

4. Geant4: A simulation toolkit [Electronic resource]. – Mode of access: www.geant4.web.cern.ch – Date of access: 15.08.2019.

5. Исследование профиля энерговыделения в NaCl при электронном облучении / В. В. Ганн [и др.] // Вопросы атом. науки и техники. – 2005. – № 5. – С. 32–35.

Д. Л. ТРЕТИННИКОВ, А. В. ДОЙНИКОВА, П. К. НАГУЛА

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКЕ АЭС С ВВЭР С ПОМОЩЬЮ КОДА COCOSYS

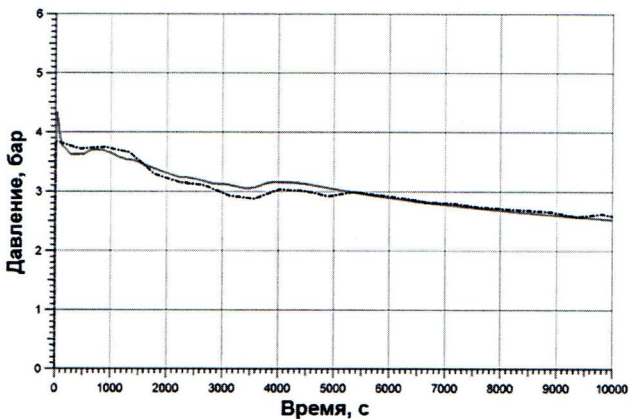
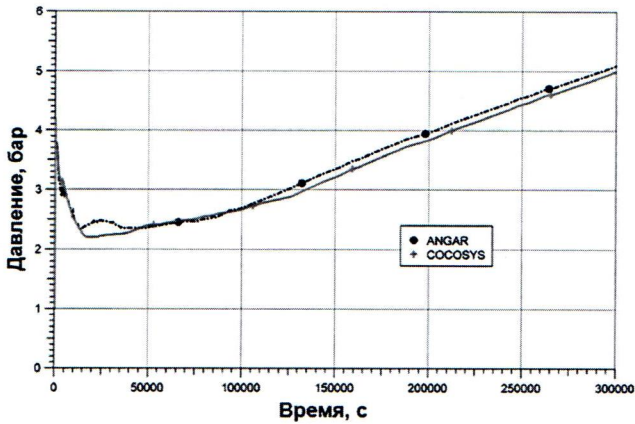
*Объединенный институт энергетических и ядерных исследований –
Сосны НАН Беларуси, Минск, Беларусь
E-mail: trdl@list.ru, sirius1991dav_asa@mail.ru, nagulapk@mail.ru*

Введение. В соответствии с требованиями [1, 2] в проекте АЭС должен быть представлен анализ безопасности при проектных авариях (ПА) и запроектных авариях (ЗПА), включая тяжелые аварии с расплавлением активной зоны. В [3] определено, что при анализе безопасности АЭС следует использовать соответствующие компьютерные коды по теплогидравлике. Для расчета параметров внутри защитных оболочек (ЗО) при ПА и ЗПА российскими проектировщиками АЭС с ВВЭР используются программные коды КУПОЛ-М и АНГАР. Данные программные средства аттестованы Ростехнадзором для моделирования термогидродинамических процессов в ЗО: изменения во времени давления, температуры, концентраций компонентов парогазовой среды в помещениях ЗО и других параметров с учетом работы систем безопасности. При анализе безопасности АЭС в соответствии с требованиями норм МАГАТЭ [4, 5] должна проводиться независимая оценка обоснования безопасности АЭС отдельными экспертами, не связанными с проектировщиками. Расчетное обоснование безопасности должно выполняться программными средствами, отличными от применяемых проектировщиками АЭС. В работе представлены результаты расчетного моделирования развития аварии в защитной оболочке АЭС с реакторной установкой (РУ) ВВЭР с помощью кода COCOSYS.

Материалы и методы. В качестве вычислительного инструмента использовался программный комплекс COCOSYS (версия v2.4), официально переданный в распоряжение специалистов Объединенного института энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси немецкими разработчиками (GRS) в рамках международной программы BE/RA/07 «Развитие технического сотрудничества в области ядерной безопасности». Данный код позволяет моделировать физические процессы, протекающие в защитной оболочке легководного ядерного реактора в ходе аварийных процессов [6]. В качестве объекта исследования рассматривалась защитная оболочка Балаковской АЭС с РУ ВВЭР-

1000/В-320. Для моделирования была выбрана ЗПА с «большой» течью из первого контура: разрыв главного циркуляционного трубопровода Ду850 полным сечением на входе в реактор с одновременным отказом всех источников переменного тока, включая дизель-генераторы, на длительный период [7].

Результаты и выводы. Для программного комплекса COCOSYS была разработана расчетная модель защитной оболочки АЭС с РУ ВВЭР-1000/В320, заданы начальные и граничные условия, учтены внекорпусная стадия аварии и аварийные процессы, протекающие в бассейне выдержки отработавшего топлива. Проведены расчеты параметров среды в защитной оболочке при ЗПА. Изменение давления парогазовой среды в защитной оболочке при рассматриваемой аварии представлено на рисунке. Основное влияние на ход кривой давления оказывают следующие события, происходящие в процессе протекания аварии:



Изменение во времени (слева – 300 000 с, справа – 10 000 с) давления среды в ЗО: красной сплошной линией – рассчитанное с помощью кода COCOSYS, черной штрихпунктирной – рассчитанное с помощью кода АНГАР

первый пик давления и температуры в ЗО появляется вследствие образования течи первого контура и выброса большого количества парогазовой смеси через разрыв;

второй пик давления в ЗО образуется вследствие подачи охлаждающей жидкости в первый контур из гермоемкостей системы аварийного охлаждения активной зоны реактора;

через ~ 1 ч 40 м (6000 с) с момента начала аварии происходит проплавление днища корпуса реактора и начинается выход расплава в бетонную шахту. Взаимодействие расплава с бетоном сопровождается поступлением пара и неконденсируемых газов в ЗО;

через ~ 23 ч (82 800 с) с момента начала аварии начинается поступление в ЗО пара, образующегося при кипении воды в бассейне выдержки, что приводит к повышению давления в ЗО.

Показано сравнение результатов с аналогичными расчетами, полученными с помощью аттестованного Ростехнадзором программного средства АНГАР, которое используется российскими специалистами. Результаты расчетов по обоим программным средствам хорошо согласуются. Таким образом, можно сделать вывод, что код COCOSYS позволяет проводить расчетную оценку процессов, протекающих в ЗО при аварийных режимах на АЭС, и может быть использован для независимой оценки обоснования безопасности АЭС, требуемой нормами МАГАТЭ.

Литература

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций: федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-001-15. – Введ. 17.12.2015. – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2015. – 74 с.
2. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций: федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-082-07. – Введ. 10.12.2007. – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2007. – 26 с.
3. Оценка безопасности и независимая проверка для атомных электростанций. Руководство по безопасности: серия изданий по безопасности NS-G-1.2. – Вена: МАГАТЭ, 2004. – 109 с.
4. Детерминистический анализ безопасности атомных электростанций: серия изданий по безопасности № SSG-2. – Вена: МАГАТЭ, 2014. – 95 с.
5. Безопасность атомных электростанций: проектирование: серия изданий по безопасности № NS-R-1. – Вена: МАГАТЭ, 2003. – 60 с.
6. COCOSYS V2.4: User's Manual. – Berlin: Gesellschaft für Anlage-und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, 2010. – 590 p.
7. Расчет параметров парогазовой среды в защитной оболочке ВВЭР-1000/В-320 при тяжелой запроектной аварии с учетом работы системы аварийного фильтруемого сброса газов [Электронный ресурс] // Сборник трудов 9-й Международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», Подольск, 19–22 мая 2015 г. – Подольск: ОКБ «Гидропресс», 2015. – Режим доступа: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2015/autorun/article91-ru.htm>. – Дата доступа: 25.08.2019.