

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ энергетический  
КАФЕДРА Тепловые электрические станции

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

 Н.Б. Карницкий

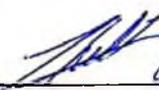
" 4 " 06 2023 г.

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Проектирование двухблочной АЭС с реакторами ВВЭР-600

Специальность 1-43 01 08 Паротурбинные установки атомных электрических станций

Обучающийся  
группы 10608118

  
06.04.2023  
подпись, дата

А.Ю.Жолнерович

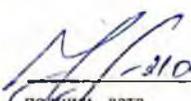
Руководитель

  
13.05.23  
подпись, дата

В.В. Сорокин  
д.т.н., профессор

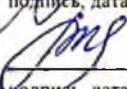
Консультанты:

по разделу «Экономическая часть»

  
21.04.2023  
подпись, дата

Е.П. Корсак  
ст. преподаватель

по разделу «Водно-химический комплекс АЭС»

  
03.05.23  
подпись, дата

В.А. Романко  
ст. преподаватель

по разделу «Автоматизация технологических  
процессов и АСУ АЭС

  
03.05.2023  
подпись, дата

Г.Т. Кулаков  
д.т.н., профессор

по разделу «Электрическая часть АЭС»

  
17.04.2023г.  
подпись, дата

Я.В. Потачин  
ст. преподаватель

по разделу «Охрана окружающей среды»

  
21.04.2023г.  
подпись, дата

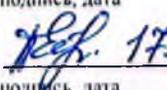
Н.Б. Карницкий  
д.т.н., профессор

по разделу «Охрана труда»

  
07.04.2023г.  
подпись, дата

О.В. Абметко  
ст. преподаватель

Ответственный за нормоконтроль

  
17.05.2023г.  
подпись, дата

Е.В. Пронкевич  
ст. преподаватель

Объем проекта:

Расчетно-пояснительная записка – 197 страниц;  
графическая часть – 11 листов;  
магнитные (цифровые) носители – — единиц

Минск 2023

## РЕФЕРАТ

Дипломный проект: 197 страниц, 49 рисунков, 40 таблиц, 39 источников.

**АЭС МОЩНОСТЬЮ 1200 МВт, РЕАКТОР ВВЭР-600, КОНДЕНСАЦИОННАЯ ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТЬЮ 600 МВт, ТЕПЛОВАЯ СХЕМА, АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.**

Объектом разработки является проект строительства атомной электростанции мощностью 1200 МВт на территории Республики Беларусь и исследование перспектив применения аддитивных технологий в атомной энергетике. Проектируется двухконтурная АЭС на базе реакторов ВВЭР-600 с установкой конденсационных турбин электрической мощностью 600 МВт, работающих на насыщенном паре, производимом парогенераторами горизонтального типа.

Целью проекта является изучение всех аспектов строительства станции: экономическое обоснование строительства, выбор основного и вспомогательного оборудования тепловой и электрической частей станции, вопросы охраны труда и охраны окружающей среды, выбор топливного хозяйства, описание системы технического водоснабжения, описание водно-химического режима станции.

В ходе выполнения проекта были произведены следующие исследования (разработки): произведен расчет принципиальной тепловой схемы блока и укрупненный расчет парогенератора, были выбраны конденсационные, питательные и циркуляционные насосы, а также теплообменные аппараты, были рассмотрены вопросы автоматизации технологических процессов и АСУ.

Приведенный в дипломном проекте расчетно-аналитический материал объективно отражает состояние сконструированного объекта, все заимствованные из литературных и других источников теоретические и методологические положения и концепции сопровождаются ссылками на их авторов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белэнерго [Электронный ресурс]. - Электронные данные. - Режим доступа : <http://www.energo.by/>.
2. Нагорнов, В.Н. Методическое пособие по дисциплине «Экономика ядерной энергетики» для студентов специальностей 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» / Нагорнов В.Н. - Минск : БНТУ, 2016. - 59 с.
3. Онуфриенко, С.В. Современные проекты АЭС российского дизайна. Безопасность. Экономичность / Онуфриенко С.В. - Санкт-Петербург, 2012. - 121 с.
4. О расчетной стоимости 1 тонны условного топлива в 2023 году [Электронный ресурс]. - Электронные данные. - Режим доступа : [https://energoeffect.gov.by/supervision/framework/information/20220317\\_cost1/](https://energoeffect.gov.by/supervision/framework/information/20220317_cost1/).
5. Атомные электрические станции. Курсовое проектирование / А.В. Седнин [и др.]. - Минск : Вышэйшая школа, 2010. - 150 с.
6. Маргунова, Т.Х. Атомные электрические станции: учебник для вузов / Маргунова Т.Х. - М. : Высшая школа, 1978. - 360 с.
7. Сорокин, В.В. Парогенераторы атомных электрических станций: методические указания по выполнению курсового проекта для студентов специальности 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» / В.В. Сорокин, Н.Б. Карницкий. - Минск: БНТУ, 2013. - 72 с.
8. Тепловые и атомные электрические станции: справочник. В 4 т. / под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. - М. : Энергоатомиздат, 1989. - Т. 4. - 608 с.
9. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС: учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию / В.А. Чиж [и др.]. - Минск : БНТУ, 2015. - 105 с.
10. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учебное пособие для вузов / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. - М. : Энергоатомиздат, 1989. - 608 с.
11. Электрическая часть электрических станций и подстанций: учебно-методическое пособие для практических занятий. В 2 ч. / В.А. Булат [и др.]. - Минск: БНТУ, 2014. - Ч. 1. - 53 с.
12. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Корнеева, Т.В. Чиркова. - М. : Издательский дом «Академия», 2004. - 448 с.

13. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учебное пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]. - Минск : Вышэйшая школа, 2017. - 238 с.
14. Демченко, В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС: Уч. Пособие / В.А. Демченко - Одесса: Астропринт, 2001. - 308 с.
15. Структурная схема унифицированного регулятора СЦАР [Электронный ресурс]. - Электронные данные. - Режим доступа : <https://studopedia.info/3-43349.html>.
16. Автоматизированная система управления технологическими процессами Белорусской АЭС / Н.Н. Акимов [и др.]. - Нижний Новгород : ФГУПФНПЦ «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова», 2015. - 4 с.
17. Цыганкова, С.Д. Структурно-параметрическая оптимизация САУ нейтронной мощности ядерного реактора / С.Д. Цыганкова // Актуальные проблемы энергетики. - 2021. - №75. - С. 118-123.
18. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Кулаков Г.Т. - Минск : Высшая школа, 1984. - 192 с.
19. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования: учебное пособие / Кулаков Г.Т. - Минск : УП «Технопринт», 2003. - 135 с.
20. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического регулирования / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. - Минск : БГТУ, 2010. - 574 с.
21. Скачек, М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС: учебное пособие для вузов / Скачек М.А. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2007. - 448 с.
22. Об общих положениях по обеспечению безопасности атомных электростанций [Электронный ресурс] : постановление МЧС Республики Беларусь, 13 апр. 2020 г., № 15 // Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информации. Республика Беларусь. - Минск, 2020.
23. Лазаренков, А.М. Охрана труда в энергетической отрасли: учебник / А.М. Лазаренков, Л.П. Филянович, В.П. Бубнов. - Минск : ИВЦ Минфина, 2010. - 655 с.
24. Пятый национальный доклад Республики Беларусь о выполнении объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами [Электронный ресурс]. - Электронные данные. - Режим доступа : <https://gos>

atomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/07d/5th-national-report-jc-belarus-rus.pdf.

25. Национальный доклад Республики Беларусь о выполнении конвенции о ядерной безопасности [Электронный ресурс]. - Электронные данные. - Режим доступа : [https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/6f6/belaruscnsnatrep2019\\_rus\\_final.pdf](https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/6f6/belaruscnsnatrep2019_rus_final.pdf).

26. 3D печать металлом: технологии, принцип работы 3D принтеров, постобработка [Электронный ресурс]. - Электронные данные. - Режим доступа : <https://3dradar.ru/post/48136/>.

27. Исмаилов, Н.Ш. Анализ технологий производства с помощью лазера и металлических порошков литейных аппаратов / Н.Ш. Исмаилов // Сборник статей LIII Международной научно-практической конференции. - 2021. - №53. - С. 82-84.

28. Аддитивные технологии методом спекания и сплавления порошковых материалов : в 2 т. / Привалов А. С. - М. : // Молодежь и XXI век, 2020. -Т. 4. - 273 с.

29. Аддитивные технологии и изделия из металла [Электронный ресурс]. - Электронные данные. - Режим доступа : [https://nami.ru/uploads/docs/centr\\_technology\\_docs/55a62fc89524bAT\\_metall.pdf](https://nami.ru/uploads/docs/centr_technology_docs/55a62fc89524bAT_metall.pdf).

30. Исмаилов, Н.Ш. Высокоточное изготовление металлических корпусов с помощью аддитивных технологий / Н.Ш. Исмаилов // Сборник статей LIII Международной научно-практической конференции. - 2021. - №53. - С. 24-25.

31. Соколов, И.А. Разработка рекомендаций по внедрению аддитивных технологий в российское металлургическое производство / Соколов И.А. - Екатеринбург : ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», 2018. -124 с.

32. Крикун Е. В. Механизмы радиационного охрупчивания стали 15X2НМФА класс I корпуса реактора ВВЭР-1000 под действием облучения в диапазоне температур 50 - 400: дис. канд. техн. наук: Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, 2017 – 118 с.

33. Обзор Установки прямого лазерного выращивания ИЛИСТ-L [Электронный ресурс]. - Электронные данные. - Режим доступа : <https://top3dshop.ru/blog/ustanovka-lazernogo-vyraschivaniya-ilist-l-review.html>.

34. Туричин, Г.А. Прямое лазерное выращивание крупногабаритных металлических компонентов морской и авиационной техники / Г.А. Туричин, Е.В. Земляков, О.Г. Климова-Корсник. - Томск : ТПУ, 2018. - 8 с.

35. Довбыш, В.М. Аддитивные технологии и изделия из металла / В.М. Довбыш, П.В. Забеднов, М.А. Зленко. - Уфа : УГАТУ, 2015. - 57 с.

36. СПбГМТУ изготовил для «РусАт» фрагмент выгородки ядерного реактора ВВЭР-ТОИ методом прямого лазерного выращивания [Электронный ресурс]. - Электронные данные. - Режим доступа : <https://www.atomic-energy.ru/news/2022/12/13/131158>.

37. Китай напечатал на 3D-принтере важную деталь термоядерного реактора [Электронный ресурс]. - Электронные данные. - Режим доступа : <https://www.atomic-energy.ru/news/2018/03/28/84459>.

38. Дзеник, А.Д. Современные технологии производства порошковых материалов для аддитивных технологий / А.Д. Дзеник // Молодежь и системная модернизация страны: сб. науч. ст. 4-й Международной науч. конференции студентов и молодых ученых, Курск, 07 дек. 2019 г. : КГУ ; редкол.: А.Р. Исламов, Д.И. Каримов. - Курск, 2019. - Т. 5. - С. 247-244.

39. Новиков С. В., Рамазанов К. Н. Аддитивные технологии: состояние и перспективы : учебное пособие [Электронный ресурс]. - Электронные данные. - Режим доступа : [https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/lzdateli/El\\_izd/2022-41.pdf](https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/lzdateli/El_izd/2022-41.pdf).