,349	3,782	1003505,31	10665,93	209890,93	1224062,17
353	118,349	3,8	1006141,94	10716,11	208635,38	1225493,43
354	117,35	3,818	1008776,89	10766,81	208055,33	1227599,03
355	116,348	3,832	1011421,93	10806,06	206800,69	1229028,68
356	115,346	3,846	1014064,45	10845,72	205463,16	1230373,33
357	114,344	3,86	1016704,44	10885,82	204125,63	1231715,89
358	113,344	3,878	1019336,87	10936,8	202790,74	1233064,41
359	112,34	3,889	1021976,86	10967,31	202327,54	1235271,71
360	111,338	3,904	1024609,28	11008,73	200714,45	1236332,46
361	110,35	3,948	1027171,85	11134,34	202380,87	1240687,06
…						
395	76,31	4,603	1115985,77	12980,85	158881,78	1287848,4

Таблица 2

Рекомендуемые значения загрузки генераторов

Прием из системы, МВт	$Г_1$, МВт	$Г_2$, МВт	$Г_3$, МВт	$Г_4$, МВт	$1Г_1$, МВт	$Г_2$, МВт	$Г_3$, МВт	$2Г_1$, МВт
	Оптимальный режим без учета потерь				Оптимальный режим с учетом потерь			
360	20	60	20	20	20	60	20	20
351	20	60	20	19	20	60	20	20
352	20	60	19	19	20	60	19	19
353	20	59	19	19	20	59	19	19
354	20	58	19	19	19	59	19	19
355	20	57	19	19	18	59	19	19
356	20	56	19	19	18	59	19	18
357	20	55	19	19	18	59	18	18
358	20	54	19	19	15	59	19	19
359	20	53	19	19	14	59	19	19
360	20	52	19	19	20	52	19	19
361	20	60	20	20	20	60	20	20
…	…				…			
395	13	37	13	13	13	37	13	13

Приложение № 1

Устанавливаемые линии электропередачи в соответствии с номером варианта

№ вари-анта	Длины линий, км					Марка провода, число проводов в фазе				
	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
1	300	20	43	44	59	2×АС-300/39	2×АС-240/32	АС-240/32	2×АС-240/32	АС-240/32
2	190	25	38	69	24	2×АС-400/27	2×АС-300/39	АС-300/39	2×АС-240/32	АС-300/39
3	200	30	33	64	30	2×АС-500/64	2×АС-400/27	АС-240/32	2×АС-240/32	АС-240/32
4	310	35	28	59	26	2×АС-300/39	2×АС-240/32	АС-300/39	2×АС-240/32	АС-300/39
5	180	40	23	54	42	2×АС-400/27	2×АС-300/39	АС-240/32	2×АС-300/39	АС-240/32
6	210	45	21	49	58	2×АС-500/64	2×АС-400/27	АС-300/39	2×АС-400/27	АС-300/39
7	320	50	26	44	64	2×АС-300/39	2×АС-240/32	АС-240/32	2×АС-240/32	АС-240/32
8	170	55	31	39	60	2×АС-400/27	2×АС-300/39	АС-300/39	2×АС-300/39	АС-300/39
9	220	60	36	34	56	2×АС-500/64	2×АС-400/27	АС-240/32	2×АС-400/27	АС-240/32
10	330	65	41	29	52	2×АС-300/39	2×АС-240/32	АС-300/39	2×АС-240/32	АС-300/39
11	130	20	46	24	48	2×АС-400/27	2×АС-300/39	АС-240/32	2×АС-300/39	АС-240/32
12	230	35	51	22	44	2×АС-500/64	2×АС-400/27	АС-300/39	2×АС-400/27	АС-300/39
13	340	60	56	27	40	2×АС-300/39	2×АС-240/32	АС-240/32	2×АС-240/32	АС-240/32
14	140	53	61	32	36	2×АС-400/27	2×АС-300/39	АС-300/39	2×АС-300/39	АС-300/39
15	240	28	66	37	32	2×АС-500/64	2×АС-400/27	АС-240/32	2×АС-400/27	АС-240/32
16	350	33	31	42	28	2×АС-300/39	2×АС-240/32	АС-300/39	2×АС-240/32	АС-300/39
17	150	68	26	47	24	2×АС-400/27	2×АС-300/39	АС-240/32	2×АС-300/39	АС-240/32
18	250	63	61	52	20	2×АС-500/64	2×АС-400/27	АС-300/39	2×АС-400/27	АС-300/39
19	360	58	32	57	19	2×АС-300/39	2×АС-240/32	АС-240/32	2×АС-240/32	АС-240/32
20	160	53	37	62	18	2×АС-400/27	2×АС-300/39	АС-300/39	2×АС-300/39	АС-300/39
21	260	48	42	67	17	2×АС-500/64	2×АС-400/27	АС-240/32	2×АС-400/27	АС-240/32

Приложение №2

Устанавливаемые трансформаторы в соответствии с номером варианта

№ варианта	Марки трансформаторов				Степенные показатели нагрузки				Стоимость 1 кВт·ч
	АТ	T_1	T_2	T_3	$P(f)$	$P(U)$	$Q(f)$	$Q(U)$	руб/кВт·ч
1	АТ-801000/500/220/10	ТРДН-63000/220/10	ТРДЦН-100000/220/10	2×ТРДН-40000/220/10	2	1	0	2	2,7
2		2×ТРДН-40000/220/10	ТРДЦТН-160000/220/10	2×ТРДЦН-63000/220/10	1	0	1	1	2,3
3		2×ТРДН-40000/220/10	2×ТРДЦН-63000/220/10	2×ТРДЦН-630000/220/10	2	1	2	1	2
4		ТРДЦН-100000/220/10	ТРДЦН-160000/220/10	2×ТРДЦН-63000/220/10	1	0	0	2	2,4
5		ТРДЦН-160000/220/10	ТРДЦН-160000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	2	1	1	2	3,0
6		2×ТРДЦН-63000/220/10	ТРДЦН-160000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	1	0	2	1	2,2
7		ТРДЦН-100000/220/10	ТРДЦН-160000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	2	1	0	2	2,0
8		2×ТРДН-40000/220/10	ТРДЦН-160000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	1	0	1	1	2,1
9		2×ТРДН-40000/220/10	2×ТРДЦН-63000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	2	1	2	2	2,7
10		2×ТРДН-40000/220/10	ТРДЦН-100000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	1	0	0	2	2,5
11		2×ТРДН-40000/220/10	ТРДЦН-100000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	2	0	1	1	2,4
12		ТРДЦН-100000/220/10	ТРДЦН-100000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	1	1	2	1	3,0
13		2×ТРДЦН-63000/220/10	2×ТРДН-40000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	2	0	0	2	2,2
14		ТРДЦН-100000/220/10	2×ТРДЦН-63000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	1	1	1	2	2,0
15		2×ТРДЦН-63000/220/10	2×ТРДН-40000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	2	0	2	1	2,1
16		2×ТРДН-40000/220/10	2×ТРДН-40000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	1	1	0	2	2,7
17		2×ТРДН-40000/220/10	2×ТРДЦН-63000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	2	0	1	1	2,3
18		ТРДЦН-63000/220/10	2×ТРДЦН-63000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	1	1	2	2	2
19		ТРДЦН-63000/220/10	2×ТРДЦН-63000/220/10	2×ТРДЦН-100000/220/10	2	0	0	1	2,4
20		ТРДЦН-63000/220/10	ТРДЦН-160000/220/10	2×ТРДЦН-40000/220/10	1	1	1	2	3,0
21		ТРДЦН-100000/220/10	ТРДЦН-160000/220/10	2×ТРДЦН-63000/220/10	2	0	2	2	2,8

Приложение №3

Устанавливаемые генераторы и нагрузки в соответствии с номером варианта

№ варианта	Нагрузки, МВА				Параметры генераторов								
					$Г_1$			$Г_2$			$Г_3$		
	$Н_1$	$Н_2$	$Н_3$	$Н_4$	Марка	$P_д$, МВт	$Q_д$, Мвар	Марка	$P_д$, МВт	$Q_д$, Мвар	Марка	$P_д$, МВт	$Q_д$, Мвар
1	100+j100	50+j40	90+j50	50+j60	2×Т-20	18/17	13/10	ТВС-32	30	20	2×Т-12	12/10	7/7
2	120+j120	60+j60	100+j70	70+j70	2×Т-20	18/21	12/8	Т-12	11	6	2×ТВС-32	29/25	17/15
3	130+j110	80+j30	110+j60	80+j70	ТВФ-63	55	35	ТВС-32	30	20	2×Т-12	11/12	8/7
4	140+j100	80+j40	120+j65	90+j80	2×Т-20	20/17	14/10	ТВФ-63	60	30	Т-20	19	11
5	150+j40	100+j40	130+j70	100+j80	ТВФ-63	60	40	2×ТВС-32	30/28	19/17	Т-12	11	9
6	160+j60	90+j50	125+j40	110+j70	ТВФ-63	55	30	ТВФ-63	50	25	2×Т-12	12/9	5/6
7	170+j50	80+j40	115+j90	120+j80	2×Т-20	19/16	14/10	ТВС-32	30	18	2×Т-20	18/16	11/10
8	180+j70	70+j50	105+j75	130+j110	ТВФ-40	35	21	2×ТВС-32	30/27	18/16	Т-12	11	5
9	190+j80	60+j35	90+j50	140+j100	ТВФ-40	37	22	2×Т-20	18/21	10/9	ТВС-32	28	19
10	200+j90	50+j50	95+j30	150+j90	ТВС-32	30	15	2×Т-6	6/4	3/2	ТВС-63	58	30
11	100+j120	65+j45	85+j65	160+j90	ТВФ-40	37	20	2×Т-12	11/9	7/6	ТВС-32	31	15
12	110+j110	70+j50	80+j50	155+j110	2×Т-20	19/16	10/12	ТВФ-40	38	21	Т-12	10	5
13	120+j100	85+j40	75+j35	150+j100	2×ТВС-32	29/26	18/15	2×Т-20	20/17	10/11	Т-6	5	3
14	130+j90	90+j45	70+j40	140+j95	ТВФ-63	60	35	Т-20	18	10	ТВС-32	28	15
15	140+j80	88+j58	65+j60	130+j90	2×ТВС-32	28/25	15/14	2×Т-20	19/17	10/8	Т-6	4	2
16	150+j70	73+j38	68+j50	120+j80	ТВФ-40	37	20	Т-20	17	9	2×Т-6	4/6	2/3
17	160+j60	68+j32	78+j55	145+j75	2×Т-20	18/17	8/9	ТВС-32	28	15	2×Т-12	10/11	5/7
18	170+j50	58+j25	85+j60	135+j60	ТВФ-100	100	100	ТВФ-100	100	100	ТВФ-100	100	100
19	180+j40	48+j20	90+j40	125+j120	ТВС-32	30	14	ТВФ-63	58	30	Т-6	5	2
20	190+j30	55+j20	100+j78	60+j50	ТВС-32	27	12	2×Т-20	17/21	8/11	ТВС-32	29	14
21	200+j20	63+j30	120+j89	60+j64	2×Т-20	20/15	10/8	ТВФ-63	58	25	Т-20	18	9

Приложение №4

Технико-экономические модели генераторов

$P_{ном}$ = 6 МВт

P, МВт	4	5	6
D_0, м^3	44	47	50
S, руб./м^3	234	235	233

$P_{ном}$ = 12 МВт

P, МВт	8	9	10	11	12
D_0, м^3	61	65	69	74	77
S, руб./м^3	351	358	342	347	354

$P_{ном}$ = 20 МВт

P, МВт	13	15	17	18	19	20
D_0, м^3	115	125	135	140	145	150
S, руб./м^3	270	272	274	269	267	267

$P_{ном}$ = 32 МВт

P, МВт	14	18	20	24	26	30
D_0, м^3	177	195	205	220	229	235
S, руб./м^3	240	240	232	245	241	234

$P_{ном}$ = 40 МВт

P, МВт	25	27	29	30	32	36	39	40
D_0, м^3	163	171	176	182	188	201	212	216
S, руб./м^3	331	335	337	336	332	330	330	329

$P_{ном}$ = 63 МВт

P, МВт	37	40	43	46	48	51	54	60
D_0, м^3	177	189	202	214	222	235	248	260
S, руб./м^3	360	365	362	361	354	353	353	350

$P_{ном}$ = 100 МВт

P, МВт	82	85	86	88	90	92	95	100
D_0, м^3	217	225	229	234	237	248	250	265
S, руб./м^3	321	325	325	333	330	329	327	326