

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ энергетический  
КАФЕДРА Тепловые электрические станции

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

 Н.Б. Карницкий

“ 9 ”  2020 г.

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА**

**Проект дубль-блочной АЭС мощностью 1000 МВт с тихоходными  
турбоустановками**


Специальность 1-43 01 08 Паротурбинные установки атомных электрических станций

Обучающийся  
группы 10608115

 — 20.05.20  
подпись, дата

**В.А. Тихиня**

Руководитель

 22.05.2020  
подпись, дата

**В.В. Сорокин**  
д.т.н., профессор


Консультанты:

по разделу «Экономическая часть»

 08.04.20  
подпись, дата

**В.Н. Нагорнов**  
к.э.н., доцент

по разделу «Водно-химический комплекс АЭС»

 19.05.20  
подпись, дата


**В.А. Чиж**  
к.т.н., доцент

по разделу «Автоматизация технологических  
процессов и АСУ АЭС»

 20.04.20  
подпись, дата


**Г.Т. Кулаков**  
д.т.н., профессор

по разделу «Электрическая часть АЭС»

 20.05.20  
подпись, дата

**Я.В. Потачиц**  
ст. преподаватель

по разделу «Охрана окружающей среды»

 30.03.2020  
подпись, дата

**Н.Б. Карницкий**  
д.т.н., профессор

по разделу «Охрана труда»

 25.03.20  
подпись, дата

**Л.П. Филянович**  
к.т.н., доцент

Ответственный за нормоконтроль

 20.05.20  
подпись, дата

**Е.В. Пронкевич**  
ст. преподаватель

Объем проекта:

Расчетно-пояснительная записка — 193 страниц;

графическая часть — 11 листов;

магнитные (цифровые) носители — — единиц

Минск 2020

## РЕФЕРАТ

Дипломный проект: 193 страницы, 69 рисунков, 43 таблицы, 44 источника.  
АЭС МОЩНОСТЬЮ 1000 МВт, РЕАКТОР ВВЭР-1000, ТЕПЛОВАЯ СХЕМА, ТУРБОУСТАНОВКИ К-500-60/1500, ПАРОГЕНЕРАТОР ПГВ-1000, УСТРОЙСТВО ЛОКАЛИЗАЦИИ РАСПЛАВА.

Объектом разработки является проект дубль-блочной АЭС мощностью 1000 МВт в Республике Беларусь. Проектируется двухконтурная АЭС с реактором ВВЭР-1000 и двумя турбоустановками К-500-60/1500 работающими на насыщенном паре, производимом парогенераторами типа ПГВ-1000.

Целью дипломного проекта является изучение всех этапов строительства атомной станции: экономического обоснования строительства, выбора основного и вспомогательного оборудования тепловой и электрической частей станции, выбора топливного хозяйства, системы технического водоснабжения и водно-химического режима станции, вопросов автоматизации технологических процессов, вопросов охраны труда и охраны окружающей среды, принципов компоновки главного корпуса и разработки генерального плана АЭС.

В процессе проектирования были разработаны следующие вопросы и произведены данные расчеты: обоснование строительства станции с выбором основного оборудования, расчет принципиальной тепловой схемы блока и теплогидравлический расчет парогенератора, выбор вспомогательного оборудования тепловой части, расчет токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов, разработка автоматизации технологических процессов и АСУ АЭС, расчет технико-экономических показателей проекта, а в качестве специального задания рассмотрено устройство локализации расплава.

Приведенный в дипломном проекте расчетно-аналитический материал объективно отражает состояние исследуемого объекта, все заимствованные из литературных источников вопросы и материалы сопровождаются ссылками на их авторов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тепловые и атомные электростанции: справочник / Под общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – Кн. 3. – 648 с.
2. Основные показатели [Электронный ресурс] / Государственное производственное объединение электроэнергетики «Белэнерго». – Минск, 2020. Режим доступа: <http://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/osnovnyye-rokazateli/>. – Дата доступа: 25.03.2020.
3. 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.
4. Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических реакторов – паротурбинная установка ВВЭР-1000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/ekspluatacionnye-rezhimy-vodo-vodyanyh-energeticheskikh-reaktorov-33.html>. – Дата доступа: 20.03.2020.
5. Седнин, А. В. Атомные электрические станции. Курсовое проектирование: учеб. пособие / А. В. Седнин, Н. Б. Карницкий, М. Л. Богданович. – Минск: Вышэйшая школа, 2010. – 150 с.
6. Сорокин, В. В. Парогенераторы атомных электрических станций: метод. 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.
7. Зверков, В. В. Эксплуатация ядерного топлива на АЭС с ВВЭР / В. В. Зверков. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 96 с.
8. Чиж, В. А. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС: учеб. пособие / В. А. Чиж, Н. Б. Карницкий, А. В. Нерезько – Минск: Вышэйшая школа, 2010. – 351 с.
9. Чиж, В. А. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС: учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. А. Чиж [и др.]. – Минск: БНТУ, 2015. – 105 с.
10. Мировые водные технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wwtec.ru/index.php?id=30>. – Дата доступа: 10.04.2020.
11. Основы водоподготовки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.hydrotech.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=6&Itemid=7](http://www.hydrotech.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=7). – Дата доступа: 10.04.2020.
12. Системы непрерывной электродеионизации IONPURE в Минске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minsk.water.ru/catalog/el-di.php?cityyes=1>. – Дата доступа: 11.04.2020.

13. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие для вузов / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

14. 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.

15. Плетнев, Г. П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г. П. Плетнев. – М.: МЭИ, 2016. – 352 с.

16. Кузьмицкий, И. Ф. Теория автоматического управления: учеб. пособие для студентов специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» / И. Ф. Кузьмицкий, Г. Т. Кулаков. – Минск, БГТУ, 2010. – 574 с.

17. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок АЭС – регулирование энергоблоков с ВВЭР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/avtomaticheskoe-upravlenie-i-zaschita-teploenergeticheskikh-ustanovok-aes-31.html>. – Дата доступа: 07.04.2020.

18. Системы автоматического управления / Г. Т. Кулаков [и др.]; под общ. ред. Г. Т. Кулакова – Минск: БНТУ, 2017. – 133 с.

19. Создание и внедрение систем контроля и управления водно-химическим режимом (СКУ ВХР) для АЭС с ВВЭР – важное направление повышения их эксплуатационной надежности и безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/78/287/34842.php>. – Дата доступа: 08.04.2020.

20. Лобанок, О. И. Автоматизированный химический контроль в новых проектах энергоблоков АЭС / О. И. Лобанок, М. В. Федосеев // Теплоэнергетика. – 2013. – №7. – С. 17-20.

21. Преловский, А. Р. Основные подходы к созданию химических лабораторий на объектах атомной энергетики / А. Р. Преловский // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2012. – №7. – С. 66-71.

22. Скачек, М. А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС: учеб. пособие для вузов / М. А. Скачек. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.

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

24. Бескrestнов, Н. В. Охрана труда на атомных станциях: учеб. пособие для энерг. техникумов / Н. В. Бескrestнов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 278 с.

25. Охрана труда в вопросах и ответах: справочное пособие: в 2 т. / В. Н. Борисов [и др.]; под общ. ред. И. И. Селедевский. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск: ЦОТЖ, 2001.
26. Основы теории и проектирования ядерных энергетических установок атомных электрических станций / С. Б. Тулуб [и др.]. – Севастополь: СНИЯЭиП, 2004. – 472 с.
27. Рыжкин, В. Я. Тепловые электрические станции / В. Я. Рыжкин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 327 с.
28. Маргулова, Т. Х. Атомные электрические станции: учебник для вузов / Т. Х. Маргулова. – 5-е изд. – М.: ИздАТ, 1994. – 360 с.
29. Леонков, А. М. Дипломное проектирование: Тепловые и атомные электрические станции / А. М. Леонков, А. Д. Качан – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 203 с.
30. Стерман, Л. С. Тепловые и атомные станции / Л. С. Стерман, С. А. Тевлин, А. Т. Шарков. – М.: Энергоиздат, 1982. – 456 с.
31. Инструкция по эксплуатации системы удержания и охлаждения расплавленной активной зоны вне реактора (ЖКМ).
32. Способ и устройство локализации расплава активной зоны ядерного реактора: патент RU 2432628 / А. Я. Столяревский. – Оpubл. 27.10.2011. – Бюл. № 30.
33. Лавданский, П. А. Технология, оборудование и безопасность объектов ядерной энергетики / П. А. Лавданский, С. И. Степкин. – М.: МГСУ, ЭБС АСВ, 2010. – 70 с.
34. Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР / С. Б. Выговский [и др.]. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 376 с.
35. Столяревский, А. Я. Атомные станции: теперь с «ловушкой» / А. Я. Столяревский // Энергия. – 2002. – № 4. – С. 9-17.
36. Устройство для улавливания расплавленных материалов из ядерного реактора: патент RU 2163037 / А. И. Осадчий, А. Я. Столяревский. – Оpubл. 10.02.2001. – Бюл. № 4.
37. Физические аспекты парового взрыва / Е. В. Степанов. – М.: ИАЭ, 1991. – 95 с. – (Препринт / Ин-т атом. энергии им. И. В. Курчатова; ИАЭ-5450/3).
38. Corradini M. L., Vapor explosions: a review of experiments for accident analysis / M. L. Corradini, R. P. Taleyarkhan // Nuclear Safety. – 1991. – Vol. 32, № 3. – P. 337-362.
39. Болобов, В. И. Условия воспламенения железа и углеродистой стали в кислороде / В. И. Болобов // Физика горения и взрыва. – 2001. – № 3. – С. 52-57.
40. Kazachkov, I. V. About localization of heating in granular layer with internal heat generation / I. V. Kazachkov // Advances in Heat Transfer Engineering:

papers from the 4th Baltic Heat Transfer Conf., Lithuania, Kaunas, 25–27 Aug. 2003. / Lithuanian Energy Institute and Kaunas Univ. of Technology; ed.: B. Sunden, J. Vilemas. – Kaunas, 2009. – P. 225-252.

41. Phenomenological Studies on Melt-Structure-Water Interactions (MSWI) during Severe Accidents: Annual Report / B. R. Sehgal, Z. L. Yang, H. O. Haraldsson [et al.]. – Stockholm: Division of Nuclear Power Safety, Royal Institute of Technology, 2000. – 51 p.

42. Асмолов, В. Г. Выбор жертвенного материала ловушки расплава для реактора ВВЭР-1000 / В. Г. Асмолов, В. Н. Загрязкин, В. Ю. Вишнеvский [и др.] // Исследования процессов при запроектных авариях с разрушением активной зоны: сб. трудов науч.-практ. семинара, Санкт-Петербург, 12–14 сентября 2000 г. – Санкт-Петербург, 2000. – С. 141-159.

43. Гусаров, В. В. Физико-химическое моделирование и анализ процессов взаимодействия расплава активной зоны ядерного реактора с жертвенным материалом / В. В. Гусаров, В. И. Альмяшев, В. Б. Хабенский [и др.] // Физика и химия стекла. – 2005. – Т. 31, № 1. – С. 71-90.

44. Минеев, В. И. Взаимодействие оксидного расплава с диоксидциркониевыми огнеупорами внешней ловушки / В. И. Минеев // Атомная энергия. – 2001. – Т. 90, № 6. – С. 460-466.