



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. Храппин

26.01.2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Направление подготовки (специальность)
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль/специализация) программы
Интеллектуальные системы электроснабжения

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения
очная

| | |
|---------------------|---|
| Институт/ факультет | Институт энергетики и автоматизированных систем |
| Кафедра | Электроснабжения промышленных предприятий |
| Курс | 2 |
| Семестр | 3 |

Магнитогорск
2022 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 147)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий
25.01.2022, протокол № 5

Зав. кафедрой  Г.П. Корнилов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС
26.01.2022 г. протокол № 5


Председатель  В.Р. Храмппин

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры ЭИП, канд. техн. наук  А.В. Варганова

доцент кафедры ЭИП, канд. техн. наук  А.Н. Шеметов

Рецензент:

начальник ЦЭСиП ЦАО «ММК», канд. техн. наук  Н.А. Николаев



Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2022 - 2023 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Г.П. Корнилов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Г.П. Корнилов

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

формирование у студентов знаний, практических умений и навыков в области управления системами электроснабжения с использованием современных достижений науки, техники, международного и отечественного опыта в этой области

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Интеллектуальные системы электроснабжения входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

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

Моделирование электротехнических комплексов и систем

Программное обеспечение систем электроснабжения

Анализ и управление электропотреблением

Компьютерные, сетевые и информационные технологии

Энергосбережение и энергоменеджмент

Исследование и моделирование систем электроснабжения

Цифровая электроэнергетика

Технико-экономические расчеты в электроэнергетике

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

Производственная - научно-исследовательская работа

Производственная - проектная практика

Производственная-преддипломная практика

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

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

В результате освоения дисциплины (модуля) «Интеллектуальные системы электроснабжения» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции |
|----------------|--|
| ПК-5 | Способен управлять режимом работы энергосистемы, электрической сети, системы электроснабжения |
| ПК-5.1 | Выполняет оценку текущего и прогнозируемого электроэнергетического режима энергосистемы с целью принятия решения о реализации мер по поддержанию частоты, величин перетоков активной мощности, токовой нагрузки линий и допустимого уровня напряжения, минимального необходимого резерва активной мощности и места его размещения; определения объема и эффективности соответствующих управляющих воздействий и создание соответствующих записей об управлении электроэнергетическим режимом энергосистемы |
| ПК-5.2 | Принимает решения о реализации мер по предотвращению развития и ликвидации нарушения нормального режима электрической части энергосистемы и определении объема и эффективности соответствующих управляющих воздействий путем выполнения анализа оперативной информации об авариях и нештатных ситуациях в энергосистеме и оценки текущего и прогнозируемого электроэнергетического режима энергосистемы. |

| | |
|--------|---|
| ПК-5.3 | Разрабатывает программы переключений на вывод в ремонт и ввод в работу электроустановок, оценивает текущий и прогнозируемый электроэнергетический режим энергосистемы для принятия решения по диспетчерским заявкам о разрешении вывода в ремонт и ввода в работу электрооборудования, по поддержанию и подготовке электроэнергетического режима на время операций по выводу в ремонт и вводу в работу, созданию наиболее надежной оперативной схемы, оценивает достаточность мер, обеспечивающих надежность работы энергосистемы, и создает соответствующие записей об управлении электроэнергетическим режимом энергосистемы. |
|--------|---|

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 73 акад. часов;
- аудиторная – 68 акад. часов;
- внеаудиторная – 5 акад. часов;
- самостоятельная работа – 35,3 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 35,7 акад. час

Форма аттестации - курсовая работа, 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 Тенденции развития мировой и Российской энергетики | 3 | 2 | | | 3 | Изучение вопросов для самостоятельной работы | Экзамен | ПК-5.1, ПК-5.2 |
| Итого по разделу | | 2 | | | 3 | | | |
| 2. Раздел 2 | | | | | | | | |
| 2.1 Интернет энергии. Малая распределенная генерация | 3 | 12 | | 16/4И | 2,3 | Изучение вопросов для самостоятельной работы Выполнение курсовой работы | Экзамен Курсовая работа | ПК-5.1, ПК-5.2 |
| Итого по разделу | | 12 | | 16/4И | 2,3 | | | |
| 3. Раздел 3 | | | | | | | | |
| 3.1 Особенности режимов работы Smart Grid. Преимущества Smart Grid по сравнению с традиционной ОЭС | 3 | 6 | | 6/4И | 5 | Изучение вопросов для самостоятельной работы Выполнение курсовой работы | Экзамен Курсовая работы | ПК-5.1, ПК-5.2 |
| Итого по разделу | | 6 | | 6/4И | 5 | | | |
| 4. Раздел 4 | | | | | | | | |
| 4.1 Аппаратное обеспечение интеллектуальных систем электроснабжения. Автоматика и телемеханика. Смарт-счетчики. АИИС КУЭ. | 3 | 6 | | 6/4И | 5 | Изучение вопросов для самостоятельной работы Выполнение курсовой работы | Экзамен Курсовая работа | ПК-5.1, ПК-5.2 |
| Итого по разделу | | 6 | | 6/4И | 5 | | | |
| 5. Раздел 5 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|---|----|--|--------|------|--|-----------------------------|-------------------|
| 5.1 Основные интерфейсы передачи данных для систем интеллектуального учета энергоресурсов | 3 | 4 | | 2 | 5 | Изучение вопросов для самостоятельной работы Выполнение курсовой работы | Экзамен Курсовая работа | ПК-5.1, ПК-5.2 |
| Итого по разделу | | 4 | | 2 | 5 | | | |
| 6. Раздел 6 | | | | | | | | |
| 6.1 Ключевые задачи, решаемые стейкхолдерами при внедрении интеллектуальных систем электроснабжения | 3 | 4 | | 4 | 5 | Изучение вопросов для самостоятельной работы Выполнение курсовой работы | Экзамен Курсовая работа | ПК-5.1, ПК-5.2 |
| Итого по разделу | | 4 | | 4 | 5 | | | |
| 7. Промежуточная аттестация | | | | | | | | |
| 7.1 Подготовка к экзамену | 3 | | | | 10 | Подготовка к защите курсовой работы Подготовка к экзамену | Курсовая работа Экзамен | ПК-5.1, ПК-5.2 |
| Итого по разделу | | | | | 10 | | | |
| Итого за семестр | | 34 | | 34/12И | 35,3 | | экзамен,кр | |
| Итого по дисциплине | | 34 | | 34/12И | 35,3 | | курсовая работа, экзамен | |

5 Образовательные технологии

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

Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений по курсу «Интеллектуальные системы электроснабжения» 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 ИТ.

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. Бухгольц, Б. М. Smart Grids - основы и технологии энергосистем будущего / Б. М. Бухгольц, З. А. Стычински; пер. с англ. : науч. ред. перевода Ю. В. Шаров, П. Ю. Коваленко, К. А. Осинцев; под общ. ред. Н. И. Воропая - Москва : Издательский дом МЭИ, 2017. - 461 с. - ISBN 978-5-383-01228-4. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383012284.html> (дата обращения: 22.06.2022). - Режим доступа : по подписке.

б) Дополнительная литература:

1. Манусов, В. З. Применение методов искусственного интеллекта в задачах управления режимами электрических сетей Smart Grid : монография / В. З. Манусов, Н. Хасанзода, П. В. Матренин. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 240 с. (Серия "Монографии НГТУ") - ISBN 978-5-7782-3911-1. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778239111.html> (дата обращения: 22.06.2022). - Режим доступа : по подписке.

2. Бурман, А. П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем : учебное пособие / Бурман А. П. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2017. - ISBN 978-5-383-01189-8. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011898.html> (дата обращения: 22.06.2022). - 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: 22.06.2022). – Режим доступа: по подписке.

4. Журнал «Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика»

<https://vestnik.susu.ru/power/issue/archive> (дата обращения: 22.06.2022).

5. Журнал «Электротехнические системы и комплексы» <http://esik.magtu.ru/ru/> (дата обращения: 22.06.2022).

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 Windows 7 Professional(для классов) | Д-1227-18 от 08.10.2018 | 11.10.2021 |
| MS Windows 7 Professional (для классов) | Д-757-17 от 27.06.2017 | 27.07.2018 |
| 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 |

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

| Название курса | Ссылка |
|--|--|
| Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности» | URL: http://www1.fips.ru/ |
| Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам | URL: http://window.edu.ru/ |
| Поисковая система Академия Google (Google Scholar) | URL: https://scholar.google.ru/ |
| Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) | URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp |
| Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС» | https://dlib.eastview.com/ |

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 «Интеллектуальные системы электроснабжения» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает решение раздел курсовой работы на практических занятиях.

1. Вопросы для проработки в курсовой работе

1. Разработать схему заданной системы электроснабжения в ПО КАТРАН

2. Рассчитать заданные нормальные и аварийные режимы заданной схемы

3. Определить оптимальную конфигурацию сети.

4. Определить оптимальную загрузку источников малой генерации заданной системы электроснабжения

5. Выбрать аппаратную базу для создания интеллектуальной системы электроснабжения.

2. Перечень контрольных вопросов для подготовки к экзамену по дисциплине «Интеллектуальные системы электроснабжения»:

1. Перечислите основные приоритетные направления развития ИТ в электроэнергетике

2. Тенденции развития мировой и Российской энергетики

3. Преимущества Smart Grid по сравнению с традиционной ОЭС

4. Смарт-счетчики (интеллектуальные счетчики) энергоресурсов

5. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учёта электроэнергии.

6. Принципы построения Smart Grid

7. SCADA-системы

8. Основные интерфейсы передачи данных для систем интеллектуального учёта энергоресурсов

9. Основные принципы формирования интерфейсов передачи данных для систем интеллектуального учёта энергоресурсов.

10. Программные продукты учёта, контроля и управления объектов электроэнергетики

11. Особенности режимов работы Smart Grid

12. Ключевые задачи, решаемые стейкхолдерами при внедрении систем интеллектуального учёта энергоресурсов

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-5 – Способен управлять режимом работы энергосистемы, электрической сети, системы электроснабжения | | |
| ПК-5.1 | Выполняет оценку текущего и прогнозируемого электроэнергетического режима энергосистемы с целью принятия решения о реализации мер по поддержанию частоты, величин перетоков активной мощности, токовой нагрузки линий и допустимого уровня напряжения, минимального необходимого резерва активной мощности и места его размещения; определения объема и эффективности соответствующих управляющих воздействий и создание соответствующих записей об управлении электроэнергетическим режимом энергосистемы | Вопросы к экзамену 1. Перечислите основные приоритетные направления развития ИТ в электроэнергетике 2. Тенденции развития мировой и Российской энергетики 3. Преимущества Smart Grid по сравнению с традиционной ОЭС 4. Смарт-счетчики (интеллектуальные счетчики) энергоресурсов 5. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учёта электроэнергии. 6. Принципы построения Smart Grid |
| ПК-5.2 | Принимает решения о реализации мер по предотвращению развития и ликвидации нарушения нормального режима электрической части энергосистемы и определении объема и эффективности соответствующих управляющих воздействий путем выполнения анализа оперативной информации об авариях и нештатных ситуациях в энергосистеме и оценки текущего и прогнозируемого электроэнергетического режима энергосистемы. | Вопросы к экзамену 1. SCADA-системы 2. Основные интерфейсы передачи данных для систем интеллектуального учета энергоресурсов 3. Основные принципы формирования интерфейсов передачи данных для систем интеллектуального учета энергоресурсов. 4. Программные продукты учета, контроля и управления объектов электроэнергетики 5. Особенности режимов работы Smart Grid 6. Ключевые задачи, решаемые стейкхолдерами при внедрении систем интеллектуального учета энергоресурсов |

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «**Интеллектуальные системы электроснабжения**» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме экзамена и в форме выполнения и защиты курсового проекта.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

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.

Курсовой проект выполняется под руководством преподавателя, в процессе ее написания обучающийся развивает навыки к научной работе, закрепляя и одновременно расширяя знания, полученные при изучении курса «**Интеллектуальные системы электроснабжения**». При выполнении курсового проекта обучающийся должен показать свое умение работать с нормативным материалом и другими литературными источниками, а также возможность систематизировать и анализировать фактический материал и самостоятельно творчески его осмысливать.

В процессе написания курсового проекта обучающийся должен разобраться в теоретических вопросах избранной темы, самостоятельно проанализировать практический материал, разобрать и обосновать практические предложения.

Показатели и критерии оценивания курсовой работы:

– на оценку «**отлично**» (5 баллов) – проект выполнен в соответствии с заданием, обучающийся показывает высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений;

– на оценку «**хорошо**» (4 балла) – проект выполнен в соответствии с заданием, обучающийся показывает знания не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам;

– на оценку «**удовлетворительно**» (3 балла) – проект выполнен в соответствии с заданием, обучающийся показывает знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, интеллектуальные навыки решения простых задач;

– на оценку «**неудовлетворительно**» (2 балла) – проект выполнен частично, в процессе защиты проекта обучающийся допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения поставленной задачи.

– на оценку «**неудовлетворительно**» (1 балл) – проект выполнен частично, обучающийся не может воспроизвести и объяснить содержание, не может показать интеллектуальные навыки решения поставленной задачи.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(обязательное)

Методические указания для студентов

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.

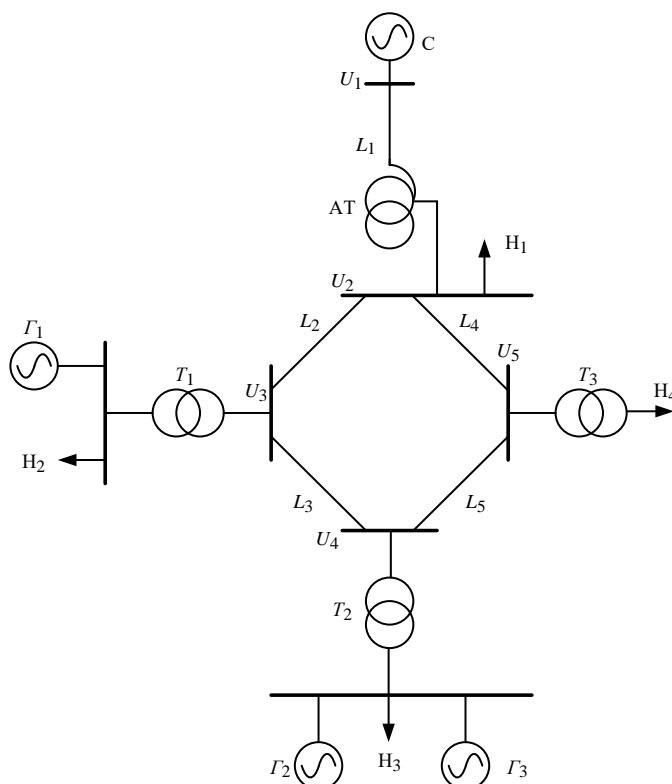


Рис. 1.1. Схема системы электроснабжения промышленного предприятия с собственными источниками электроэнергии

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 – 2,82 руб.;

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

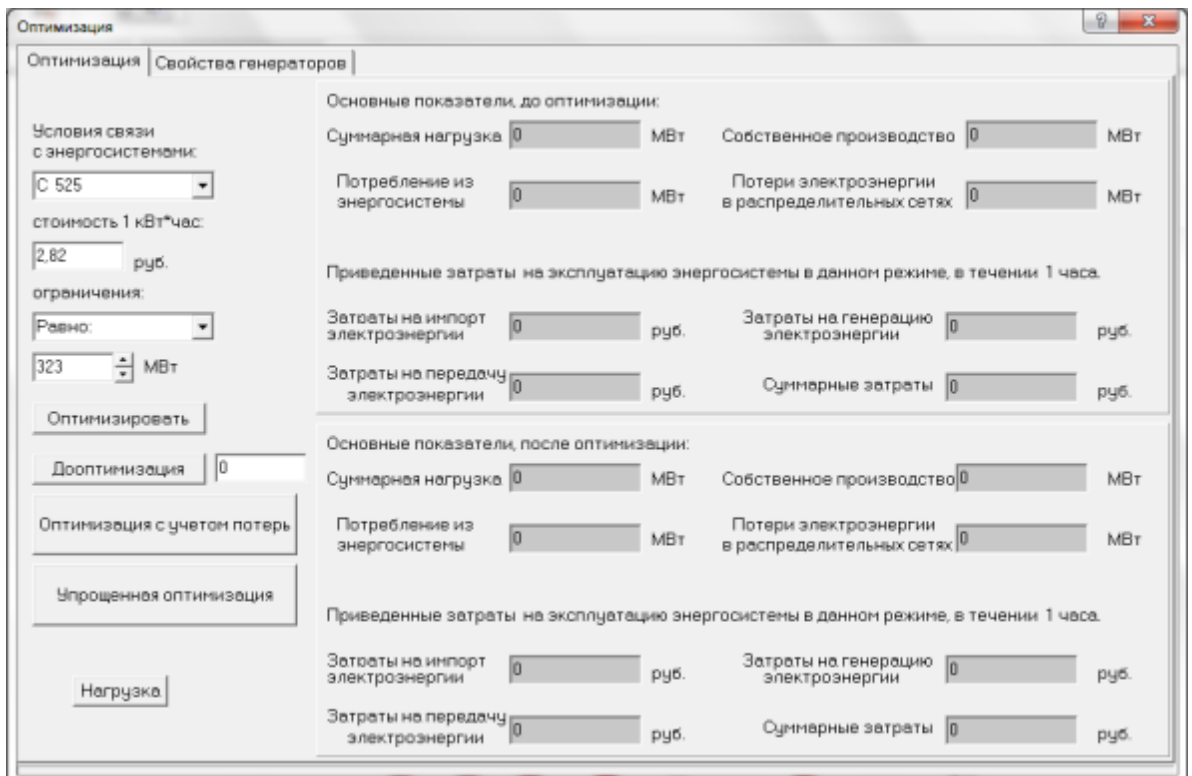


Рис. 2. Задание условий связи с энергосистемой

- во вкладке «Свойства генераторов» задать технико-экономические модели для генераторов: Г₁ - 2×Т-20 (далее по тексту – 1Г₁ и 2Г₁), Г₂ - ТВФ-63, Г₃ - Т-20 (рис. 3) в соответствии с приложением № 4.

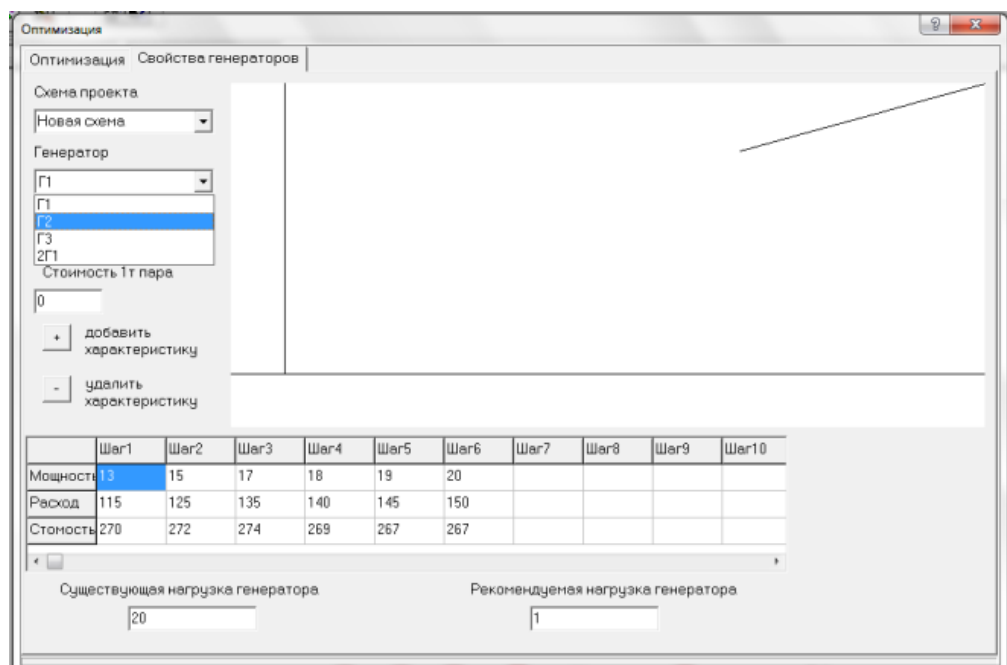


Рис. 3. Задание технико-экономических характеристик генераторов

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.

The screenshot shows a software window titled 'Оптимизация' (Optimization) with a sub-tab 'Свойства генераторов' (Generator Properties). The interface is divided into several sections:

- Условия связи с энергосистемами:** Includes a dropdown menu set to 'С 525' and a cost field 'стоимость 1 кВт*час:' set to '2,82 руб.'.
- ограничения:** Includes a dropdown menu set to 'Равно:' and a power limit field set to '323 МВт'.
- Buttons:** 'Оптимизировать', 'ДООптимизация' (with a value of 0), 'Оптимизация с учетом потерь', 'Упрощенная оптимизация', and 'Нагрузка'.
- Основные показатели, до оптимизации:**
 - Суммарная нагрузка: 434.34271193270 МВт
 - Собственное производство: 110.69510358885 МВт
 - Потребление из энергосистемы: 329.45490602287 МВт
 - Потери электроэнергии в распределительных сетях: 5.8072976790236 МВт
 - Затраты на импорт электроэнергии: 929062,83498450 руб.
 - Затраты на генерацию электроэнергии: 201038,29600013 руб.
 - Затраты на передачу электроэнергии: 16376,579454846 руб.
 - Суммарные затраты: 1146477,7104394 руб.
- Основные показатели, после оптимизации:**
 - Суммарная нагрузка: 434.33665038251 МВт
 - Собственное производство: 110.71607532059 МВт
 - Потребление из энергосистемы: 329.44356576081 МВт
 - Потери электроэнергии в распределительных сетях: 5.8229906988875 МВт
 - Затраты на импорт электроэнергии: 929030,85544549 руб.
 - Затраты на генерацию электроэнергии: 203080,05423265 руб.
 - Затраты на передачу электроэнергии: 16420,833770862 руб.
 - Суммарные затраты: 1148531,7434490 руб.

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 |

Устанавливаемые линии электропередачи в соответствии с номером варианта

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

Приложение №2

Устанавливаемые трансформаторы в соответствии с номером варианта

| № варианта | Марки трансформаторов | | | | Т ₃ | Степеньные показатели нагрузки | | | Стоимость 1 кВт·ч | |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|-----|
| | АТ | Т ₁ | Т ₂ | Т ₃ | | Р(У) | Q(У) | Q(У) | | |
| 1 | | ТРДН-63000/220/10 | ТРДЦН-100000/220/10 | 2×ТРДН-40000/220/10 | 2×ТРДН-40000/220/10 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2,7 |
| 2 | | 2×ТРДН-40000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2,3 |
| 3 | | 2×ТРДН-40000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 4 | | ТРДЦН-100000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2,4 |
| 5 | | ТРДЦН-160000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | 2×ТРДЦН-100000/220/10 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3,0 |
| 6 | | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | 2×ТРДЦН-100000/220/10 | 1 | 0 | 2 | 1 | 2,2 |
| 7 | | ТРДЦН-100000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | 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 | ТРДЦН-160000/220/10 | 2×ТРДЦН-100000/220/10 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2,1 |
| 9 | | 2×ТРДН-40000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-100000/220/10 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2,7 |
| 10 | | 2×ТРДН-40000/220/10 | ТРДЦН-100000/220/10 | 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 | ТРДЦН-100000/220/10 | 2×ТРДЦН-100000/220/10 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2,4 |
| 12 | | ТРДЦН-100000/220/10 | ТРДЦН-100000/220/10 | ТРДЦН-100000/220/10 | 2×ТРДЦН-100000/220/10 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3,0 |
| 13 | | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДН-40000/220/10 | 2×ТРДН-40000/220/10 | 2×ТРДЦН-100000/220/10 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2,2 |
| 14 | | ТРДЦН-100000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-100000/220/10 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2,0 |
| 15 | | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДН-40000/220/10 | 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×ТРДН-40000/220/10 | 2×ТРДЦН-100000/220/10 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2,7 |
| 17 | | 2×ТРДН-40000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-100000/220/10 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2,3 |
| 18 | | ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-100000/220/10 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 19 | | ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2×ТРДЦН-100000/220/10 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2,4 |
| 20 | | ТРДЦН-630000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | 2×ТРДЦН-40000/220/10 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3,0 |
| 21 | | ТРДЦН-100000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | ТРДЦН-160000/220/10 | 2×ТРДЦН-630000/220/10 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2,8 |

АТ-801000/500/220/10

Технико-экономические модели генераторов

 $P_{\text{НОМ}} = 6 \text{ МВт}$

| | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|
| $P, \text{ МВт}$ | 4 | 5 | 6 |
| $D_0, \text{ м}^3$ | 44 | 47 | 50 |
| $S, \text{ руб./м}^3$ | 234 | 235 | 233 |

 $P_{\text{НОМ}} = 12 \text{ МВт}$

| | | | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| $P, \text{ МВт}$ | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| $D_0, \text{ м}^3$ | 61 | 65 | 69 | 74 | 77 |
| $S, \text{ руб./м}^3$ | 351 | 358 | 342 | 347 | 354 |

 $P_{\text{НОМ}} = 20 \text{ МВт}$

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

 $P_{\text{НОМ}} = 32 \text{ МВт}$

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

 $P_{\text{НОМ}} = 40 \text{ МВт}$

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

 $P_{\text{НОМ}} = 63 \text{ МВт}$

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

 $P_{\text{НОМ}} = 100 \text{ МВт}$

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