

УДК 621.039.51

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
И ТРЕНАЖЕРЫ-ИМИТАТОРЫ В КАЧЕСТВЕ
ИНСТРУМЕНТОВ ОПТИМИЗАЦИИ ВУЗОВСКОЙ
ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА АЭС**

М.А. Вольман, В.К. Семенов

Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина, г. Иваново

E-mail: maria_volman@mail.ru

Вольман Мария Андреевна,
ассистент кафедры АЭС Ива-
новского государственного
энергетического университета
имени В.И. Ленина.
E-mail: maria_volman@mail.ru
Область научных интересов:
энергетика

**Семенов Владимир Кон-
стантинович**, д-р техн. наук,
профессор кафедры АЭС
Ивановского государственного
энергетического универси-
тета имени В.И. Ленина.
E-mail: semenov_vk@mail.ru
Область научных интересов:
энергетика

Потребность атомной отрасли в квалифицированном персонале делает актуальной проблему оптимизации вузовской подготовки специалистов для эксплуатации ядерных энергоблоков. Эта подготовка должна быть основана на компетентностно-ориентированном подходе. Описан комплекс обучающих программ, внедрение которого может способствовать решению этой задачи. В рамках комплекса компьютерное моделирование используется для численных экспериментов по кинетике ядерных реакторов в среде Mathcad, а имитационное моделирование проводится на компьютерном и полномасштабном тренажерах блока атомной электростанции с ВВЭР-1000 для симуляции нейтронно-физических реакторных измерений и процесса пуска-останова блока. Внедрение предлагаемого подхода, который, в свою оче-

редь, является важной составной частью общей концепции вузовской подготовки оперативного персонала, позволяет практически вдвое сократить сроки адаптации выпускников вуза на рабочих местах.

Ключевые слова:

АЭС, ВВЭР-1000, подготовка персонала, математическое моделирование, компьютерные тренажеры.

Важным фактором, гарантирующим безопасную и надежную эксплуатацию сложных технологических объектов и производств, является высокий уровень подготовки персонала. В любой сфере промышленной деятельности, в том числе в атомной энергетике, многие аварии обусловлены ошибками человека. По разным оценкам, по вине операторов произошло от 15 до 40 % всех аварий и от 20 до 80 % всех нарушений в работе атомных станций (широкий диапазон оценок обусловлен различными методиками сбора данных и разноречивой интерпретацией самого понятия «ошибка»). При этом к наиболее значимым источникам ошибочных действий персонала наряду с некорректными процедурами и неадекватным человеко-машинным интерфейсом традиционно относят неэффективную подготовку. Причем факторами подготовки, создающими почву для ошибок операторов, являются их профессиональная неподготовленность (отсутствие профессиональных знаний) и профессиональная детренированность (отсутствие умений использовать знания в конкретных ситуациях).

С другой стороны, в нашей стране имеются значительные планы по развитию ядерной энергетики. При интенсивном строительстве новых станций и продлении сроков эксплуатации существующих объектов возрастает потребность и в количестве высококвалифицированного персонала. А в связи с тем, что многие из тех, кто работает сейчас в атомной отрасли, в ближайшее время достигнут пенсионного возраста, эта проблема встает еще более остро, и кадровое обеспечение предприятий должно осуществляться за счет внешних источников, в первую очередь выпускников высших учебных заведений. Вузы должны оправдывать возрастающие потребности в выпускниках и уровне их подготовки. Поэтому актуальной представляется проблема оптимизации вузовской подготовки будущего оперативного персонала АЭС.

При этом проблема комплексного подхода к разработке инструментов, используемых в образовательном процессе, по-прежнему остается актуальной. Несмотря на то что современные компьютерные средства уже давно стали неотъемлемой частью вузовской подготовки, важно,

чтобы их применение было эффективным. Следует выбирать подходящие средства обучения, которые, решая узкие задачи освоения тех или иных моментов будущей профессиональной деятельности, образуют некую систему. А планомерное освоение этой системы ведет к формированию у будущего выпускника необходимых знаний, умений и навыков, что соответствует компетентностно-ориентированному подходу к образованию.

Нами была поставлена задача разработки обучающего комплекса, объединяющего единой концептуальной основой применение компьютерного и имитационного моделирования в вузовской подготовке специалистов для управления реактором. И так как на ближайшие 20–30 лет основным типом атомных энергетических установок по оценкам экспертов будут являться установки на тепловых нейтронах с водо-водяными атомными реакторами ВВЭР, акцент был сделан на реакторы именно этого типа.

Элементы комплекса направлены на формирование глубокого понимания процессов, происходящих в реакторе (в основе лежит их математическое моделирование), а также на выработку навыков управления ими (за счет применения тренажерных комплексов).

Первая часть – компьютерный лабораторный практикум по кинетике реактора. Практикум основывается на реализации численных экспериментов, объединенных в программный комплекс [1], реализованный в среде Mathcad, и предназначенных для углубленного изучения и закрепления материала по кинетике водо-водяных ядерных реакторов. Каждая лабораторная работа содержит теоретический раздел и практическую часть. Кинетика реактора представляет собой задачу Коши на основе системы нелинейных дифференциальных уравнений, уравнения отличаются разными временными масштабами: от 10^{-4} до 4 с, т. е. относятся к классу так называемых жестких дифференциальных уравнений, поэтому их интегрирование осуществлено в среде Mathcad на основе алгоритма RADAUS [2].

Численные эксперименты позволяют количественно оценить ряд важных для теории и практики нейтронно-физических процессов в ядерном реакторе. Сюда относятся:

- исследования устойчивости реактора при малых случайных возмущениях реактивности;
- исследования динамики разгона реактора в аварийных режимах с любым наперед заданным законом роста реактивности реактора во времени;
- исследования динамики перехода реактора с одного уровня мощности на другой;
- исследования динамики глушения реактора при сбрасывании стержней аварийной защиты с учётом конечного времени падения стержней и соответствующим законам ввода реактивности.

Кроме того, подключение подпрограмм, определяющих изменение реактивности реактора вследствие изменения концентрации борной кислоты или отравления реактора ксеноном и самарием, позволяет количественно исследовать кинетику реактора при многофакторном изменении его реактивности. Модели позволяют изучить широчайший спектр вопросов, связанных с процессами, происходящими в реакторе, дают возможности для понимания физики этих процессов, наглядно показывая важнейшие параметры, влияющие на динамику реактора.

Вторая часть обучающего комплекса касается реакторных измерений. Безопасный пуск и последующая эксплуатация ядерного реактора возможны только при знании его нейтронно-физических характеристик с точностью, удовлетворяющей требованиям правил ядерной безопасности и теплотехнической надежности активной зоны. Овладение техникой физического эксперимента является одной из важнейших задач при подготовке специалистов. Добиться этого можно за счет использования компьютерных тренажеров. Однако для этого необходимо наличие соответствующего методического обеспечения. Была проведена необходимая адаптация методик нейтронно-физических измерений к компьютерному имитатору. В основу положены РД «Типовые программы и методики проведения физических экспериментов на энергоблоках АЭС с ВВЭР-1000» [3, 4]. Этот документ устанавливает объем, методики и порядок проведения физических экспериментов (алгоритмы выполнения операций) с целью определения нейтронно-физических характеристик ядерного энергетического реактора, требования к исходному состоянию реакторной установки перед началом конкретного эксперимента, технические ограничения и меры по обеспечению ядерной безопасности, действия персонала в случае изменения состояния реакторной установки, необходимого для проведения работ, а также критерии успешности и контроль правильности выполнения экспериментальных исследований.

Для экспериментальной части практикума используется Функциональный аналитический тренажер (ФАТ) энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000 (В-320), реализованный на персональном компьютере в среде 3KeyMaster™, программный продукт ООО «Вестерн Сервисес». В основе ФАТ лежит математическое моделирование нейтронно-физических, тепломеханических, теплофизических и других процессов и, как следствие, построение модели функционирования энергоблока в различных режимах. Широкие возможности ФАТ позволяют проводить эксперименты над активной зоной, моделировать различного рода штатные и аварийные ситуации. Мобильность и удобство при работе на персональном компьютере позволяют эффективно использовать ФАТ в учебном процессе.

Каждая лабораторная работа по реакторным измерениям включает: теоретический раздел; экспериментальную часть, содержащую адаптированные к компьютерным имитаторам существующие методики нейтронно-физических измерений; практическую часть, представляющую собой программы и методики обработки результатов экспериментов. Реализуются следующие реакторные эксперименты:

- определение температурного, барометрического и плотностного коэффициентов реактивности на минимально контролируемом уровне мощности реактора;
- определение мощностного, температурного, барометрического и плотностного коэффициентов реактивности на энергетических уровнях мощности реактора;
- определение дифференциальных и интегральных эффективностей групп ОР СУЗ и коэффициента реактивности по концентрации борной кислоты в реакторе на минимально контролируемом уровне мощности;
- определение эффективности аварийной защиты реактора и эффективности наиболее эффективного органа регулирования СУЗ;
- определение мощностного коэффициента и мощностного эффекта реактивности при увеличении мощности реактора от минимально контролируемого уровня до одного процента номинальной величины.

Кроме того, практикум может быть реализован и с использованием полномасштабного тренажера (ПМТ) блочного щита управления (БЩУ) того же энергоблока, которым располагает кафедра АЭС Ивановского государственного энергетического университета. ПМТ – программно-технический моделирующий комплекс, предназначенный для профессионального обучения оперативного персонала АЭС с использованием полномасштабной модели реального БЩУ и комплексной всережимной математической модели энергоблока, функционирующей в реальном масштабе времени.

Тренажерная подготовка является очень мощным инструментом по формированию профессиональных компетенций будущего специалиста. Третьей частью описанного обучающего комплекса является симуляция на компьютерном и полномасштабном тренажерах процессов пуска и останова блока. Этот раздел разработан на основе типовой пошаговой программы пуска-останова с учетом базового перечня операций по пуску-останову, порядка и последовательности их выполнения для энергоблока АЭС ВВЭР-1000 с реакторной установкой В-320. Освоение студентами данной части обучающего комплекса позволяет им не только изучить принцип действия отдельных элементов энергоблока, но и исследовать их взаимные связи, закрепить и систематизировать теоретические знания, приобрести навыки управления сложным технологическим объектом.

ПМТ за счет наличия в натурном варианте БЩУ и ощущения реальности происходящего позволяет, кроме всего прочего, проводить работу по выявлению индивидуально-личностных качеств, влияющие на успешность выполнения заданий на полномасштабном тренажере АЭС. Личностные особенности – один из компонентов, влияющий на скорость и эффективность формирования знаний, умений и навыков. Для оценки индивидуально-психологических особенностей студентов была выбрана стандартизированная валидизированная психодиагностическая методика – многофакторный личностный опросник Р. Кеттелла. Респондентам (обучаемым) предлагался ряд вопросов (всего 105) для определения некоторых их личностных особенностей студентов. В свою очередь, для определения групп студентов, справившихся с заданием на тренажере с разным уровнем успешности, использовался метод экспертных оценок, включающий оценивание по следующим показателям: техническая эруди-

ция, скорость принятия решения, общее впечатление. Соотнесение результатов показало, что у студентов с разным уровнем успешности выполнения задач тренажерной подготовки выявляются значимые различия в показателях выраженности личностных качеств. Их анализ дает возможность развивать методический аспект обучения на основе как комплексных решений, так и индивидуальных рекомендаций обучаемым по эффективной реализации этих качеств в ходе занятий.

Выводы

Интенсивное развитие и продление сроков эксплуатации объектов атомной энергетики, проблема обеспечения безопасности этих объектов определяют всевозрастающую потребность в высококвалифицированном персонале. Вузы должны удовлетворять потребности отрасли в выпускниках и уровне их подготовки. Оптимизация вузовской подготовки будущего оперативного персонала возможна за счет внедрения компьютерного моделирования и тренажеро-имитаторов в рамках комплексов обучающих программ. Внедрение предлагаемого подхода позволит практически вдвое сократить сроки адаптации выпускников вуза на рабочих местах.

Статья рекомендована к публикации по итогам работы V Международной молодежной конференции "Электроэнергетика глазами молодежи 2014".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свидетельство № 2014618789. Программный комплекс симуляции переходных процессов в ядерных реакторах: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / В.К. Семенов, М.А. Вольман; Иванов.гос.энерг.ун-т. – № 2014616344; заявл. 02.07.2014; за-регистр. 28.08.2014.
2. Кирьянов Д.В. Mathcad 13 в подлиннике. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 608 с.
3. РД ЭО 0150-2004. Типовые программы и методики проведения физических экспериментов на энергоблоках атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000. – М.: Росэнергоатом, 2005. – 273 с.
4. РД ЭО 0151-2004. Методики расчета нейтронно-физических характеристик по данным физических экспериментов на энергоблоках атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000. – М.: Росэнергоатом, 2005. – 101 с.

Поступила 3.02.2015 г.