

УДК 621.039

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ОТРАСЛИ

ВЕЛЬКИН В.И., ЩЕКЛЕИН С.Е., ИВАНОВ В. Ю., КЛИМОВА В.А., ТАШЛЫКОВ О.Л.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина
(Екатеринбург, Российская Федерация)*

Аннотация. Требование надежной и безопасной эксплуатации атомных объектов подразумевает в первую очередь качественную подготовку персонала. В статье описаны задачи тренажерной подготовки студентов, представлен перечень тренажеров-симуляторов, используемых в Университете, для основных ядерных энергетических реакторов России. Описаны направления тренажерной подготовки в ВУЗе и существующая практика в рамках дисциплины «Стендовая тренажерная подготовка». Определены пути повышения качества подготовки и роль электронных образовательных ресурсов в решении проблемы обеспечения атомной энергетики квалифицированными специалистами. Показан вклад кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» в подготовку специалистов для атомной энергетики, состояние учебно-материальной базы.

Ключевые слова: атомные станции, ядерные энергетические реакторы, тренажерная подготовка в ВУЗе, подготовка кадров для атомной энергетики, надежность и безопасность АЭС.

TRAINING OF URFU STUDENTS ON SIMULATORS OF NUCLEAR POWER REACTORS

VELKIN V. I., SHCHEKLEIN S. E., IVANOV V. Y., KLIMOVA V. A., TASHLYKOV O. L.

*Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
(Yekaterinburg, Russian Federation)*

Annotation. The requirement of reliable and safe operation of nuclear facilities implies, first of all, high-quality training of personnel. The article describes the tasks of simulator training of students, presents a list of simulators used at the University for the main nuclear power reactors in Russia. The directions of simulator training at the university and the existing practice in the framework of the discipline "Bench training" are described. The ways of improving the quality of training and the role of electronic educational resources in solving the problem of providing nuclear power with qualified specialists are determined. The contribution of the Department "Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources" to the training of specialists for nuclear power, the state of the educational and material base is shown.

Keywords: nuclear power plants, nuclear power reactors, simulator training at the university, training of personnel for nuclear power, reliability and safety of nuclear power plants.

Введение

Применение полномасштабных тренажеров для подготовки и поддержки квалификации операторов блочных пунктов управления (БПУ) является обязательным элементом системы подготовки персонала российских АЭС [1].

В Уральском федеральном университете для этих целей разработан и внедрен учебный курс «Стендовая тренажерная подготовка», который читается на 3-м и 4-м курсах специалитета и составляет 4 з.е. [2].

В период пандемии 2020 г. существенно возросла роль самостоятельного обучения. Имея доступ к электронным ресурсам, включающим не только лекционный материал, но и мультимедийное сопровождение лекций, студенты могли в установленные часы занятий изучать теорию, связанную с материальной базой оборудования АЭС. Практические занятия на тренажерах были организованы по специальному приказу руководства университета в помещениях действующих тренажеров кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии».

Тренажеры по АЭС в УрФУ

Тренажерная база УрФУ формировалась в период развития атомной энергетики СССР и развивалась вплоть до 2015 г.

Сегодня тренажеры в университете позволяют задавать различные режимы и условия работы реакторной установки, а также всего оборудования АЭС, соответствующей данному типу реактора.

В настоящее время в УрФУ в учебном процессе используются 5 тренажеров, представленных в табл. 1.

Таблица 1 - Перечень тренажеров по АЭС на базе УрФУ

Тренажер	Тип реактора на АЭС, моделируемый данным тренажером
ТОМАС-1	ВВЭР-1000
ТОМАС-2	РБМК-1000
КОРСАР	Водяные реакторы
ЖОКЕР	БН-600
БН-800	БН-800

Курс тренажерной подготовки реализуется в соответствии с Дорожной картой, выдаваемой каждой подгруппе из 2-3х студентов, изображенной на рис. 1.

Ведущий преподаватель д.т.н. Велькин В.И.
КАФЕДРА "АТОМНЫЕ СТАНЦИИ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ"
СТЕНДОВАЯ И ТРЕНАЖЕРНАЯ ПОДГОТОВКА В АУДИТОРИЯХ ТРЕНАЖЕРОВ-СИМУЛЯТОРОВ Т-214
 Дорожная карта 4
АЛГОРИТМ
 оформления отчета по тренажерной подготовке по дисциплине

№	Раздел отчета	Кол-во страниц	Подгруппа											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Титул, Содержание	2												
2	Краткий анализ использования тренажеров для АЭС в России и за рубежом.	до 10	Бя-лак	Бе-лойр	Би-либ	Вол-годон	Кали-ниская	Коль-ская	Ле-нинг	Нов-Воро	Кур-ская	Смо-ленс		
3	Перечень тренажеров по АЭС в УрФУ (зал аналитических тренажеров-симуляторов и расчетных кодов)	1-2	Разработка и издание учебного пособия											
4	ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
5	Выполнение практического задания на тренажере «ТОМАС-1»	6-8	+					+						
6	Выполнение практического задания на тренажере «ТОМАС-2»	6-8		+					+					
7	Выполнение практического задания на тренажере «КОРСАР»	3-4			+					+				
8	Выполнение практического задания на тренажере «ЖОКЕР»	3-4				+					+			
9	Выполнение практического задания на тренажере «БН-800»	до 10					+						+	
10	Выводы, Заключение	1-2												
11	Библиография	2-3												
	ИТОГО	35-50												

Рис. 1. Дорожная карта тренажерной подготовки в УрФУ

Как видно из Дорожной карты, в начале дисциплины каждая подгруппа знакомится и описывает существующие на АЭС России профессиональные тренажерные комплексы, соответствующие типу реактора.

В рамках сжатого материала статьи не представляется возможным описать алгоритмы, задачи и функции всех тренажеров. Поэтому кратко представим только один из них – «ТОМАС-1, предназначенный для изучения процессов и взаимосвязей на реакторной установке ВВЭР-1000 [4].

Тренажер оперативного моделирования аварийных ситуаций «ТОМАС- 1» разработки ОАО ВНИИАЭС – это аналитический симулятор, позволяющий моделировать нормальные, переходные и аварийные режимы работы АЭС с ВВЭР-1000. В качестве прототипа выбран 4-й блок Балаковской АЭС.

Первоначально ТОМАС-1 использовался для обучения персонала АЭС в качестве наглядного пособия для демонстрации нормальных и аварийных режимов работы блока.

Состав аналитического тренажера (симулятора) «ТОМАС-1»

1. Математическая модель энергоблока, которая описывает нейтронно-физические, гидродинамические и логические процессы в оборудовании и системах управления АЭС.

2. Графическая система моделирования, управления и визуализации, которая позволяет осуществлять управление моделью и представлять результаты ее работы.

Перечень моделируемых систем симулятора «ТОМАС-1»

Ниже приводятся системы АЭС и соответствующие программные обозначения, моделируемые с помощью аналитического тренажера «ТОМАС-1»:

- активная зона – CR;
- система электроснабжения собственных нужд – ED;
- второй контур – MS;
- система герметичных помещений – OV;
- системы безопасности и основные регуляторы блока – RC;
- система аварийного охлаждения активной зоны – SI;
- первый контур – TH.

Нейтронно-физическая модель активной зоны симулятора «ТОМАС-1»

Нейтронно-физическая модель активной зоны, разработанная на основе программы HEXAN, обеспечивает детальное описание нейтронно-физических процессов в активной зоне в режимах пуска, нормальной эксплуатации, при изменениях мощности и остановке блока, а также при авариях, сопровождающихся быстрым вводом реактивности, потерей теплоносителя, а также без срабатывания аварийной защиты реактора.

Трехмерная расчетная модель адекватно описывает следующие нейтронно-физические процессы активной зоны:

- эффекты реактивности по температуре топлива, плотности и температуре теплоносителя;
- эффективность органов СУЗ и системы борного регулирования;
- отравление ксеноном и самарием, разотравление.

Модель первого контура симулятора «ТОМАС-1»

Теплогидравлическая модель первого контура реакторной установки и его вспомогательных систем, разработана на основе кода RETACT с исходным набором данных, соответствующих блоку-прототипу.

RETACT – это программа, разработанная для моделирования теплогидравлических процессов в реакторной установке и парогенераторах. Программа позволяет в реальном масштабе времени моделировать процессы как в режиме нормальной эксплуатации, так и в авариях, связанных с отказами разных систем и оборудования АЭС (включая максимальную проектную аварию).

Изображение окна «Схема первого контура» в аналитическом симуляторе «ТОМАС-1» представлено на рис. 2.

Модель второго контура симулятора «ТОМАС-1»

Моделирование турбинной части разработана с помощью кода CMS (Compressible Mixture Solver) для теплогидравлической сети с двухфазной сжимаемой средой

Теплогидравлическая сеть включает следующие элементы:

- четыре парогенератора (моделируются в виде граничных условий);
- проточная часть турбины с семью отборами (моделируемые как узлы);
- сепаратор и первая ступень парогенераторов;
- вторая ступень пароперегревателя (моделируется как теплообменник типа «точка в точке»);
- Коллектор собственных нужд (моделируется в виде узла сети)
- основные конденсаторы турбины (моделируются как один эквивалентный объём);
- четыре подогревателя низкого давления ПНД (моделируются как теплообменник поверхностного типа);
- два подогревателя высокого давления ПВД;

- один эквивалентный;
- два турбопитательных насоса.

Изображение окна «Схема второго контура» в аналитическом симуляторе «ТОМАС-1» представлено на рис. 2.

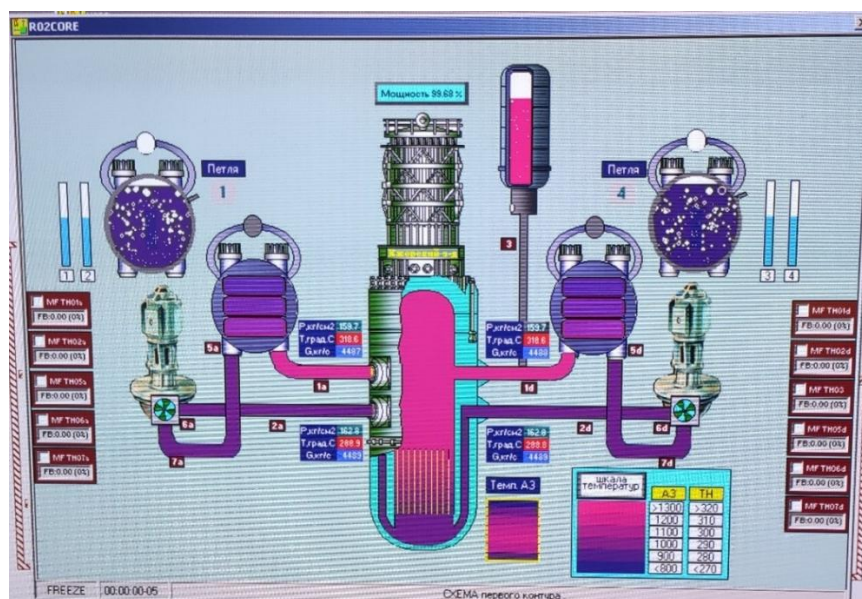


Рис. 2. Вкладка «Схема первого контура» в тренажере «ТОМАС-1»

Модель системы герметичных помещений симулятора «ТОМАС-1»

Система герметичных помещений включает в себя герметичные помещения, локализирующую арматуру, бассейн выдержки отработанного топлива. Изменения теплофизических параметров парогазоводяной смеси в объемах герметичной оболочки моделируются с помощью кодогенератора CMS (Compressible Mixture Solver). Теплогидравлическая сеть системы герметичных помещений включает в себя:

1. Четыре объема, соединённых между собой воздухопроводами с расположенными на них вентиляторами, запорной арматурой, теплообменниками.
2. Трубопроводы для связи объемов по воде.
3. Теплообменники внутри объемов для моделирования выделения тепла от оборудования.
4. Граничные условия для моделирования связи объемов с окружающей атмосферой.
5. Входные потоки в объемы для моделирования потоков воды и пара в герметичной оболочке, возникающих при разрывах первого и второго контуров.

Системы безопасности и основные регуляторы блока

Симулятором моделируются следующие системы защиты:

Аварийная защита реактора действует при появлении сигнала «АЗ». Аварийная защита осуществляется падением всех групп ОР до крайнего нижнего положения за 4 секунды.

Действия предупредительной защиты первого рода осуществляется при появлении сигнала «ПЗ-1». Защита осуществляется последовательным движением вниз всех групп ОР в определённой последовательности, начиная с регулирующей группы, со скоростью 2 см/с до снятия сигнала «ПЗ-1».

Изображение окна «Панель аварийных сигналов и первопричин АЗ» в аналитическом симуляторе «ТОМАС-1» представлено на рис. 3.

Проблемы тренажерной подготовки

Основным недостатком имеющихся тренажеров-симуляторов является их моральное устаревание. Поэтому в полный рост встает задача обновления тренажерной базы с учетом развития атомной энергетики и новых внедряемых реакторных установок (ВВЭР-100, БН-1200, «Брест-300-ОД»).

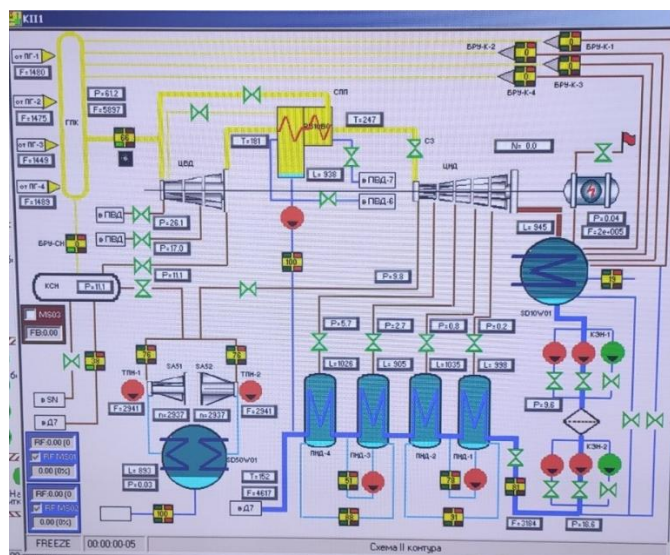


Рис. 3. Вкладка «Схема второго контура» в аналитическом тренажере «ТОМАС-1»

В этом направлении Уральский федеральный университет уже имеет заделы и конкретные договоренности с концерном «Росэнергоатом».

Заключение

1. Использование программно-тренажерных средств при обучении студентов кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» продемонстрировало интерес студентов к практическому освоению дисциплины.

2. Подготовка на тренажерах в рамках вузовской программы формирует базовые навыки работы будущих операторов БЩУ в управлении, анализе информации, представлении хронологии событий на ядерной энергетической установке.

3. Обучение на тренажерах имеет особую значимость для опережающей подготовки эксплуатационного персонала АЭС всех типов.

4. Ввиду ввода в строй новых и перспективных блоков АЭС (ВВЭР-1200, БН-1200) в настоящее время стоит первоочередная задача обновления тренажерной базы и дальнейшего совершенствования тренажерного процесса.

Список литературы

1. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Карпенко А.И., Бельтюков А.И., Тучков А.М. Опыт подготовки специалистов для инновационной ядерной энергетики / XIV Международная конференция «Безопасность АЭС и подготовка кадров»: тезисы докладов. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ. – 2015. – С. 5457.
2. Щеклеин С.Е., Ташлыков О.Л., Велькин В.И., Шастин А.Г., Дементьев В.Н., Маркелов Н.И., Сорокин Ю.И. Опыт сотрудничества концерна «Росэнергоатом» и Уральского государственного технического университета в области подготовки специалистов для технического обслуживания и ремонта оборудования АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2004. – №3. – С.121129.
3. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Новые технологии подготовки специалистов для инновационного энергоблока АЭС с реактором БН800 / Новые образовательные технологии и ПОДГОТОВКА КАДРОВ в вузе: сб. материалов VII Международной научно-методической конференции, 8 – 10 февраля 2010 г. В 2х частях. Часть 2. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУУПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 2010. С.401-406.
4. Ташлыков О.Л., Носов Д.А. Использование симуляторов «ТОМАС1», «ТОМАС2» для моделирования переходных режимов, вызванных нарушениями в ремонте оборудования АЭС / XI Международная конференция «Безопасность АЭС и подготовка кадров – 2009»: тезисы докладов, Обнинск, 29 сентября – 2 октября 2009 г. в 2 – т. Т. 2. – Обнинск: НОУ «ЦИПК». – 2009. – С. 67-68.