

УДК 621.039.058

ОБ ОПЫТЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЕНАЖЕРА А

РЕАКТОРНОГО ЦЕХА АЭС В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Зенов В.М.

Анализируется опыт использования тренажера реакторного цеха атомной электростанции с водо-водяным энергетическим реактором ВВЭР-1000 в учебном процессе подготовки специалистов по организации эксплуатации и ремонта АЭС.

В Севастопольском институте ядерной энергии и промышленности на кафедре ядерных паропроизводящих установок уже более трех лет эксплуатируется тренажер реакторного цеха энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 с программно-математическим обеспечением тренажера «Клотик РЦ», установленного в учебно-тренировочном центре Хмельницкой АЭС. Тренажер работает в так называемом «терминальном» варианте, т.е. без реальных панелей и щитов, без реальных органов управления и контроля. В «виртуальном» виде они выводятся на экран монитора, являются доступными и для контроля, и для управления.

В течение указанного срока параллельно с учебным процессом продолжается опробование различных методических форм применения тренажера, поиск оптимальных вариантов его использования. Предприятием-разработчиком «Импульс-2» тренажера для Хмельницкой АЭС планировалась и разработка соответствующего учебно-методического обеспечения для занятий со студентами СИЯЭиП специальности «Атомная энергетика», а также поставка дубль-комплекта щитов, панелей, мнемосхем блочного щита управления энергоблоком. Однако из-за прекращения финансирования данного проекта институт не получил части своего заказа, что и сформулировало задачу применения тренажера в усеченной версии.

Тем не менее, следует отметить большие потенциальные возможности математической модели тренажера, являющейся ядром упомянутого программно-математического обеспечения, которые позволяют воспроизводить большинство режимов работы реакторной установки энергоблока, включая как режимы нормальной эксплуатации, так и аварийные, с отказами оборудования реакторной установки (РУ). Обучаемые имеют возможность изучать поведение реакторной установки в

целом и отдельного ее оборудования в самых различных фазах ее эксплуатации: подготовки к работе, разогрева, пуска реактора, набора нагрузки энергоблоком, маневрирования мощностью, работы с неполным числом циркуляционных петель, разгрузки, расхолаживания в паровом и водо-водяном режимах и т.п. Без каких-либо затруднений моделируются ситуации, связанные с остановками главных циркуляционных насосов, питательных турбонасосов, сброса нагрузки энергоблоком, посадки стопорных клапанов турбогенератора срабатывания и «непосадки» паросбросных клапанов. Не моделируются аварийные ситуации с потерей теплоносителя и относительно большими сечениями течи по причине резкого снижения величины шага интегрирования системы дифференциальных уравнений модели из-за необходимости обеспечения численной устойчивости для наиболее «чувствительных» уравнений сохранения импульса, определяющих распределение давлений в отдельных участках главного циркуляционного контура. Не моделируются также аварии «реактивностного» (чернобыльского) типа из-за необходимости иметь для этого модель активной зоны реактора с распределенными параметрами, а не «точечную» модель нейтронной кинетики.

Таким образом, за исключением указанных ограничений диапазон возможных применений модели в учебных целях чрезвычайно широк. Большая часть эксплуатационных режимов реакторной установки была успешно воспроизведена как на стадии разработки программно-математического обеспечения, так и в период опытной эксплуатации последнего в компьютерном классе кафедры ЯППУ СИАЭиП. Вместе с тем часть возможностей использования тренажера в нынешнем его состоянии оказалась скрытой от пользователей (преподавателей и студентов) по причине незавершенности разработки органов управления и контроля отдельными системами и механизмами. При этом в целях сохранения авторского права доступ к исходным текстам фирмой «Импульс-2» не был предусмотрен. Переговоры о решении данной проблемы в настоящее время ведутся.

Значительно более сложной задачей для кафедры в деле формирования навыков обучаемых по управлению РУ АЭС является невостребованность этих навыков у выпускников со стороны главных специалистов и руководителей структурных подразделений АЭС. Для них это качество не является обязательным по нескольким причинам. Во-первых, на первичной должности молодому специалисту не придется решать задачи такого уровня. Для приобретения же необходимого ценоза и «выхода» его на блочный щит управления необходимо еще немало времени. Во-вторых, не все выпускники данной специальности смогут стать (или просто изъявят желание стать) представителями высшего оперативного персонала станции, несущими главную ответственность за безопасное управление АЭС. Здесь обязательно скажется различный уровень профессиональной подготовки выпускников, наличие (или отсутствие) мотивированной уверенности и самостоятельности в своих действиях, уровень психологической устойчивости в нештатных

ситуациях и т.п. Все это, конечно, не снимает требований к оперативному персоналу низшего звена **безусловно знать основные принципы и главные особенности функционирования и управления ЯЭУ АЭС**. Об этом всегда помнит профессорско-преподавательский состав кафедры ЯППУ. Более того, необходимость тренажа как такового с соответствующим контролем и последующим анализом действий операторов РУ вытекает из самого опыта общения с оперативным персоналом АЭС (блочного типа управления энергоблоком (БЦУ) – в первую очередь) в период тренинга последнего на курсах повышения квалификации при кафедрах ЯППУ и Эксплуатации ЯЭУ АЭС в Севастопольском ИЯЭиП.

По указанным выше причинам в работе со студентами старших курсов преподавательским составом больше внимания уделяется не собственно тренажу, не отработке навыков по управлению реакторной установкой, а достижению максимального понимания особенностей нейтронно-физических и теплогидравлических процессов, протекающих в ядерной энергоустановке станции на примерах относительно небольшого набора ключевых (наиболее важных для безопасной эксплуатации) состояний. По этой же причине мы называем занятия студентов на нашем «терминальном» тренажере «предтренажерной подготовкой специалиста». Более того, для учебных занятий со студентами очной и заочной форм обучения достаточно широко используется и такой вариант программно-математического обеспечения, который является лишь частью ПМО тренажера «Клотики РЦ», однако охватывает модели основного оборудования реакторной установки, главных регуляторов технологических параметров и позволяет проводить настоящие исследования отклика РУ на различного рода возмущения. Наиболее важным здесь является гибкая форма представления результатов моделирования, возможность вывода в любом удобном виде любых расчетных параметров РУ, включая те, что не выводятся на показания приборов или не могут быть выведены для индикации как на тренажере, так и на реальном оборудовании управления и контроля БЦУ энергоблоком.

С позиций сегодняшнего опыта применения тренажера целесообразно остановиться на некоторых трудностях, с которыми, возможно, сталкиваются и другие владельцы подобных комплексов. Первое серьезное затруднение – это жестко заданный режим реального времени. Так, разогрев реакторной установки до спецификационных параметров требует около 10 часов астрономического времени, подъем подвижных поглотителей системы управления и защиты реактора в штатное (для пуска реактора) положение – примерно 1,5 часа, вывод реактора в критическое состояние – около 5 часов и т.д. А обычное занятие имеет протяженность в два академических часа. В данном факте нет ничего страшного, есть только необходимость введения дополнительного большого числа промежуточных исходных состояний реакторной установки, с которых

можно было бы **начинать** запланированное занятие, **не теряя времени на предварительный перевод РУ в требуемое состояние.**

Возможность увеличения вычислительных ресурсов откроет новые перспективы применения тренажерных комплексов. В частности, можно повысить точность моделирования переходных теплогидравлических процессов, уменьшить вероятность численной неустойчивости и осцилляции режимных параметров за счет снижения нижней границы величины шага интегрирования, введения более сложных, но устойчивых расчетных схем решения основных уравнений математической модели. Это дало бы возможность включить в состав изучаемых явлений, например, аварии с большими течами теплоносителя, вплоть до разрыва главного циркуляционного трубопровода. Пока в реальном масштабе времени это под силу многопроцессорным системам специализированных компьютеров (полномасштабные тренажеры АЭС).

Совсем не лишним для «терминального» тренажера на базе компьютерного класса было бы использование современных демонстрационных средств в период инструктажа обучаемых в подготовительной фазе занятия, а также для сокращения времени за счет проведения групповых консультаций и иного методического сопровождения (комментарии по – свойствам модели, поведению РУ, изменению сценария занятия, показу эталонных действий и т.п.) с помощью мультимедийного проектора на большой аудиторный экран.

Важной задачей остается объективность оценки действий обучаемого в процессе занятия (тренировки). Особую важность этот элемент учебного процесса приобретает для лицензируемого оперативного персонала АЭС. Пока мы имеем графический вывод нескольких (по выбору) параметров математической модели за время занятия, что, в принципе, дает некоторые возможности для анализа действий оператора. Однако в этом варианте интерфейса не хватает гибкости: невозможно назначить иной набор параметров; нельзя изменить масштаб наиболее важного или интересного фрагмента; не предусмотрены дополнительные ресурсы для хранения графической отчетной информации в целях последующего анализа и выявления прогресса обучаемого путем сопоставления (наложения) графической информации как с эталоном, так и с более поздними версиями (попытками) выполнения операций по управлению РУ.

ВЫВОДЫ

1. На кафедре ЯППУ СИАЭиП накоплен позитивный опыт применения «терминального» тренажера РУ АЭС с ВВЭР в целях изучения особенностей технологических процессов, а также в целях формирования навыков по управлению реакторной установкой В-320 с ВВЭР-1000.

2. В процессе эксплуатации тренажера выявлен ряд недоработок и недостатков, устранение которых позволит поднять качество проведения учебных занятий и подготовки специалистов на более высокий уровень, соответствующий современным требованиям атомной энергетики.

Поступила в редакцию 22.11.2001 г.