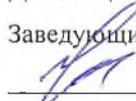


БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ энергетический
КАФЕДРА Тепловые электрические станции

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

 Н.Б. Карницкий

“ 10 ” 08 2020 г.

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА**

Проект АЭС – 3000 МВт

Специальность 1-43 01 08 Паротурбинные установки атомных электрических станций

Обучающийся
группы 10608115

 22.05.2020 г.
подпись, дата

С.Д. Цыганкова

Руководитель

 22.05.20 г.
подпись, дата

Н.Б. Карницкий
д.т.н., профессор

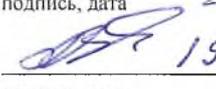
Консультанты:

по разделу «Экономическая часть»

 22.05.20 г.
подпись, дата

В.Н. Нагорнов
к.э.н., доцент

по разделу «Водно-химический комплекс АЭС»

 19.05.20 г.
подпись, дата

В.А. Чиж
к.т.н., доцент

по разделу «Автоматизация технологических
процессов и АСУ АЭС»

 20.05.20 г.
подпись, дата

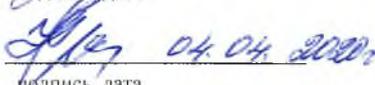
Г.Т. Кулаков
д.т.н., профессор

по разделу «Электрическая часть АЭС»

 20.05.20 г.
подпись, дата

Я.В. Потачин
ст. преподаватель

по разделу «Охрана окружающей среды»

 04.04.2020 г.
подпись, дата

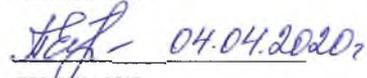
Н.Б. Карницкий
д.т.н., профессор

по разделу «Охрана труда»

 20.04.20 г.
подпись, дата

Л.П. Филянович
к.т.н., доцент

Ответственный за нормоконтроль

 04.04.2020 г.
подпись, дата

Е.В. Пронкевич
ст. преподаватель

Объем проекта:

Расчетно-пояснительная записка – 216 страниц;

графическая часть – 12 листов;

магнитные (цифровые) носители – _____ единиц

РЕФЕРАТ

Дипломный проект: 216 страниц, 76 рисунков, 35 таблиц, 54 источника.

АТОМНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ, ВОДО-ВОДЯНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РЕАКТОР, ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ПАРОГЕНЕРИРУЮЩИЙ КОНТУР, КВАЗИСТАЦИОНАРНОЕ СОСТОЯНИЕ.

Объектом разработки является трёхблочная АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 и турбоустановками К-1000-60/3000-3. Проектная мощность АЭС составляет 3000 МВт.

В ходе выполнения настоящего дипломного проекта была спроектирована АЭС: произведено обоснование строительства и выбрано основное оборудование станции, рассчитана принципиальная тепловая схема энергоблока и выбрано вспомогательное оборудование, произведен теплогидравлический расчет парогенератора: определена площадь поверхности теплообмена парогенератора и гидравлические потери в трубах; описано топливное хозяйство проектируемой АЭС: система технологического транспорта АЭС и транспортно-технологические операции со свежим топливом; произведён выбор системы технического водоснабжения, спроектирована ВПУ, описаны водно-химические режимы 1-го и 2-го контуров, произведен расчет токов короткого замыкания и выбраны электрические коммутационные аппараты. Также в настоящем дипломном проекте выбрана структура и обоснована модернизация САУ уровнем воды в барабане парогенератора в двух режимах работы: внеплановое изменение нагрузки и плановое изменение нагрузки; рассмотрены вопросы охраны труда и охраны окружающей среды на основе имеющегося опыта эксплуатации реакторов типа ВВЭР, разработаны компоновка главного корпуса и генеральный план станции, выполнен расчет технико-экономических показателей АЭС.

В качестве специального задания произведено моделирование установления квазистационарного состояния в парогенерирующем контуре реакторной установки. Нестационарный теплогидравлический расчёт выполнен с помощью программного средства «Rainbow-TRP», которое используется в настоящее время для экспресс-оценки состояния энергоблоков АЭС ФБУ «НТЦ ЯРБ».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыганкова, С.Д. Сравнительный анализ турбогенераторов с турбинами К-1200-6,8/50 и «Arabelle» для АЭС-2006 / С.Д. Цыганкова ; науч. рук. В.В. Кравченко // Актуальные проблемы энергетики 2018 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 611–619.
2. Бушерская АЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D1%88%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%90%D0%AD%D0%A1. – Дата доступа: 26.03.2020.
3. Цыганкова, С.Д. Аварийная подпитка парогенераторов АЭС в условиях полного электрообесточивания энергоблоков / С.Д. Цыганкова ; науч. рук. К. П. Пташиц // Актуальные проблемы энергетики : материалы 74-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет ; ред. Т. Е. Жуковская. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 108–111.
4. Power Reactor Information System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>. – Дата доступа: 01.04.2020.
5. Новые проекты паровых турбин ОАО «Силовые машины» для АЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.atomeks.ru/old/mediafiles/u/files/presentSZ/Nedavnij_V.V..pdf. – Дата доступа: 15.11.2019.
6. Атомные электрические станции [Электронный ресурс] : учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Тепловые электрические станции» ; сост.: А.В. Седнин, Н.Б. Карницкий. – БНТУ, 2017.
7. Гордеева, И.С. Выполнение тепловых схем энергетических установок: методическое пособие по дисциплине «Начертательная геометрия. Инженерная графика» / И.В. Гордеева, В.Н. Кауркин, Ю.В. Степанов и др.; – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 38 с.
8. 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.

9. Атомные электрические станции. Курсовое проектирование [Электронный ресурс] : учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Тепловые электрические станции» ; сост.: А.В. Седнин, Н.Б. Карницкий. – БНТУ, 2017.

10. Григорьев, В.А. Тепловые и атомные электрические станции. Справочник / В.А. Григорьев, В.М. Зорин. – М.: Изд-во: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

11. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС : учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальностей 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции», 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» / В.А. Чиж [и др.]. – Минск : БНТУ, 2015. – 105 с.

12. Назначение системы технического водоснабжения АЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuclearfactor.ru/energy/aes/50-170.html>. – Дата доступа: 13.04.2020.

13. Бродов, Ю.М. Конденсационные установки паровых турбин: Учебн. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1994. – 288 с.

14. Маргулова, Т.Х. Водные режимы тепловых и атомных электростанций: Учеб. для вузов по спец. «Технология воды и топлива на тепловых и атомных электростанциях». – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 319 с.

15. Андрушечко, С.А. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С.А. Андрушечко, А.М. Афров, Б.Ю. Васильев, В.Н. Генералов, К.Б. Косоуров, Ю.М. Семченков, В.Ф. Украинцев. – М.: Логос, 2010. – 604 с.

16. 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. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

17. Турбогенераторы с водородно-водяным охлаждением серии «ТВВ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mosenergoinform.ru/turbo/tvv.htm>. – Дата доступа: 22.04.2020.

18. Булат, В.А. Электрическая часть электрических станций и подстанций: учебно-методическое пособие для практических занятий для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение (по

отраслям)», 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции», 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций», 1-43 01 09 «Релейная защита и автоматика»: в 2 ч. Ч.1 / В.А. Булат [и др.]. – Минск: БНТУ, 2014. – 53 с.

19. Мазуркевич, В.Н. Электрическая часть электрических станций и подстанций: учебно-методическое пособие для практических занятий для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)», 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции», 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций», 1-43 01 09 «Релейная защита и автоматика»: в 2 ч. Ч. 2 / В.Н. Мазуркевич [и др.]. – Минск: БНТУ, 2017. – 62 с.

20. Автоматизированные системы управления технологическими процессами электростанций [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальности: 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции"; сост.: Г.Т. Кулаков, В.В. Кравченко. – БНТУ, 2017.

21. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования: Учеб. пособие / Г.Т. Кулаков. – Мн. : УП «Технопринт», 2003. – 135с.

22. Особенности системы управления технологическими объектами и процессами атомной электростанции (АЭС). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://infopedia.su/18x6b1f.html>. – Дата доступа: 27.04.2020.

23. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического регулирования/ И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Мн. : БГТУ, 2010. – 574 с.

24. Радиационный контроль на АЭС. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://planeteco.ru/services/laboratornye-issledovaniya/radiacionnyj-kontrol/radiacionnyj-kontrol-na-aes.html>. – Дата доступа: 27.04.2020.

25. Демченко, В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС: Уч. Пособие / В.А. Демченко – Одесса : Астропринт, 2001. – 308 с.

26. Технологические защиты турбогенератора. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://planeteco.ru/services/laboratornyeissledovaniya/radiacionnyj-kontrol/radiacionnyj-kontrol-na-aes.html>. – Дата доступа: 27.04.2020.

27. Программируемый контроллер SIMATIC S7-1500 Siemens. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.com->

sol.ru/katalog/kontrollery/siemens/programmiruemyj_kontroller_simatic_s7-1500_siemens.html. – Дата доступа: 27.04.2020.

28. Обеспечение экологической безопасности АЭС, построенных по российскому проекту АЭС-2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sosny.bas-net.by/wp-content/uploads/2013/09/inform_6.pdf. – Дата доступа: 27.03.2020.

29. Жабо, В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС / В.В. Жабо. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.

30. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)». – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии России, 2009.

31. Закон Республики Беларусь от 26.11.1992 № 1982-ХІІ (ред. от 18.06.2019, с изм. от 18.12.2019) «Об охране окружающей среды».

32. Научно-методическое обеспечение работ по созданию комплексной системы мониторинга за состоянием защиты населения на радиоактивно загрязненных территориях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/363091/>. – Дата доступа: 29.03.2020.

33. Баклушин, Р.П. Эксплуатация АЭС. Ч. I. Работа АЭС в энергосистемах. Ч. II. Обращение с радиоактивными отходами [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Р.П. Баклушин . – М. : НИЯУ МИФИ, 2011 . – 304 с.

34. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15), утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2015 г. № 522.

35. Онуфриенко, С.В. Современные проекты АЭС российского дизайна. Безопасность. Экономичность./ Онуфриенко С.В. – Санкт-Петербург, 2012.

36. Безопасность российских АЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosatom.ru/about-nuclear-industry/safety-russian-npp/>. – Дата доступа: 29.03.2020.

37. Цыганкова, С.Д. Государственный надзор и контроль за охраной труда энергетической отрасли Республики Беларусь / С.Д. Цыганкова ; науч. рук. Л.П. Филянович // Новые материалы и технологии их обработки : сборник научных работ XX Республиканской студенческой научно-технической конференции, Минск, 17–18 апреля 2019 года. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 167–168.

38. Лазаренков, А.М. Охрана труда в энергетической отрасли: учебник / А.М. Лазаренков, Л.П. Филянович, В.П. Бубнов. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 655 с.

39. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Типовое содержание Плана мероприятий по защите персонала в случае аварии на атомной станции» (НП-015-12), утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 18 сентября 2012 г. № 518.

40. Компоновка главных корпусов ГРЭС и ТЭЦ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ozlib.com/863664/tehnika/komponovka_glavnyh_korpusov_gres. – Дата доступа: 30.04.2020.

41. Компоновка главного корпуса АЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/35679086-Komponovka-glavnogo-korpusa-aes.html>. – Дата доступа: 30.04.2020.

42. Описание генеральных планов и компоновок АЭС с реакторами различного типа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:6UXaIwttP6QJ:mdld.lcg.ru.ru/mod/book/print.php%3Fid%3D1537+&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=by>. – Дата доступа: 30.04.2020.

43. Цыганкова, С.Д. Сравнительный анализ турбогенераторов с турбинами К-1200-6,8/50 и «Arabelle» для АЭС-2006 / С. Д. Цыганкова ; науч. рук. В.В. Кравченко // Актуальные проблемы энергетики 2018 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И. Н. Прокопья, Т. А. Петровская. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 611–619.

44. Power Reactor Information System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>. – Дата доступа: 29.04.2020.

45. Нагорнов, В.Н. Экономика и организация ядерной энергетики : пособие для студентов специальности 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» / В.Н. Нагорнов. – Минск : БНТУ, 2019. – 59 с.

46. БЕЛЭНЕРГО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energo.by/>. – Дата доступа: 25.10.2019.

47. ОКБ «Гидропресс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gidropress.podolsk.ru/>. – Дата доступа: 25.10.2019.

48. Предварительный отчёт по обоснованию безопасности энергоблока № 1 Белорусской АЭС BLR1.T.534.1.&&&&&&&&&.000.PG.0012.

49. Специальное руководство по безопасности. № SSG-2. Детерминистический анализ безопасности атомных электростанций, МАГАТЭ, Вена, 2014 г.

50. Кавун, О.Ю. Программа ТРР для теплогидравлического расчёта сложных теплогидравлических сетей / О.Ю. Кавун, М.Я. Куно, В.Г. Фейман // Алгоритмы и программы для нейтронно-физических расчётов ядерных реакторов НЕЙТРОНИКА-97: Сб.трудов семинара МАЭ РФ. – Обнинск, 1998.

51. Программа «Rainbow-ТРР» для моделирования нестационарных и установившихся процессов в энергетическом оборудовании ТЭЦ : отчет о НИР НПЦ «ПРИОРИТЕТ» (заключ.). – М., 1997. – Инв. № НТО001/1997.

52. Кавун, О.Ю. Методика моделирования динамики энергоблока АЭС, реализованная в программном комплексе Rainbow-ТРР / О.Ю. Кавун // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика ядерных реакторов. – М., 1999. – С. 17–39.

53. Программный комплекс Rainbow-ТРР с библиотекой нейтронно-физических сечений серийного реактора ВВЭР-1000 // Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности : Аттестационный паспорт на программное средство № 62 от 17.10.1996. – М., 1996 г. – 7 с.

54. Действующие АЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rosatom.ru/production/generation/>. – Дата доступа: 04.04.2020.