

для детерминистического подхода — повышение невозмущенных неравномерностей энергораспределения на 5—7% за счет внедрения уменьшенной аксиальной и радиальной утечек или на столько же мощности активной зоны без ущерба для безопасности, что даст существенный экономический эффект;

для реалистического подхода — корректное моделирование энергораспределения в наилучшем приближении, ранний подход — идеализированное распределение без учета возмущений критиковался экспертами МАГАТЭ;

для вероятностного подхода — распределение максимальной локальной мощности.

Полученные результаты показывают возможности повышения обоснованности выбора начальных условий в детерминистическом и вероятностном анализах, оптимизации профилирования обогащения топлива в ТВС и в конечном счете снижения топливной составляющей стоимости атомной энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88/97). ПНАЭ Г-01-011-97. — Атомная энергия, 1997, т. 83, вып. 6, с. 469—497.
2. Шумский Б.Е., Пинегин А.А. Анализ консервативных подходов исследования аварий ВВЭР при трехмерном представлении активной зоны. — В сб.: XII семинар по проблемам физики реакторов. ВОЛГА-2002, с. 197—199.
3. Пономаренко Г.Л., Васильченко И.Н., Воронков А.В. и др. Исследование возможности повышения технико-экономических характеристик активной зоны ВВЭР-1000 с использованием вероятностного анализа возмущений зазоров. — В сб.: 2-я Всерос. конф. по безопасности АЭС с ВВЭР, Подольск, ОКБ «Гидропресс», 19—23 ноября 2001 г., с. 73.
4. Пономаренко Г.Л., Воронков А.В., Горохов А.К. Вероятностный метод оценки влияния зазоров между ТВС на энерговыделение в активной зоне ВВЭР-1000. — Атомная энергия, 2001, т. 91, вып. 1, с. 8—13.
5. Пономаренко Г.Л. Учет влияния искривления ТВС ВВЭР-1000 на мощность твэлов. — Там же, 1999, т. 87, вып. 3, с. 210—213.
6. Горохов А.К., Воронков А.В., Косоуров К.Б. и др. Учет отклонения межкассетных зазоров при обосновании безопасной эксплуатации реакторов ВВЭР-1000. — В сб.: 2-я Всерос. конф. по безопасности АЭС с ВВЭР, Подольск, ОКБ «Гидропресс», 19—23 ноября 2001 г., с. 23.
7. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций ПБЯ РУ АС-89, ПНАЭ Г-1-024-90.
8. Lunin G.L., Dragunov Yu.G., Voznesenskiy V.A. Russian advanced ВВЭР reactor designs. — Nucl. News, 2002, p. 28—36.

Поступила в Редакцию 25.12.02

УДК 621.039.553

СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК ЖИДКОСТНЫХ СИСТЕМ ОСТАНОВА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Бубнова Т.А., Ионайтис Р.Р. (ФГУП НИКИЭТ им. Н.А. Доллежалея)

Классификация. Жидкостные системы останова используются в ядерных энергетических установках как вторые системы, построенные на ином принципе действия, чем стержневые [1—11]. Они классифицируются по таким признакам, как:

назначение (характер использования) — одно- (аварийная остановка реактора и/или длительное удержание в подкритическом состоянии) и многоцелевые (комбинированные, совмещающие функции останова и регулирования и/или аварийного охлаждения);

принцип (физический процесс) воздействия на реактивность — поглощением, изменением утечки нейтронов за пределы активной зоны (слив или вытеснение отражателя), спектра нейтронов (например, слив замедлителя и др.);

метод воздействия на реактивность — изменением концентрации поглощающих ядер в охлаждающей или замедляющей жидкости, введением поглощающей жидкости в приемные камеры, изменением объема воздействующей на реактивность жидкости;

размещение воздействующей на реактивность жидкости в активной зоне — в объеме реактора (замедлителя, теплоносителя), в каналах, распределенных по зоне (в приемных камерах, каналах со стержнями-поглотителями) или на ее периферии (в отражателе);

скоростная эффективность — быстро- (аварийная защита, аварийный останов) и медленнодействующие (для длительного удержания);

химический состав воздействующей на реактивность жидкости — водные растворы (соединения бора и гадолиния), чистая вода (обычная, тяжелая), жидкие металлы;

место размещения объема поглотителя — собственные емкости за пределами или внутри объема реактора, емкости других реакторных систем (аварийного охлаждения и др.);

способ удержания воздействующей на реактивность жидкости вне зоны — давлением реакторной среды, управляющего газа, запорной арматурой;

способ подачи поглотителя в реактор — насосами (активный традиционный), самотеком и/или давлением газовой (паровой) подушки (пассивный);

тип источника управляющего газа — собственный отдельный аккумулятор или пространство над/под уровнем поглотителя/замедлителя, газовое хозяйство реакторной установки, пар из компенсатора объема или объема реактора;

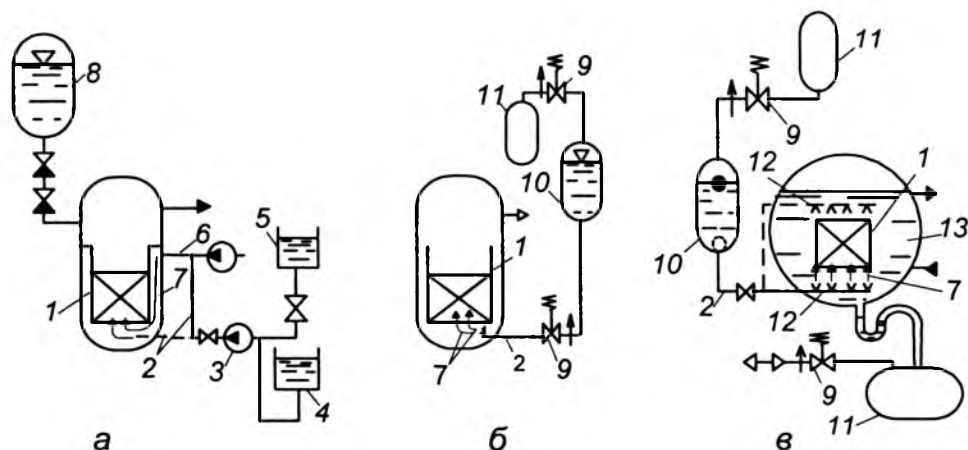
способ подключения источника управляющего газа к объему с поглотителем — постоянный (без арматуры на газовой линии), при срабатывании запорного или обратного клапана;

способ стабилизации уровня — газодренажные трубки с косым срезом или стабилизационными отверстиями, стабилизационные баки с трубками-стабилизаторами;

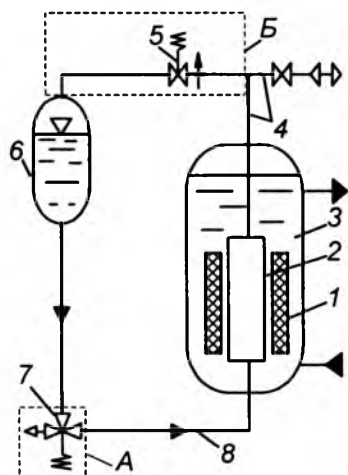
способ управления — от управляющей системы, от прямого воздействия режимного параметра, от пассивных инициаторов, ключа оператора, ручное;

место ввода поглотителя — подводящие трубопроводы теплоносителя, опускаемой участок реактора, нижний объем реактора, парогазовый объем (над зоной);

способ разводки труб для подвода поглотителя — групповая или индивидуальная, вне реактора (стыковка с трубопроводом теплоносителя, патрубками реактора, приемными камерами) и/или внутри (подвод поглотителя непосредственно в активную зону);



Р и с. 1. Системы останова с вводом жидкого поглотителя в объем теплоносителя-замедлителя насосами (PWR, ВВЭР) (а), давлением газа (BWR) (б, в), со сливом замедлителя (CANDU, PHWR) (в): 1 — активная зона; 2 — линия ввода поглотителя; 3 — насос подачи поглотителя; 4 — бак с поглотителем для регулирования; 5 — бак аварийного запаса поглотителя; 6 — холодная ветка теплоносителя; 7 — направление подачи поглотителя; 8 — гидроаккумулятор системы охлаждения; 9 — быстродействующий клапан; 10 — гидроаккумулятор с поглотителем; 11 — ресивер с сжатым газом; 12 — распределительный трубопровод с соплами; 13 — замедлитель



Р и с. 2. Системы останова с вводом поглотителя в приемные камеры (каналы): 1 — активная зона; 2 — приемная камера (канал); 3 — объем замедлителя; 4 — линия сброса газа; 5 — быстродействующий клапан; 6 — аккумулятор с поглотителем; 7 — трехходовой быстродействующий клапан; 8 — линия ввода поглотителя (исполнение А — давлением управляющего газа, Б — самотеком)

способ предотвращения попадания управляющего газа в реактор — гидрозатвор, отключающие устройства (поплавковые), диафрагмы (мембраны), разделяющие газ и жидкость, устройства для сброса избыточного давления газа;

контролируемые параметры — положение уровня жидкости или высоты ее столба, концентрация поглотителя в канале, объем газа над уровнем воздействующей на реактивность жидкости в канале (при косвенном контроле положения уровня жидкости);

способ контроля положения уровня жидкости — термоэлектрический (по перепаду температуры на границе жидкость—газ), пневматический (барботажный — с подводом газа к границе раздела фаз), перепад давления под и над столбом и др.

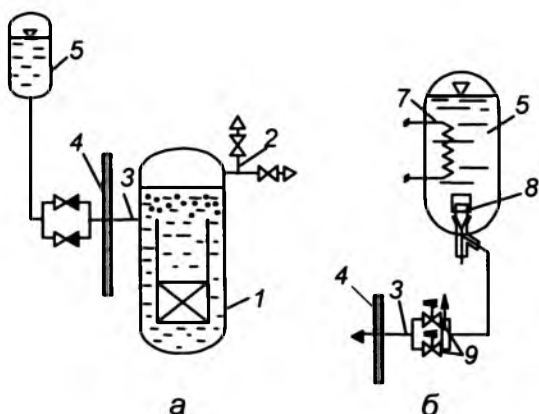
Системы останова, построенные на вводе поглощающей жидкости в объем реактора, реализованы, в основном, на корпусных реакторах (рис. 1). Канальные системы и системы со сливом замедлителя характерны для тяжеловодных реакторов (рис. 1, в, 2).

Жидкостные системы с вводом поглотителя в объем реактора. В большинстве реализованных систем поглотитель впрыскивается насосами в холодную ветку теплоносителя. Пассивные системы реализованы на всех тяжеловодных и

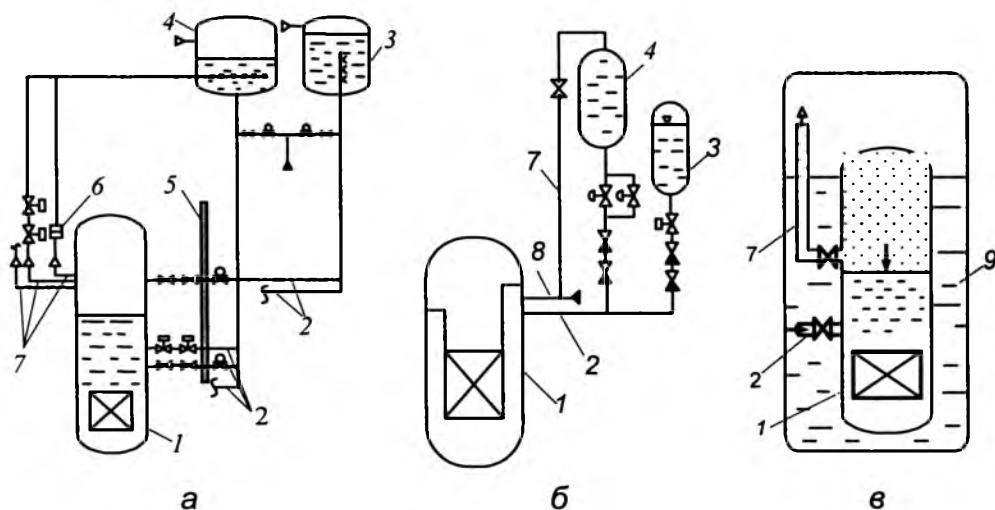
некоторых экспериментальных кипящих реакторах [1]. В связи с разработкой реакторов повышенной безопасности большое внимание уделяется разработке систем с пассивным вводом жидкого поглотителя в активную зону (рис. 3, 4, табл. 1). При этом часто используются принципиальные и конструкторские решения, принятые в системах аварийного охлаждения реактора. В некоторых разработках для ввода поглотителя используется нивелирный перепад и давление газа, что позволит обеспечить быстрый ввод поглотителя при снижении давления в объеме реактора и не

допустить попадания управляющего газа в реактор (рис. 3, а), только давление газа (рис. 3, б). Используется также смешанный ввод поглотителя: самотеком в холодную ветку теплоносителя на всас главного циркуляционного насоса, далее этим насосом в реактор (рис. 5). Такое подключение обеспечит гарантированную подачу поглотителя при обесточивании насоса за счет его выбега.

Большинство предлагаемых систем срабатывает при открытии удерживающей арматуры (обратных или запорных клапанов) на линии ввода поглотителя. Для надежности срабатывания системы используется блок из двух параллельных клапанов. В некоторых системах для этой цели исполь-



Р и с. 3. Одноцелевые жидкостные системы останова сбросом давления реактора (HSBWR, SBWR) (а), вводом поглотителя давлением газа (BK-300) (б): 1 — реактор; 2 — линия сброса давления; 3 — линия ввода поглотителя; 4 — защитная оболочка; 5 — аккумулятор с поглотителем; 6 — нагреватель; 7 — отсечной клапан; 8 — газо-жидкостный отсечной клапан



Р и с. 4. Комбинированные жидкостные системы останова впрыском поглотителя в парогазовый объем (ВПБЭР-600) (а), опускной участок (AP-600, SPWR) (б, в), из защитной оболочки (SPWR) (г): 1 — реактор; 2 — линия ввода поглотителя; 3 — гидроаккумулятор; 4 — гидроемкость; 5 — защитная оболочка; 6 — пассивное паросбросное устройство; 7 — линия сброса пара; 8 — холодная ветка теплоносителя; 9 — защитная оболочка

Т а б л и ц а 1. Основные параметры жидкостных систем останова с вводом поглотителя в объем реактора

Параметр	CANDU, PHWR [1]	SBWR-670 [4]	HSBWR-600 [9]	SPWR [9]	MS-600 [10]	ВПБЭР-600 [2]	AP-600 [9]	B-92 [6]	УБР-1500 [6]	БК-300 [8]	
Функция системы: основная	Аварийный останов						Аварийное охлаждение	Аварийный останов			
дополнительная	—	—	—	Регулиро- вание	—	Подпитка перво- го контура	Удержание в под- критическом состоя- нии	—	—	—	
Удержание погло- тителя	Гидравли- ческим столбом замедлите- ля	Клапаном	Давлением в реакторе, обратными клапанами			Давлением в реакто- ре, обрат- ными и запор- ными клапанами	Клапа- ном	Давлени- ем в реак- торе и обратны- ми клапа- нами	Клапаном	Задвижкой	
Ввод поглотителя	Давлением гелия	Силой тяжести	Давлением азота	Перепадом давления	Расши- рением парового объема в баке	Давлени- ем азота	Силой тяжести Давле- нием азота	Давлени- ем пара	Давлени- ем азота	Силой тяжести и насосами	Давлением азота
Место ввода по- глотителя	Сверху и снизу ак- тивной зо- ны	В байпасный (опускной) участок				Горячая ветка теп- лоносителе- ля	Парога- зовый объем	В опускной участок			
Поглотитель	Нитрат гадолиния	Пентаборат натрия	Боросодер- жащий	Борная кислота*		Борная кислота*	Борная кислота		Борная кислота**	Пентаборат натрия***	
Время ввода	1 с	180 с	—	—	—	—	—	—	—	180 с	

*, **, *** Концентрация в активной зоне 14,5, 16, 3 г/л соответственно.

*, **, *** Концентрация в активной зоне 14,5, 16, 3 г/л соответственно.

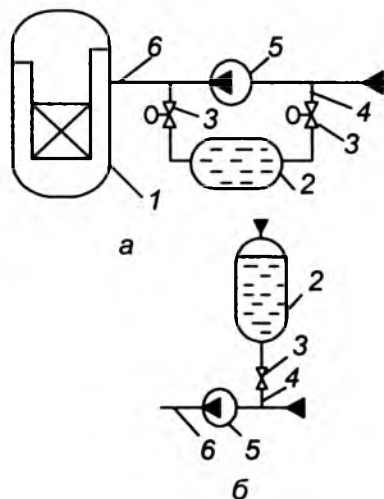
зуются клапаны, построенные на разных принципах действия. Для придания системе свойства прямодействия запорные клапаны предлагается открывать пассивными инициаторами, которые срабатывают при отказе стержневой системы останова [3]. Ложное срабатывание исключается последовательным размещением удерживающей арматуры (см. рис. 4, а, б).

Различаются следующие подходы к компоновке жидкостных систем останова: четыре бака эффективностью по 25% [5, 6], два бака эффективностью по 100% [8, 9], два бака, с последовательным их включением в работу по мере снижения давления в реакторе (см. рис. 4, а, б) [2, 9], размещение поглотителя в бассейне защитной оболочки реактора (см. рис. 4, в) [9].

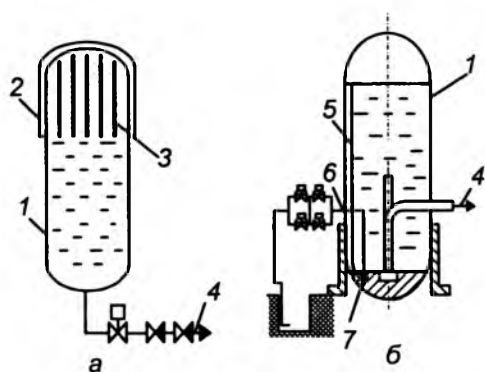
Равномерное распространение поглотителя в активной зоне обеспечивается подачей поглотителя в опускной участок по четырем веткам [5, 6] или через распределительный трубопровод [4], расположенный по периметру опускного участка.

Для исключения попадания управляющего газа в теплоноситель в некоторых системах используется пар. Например, в жидкостной системе реактора AP-600 (США) поглотитель вводится давлением пара из реактора при снижении в нем уровня ниже холодной ветки теплоносителя (см. рис. 4, б). В MS-600 (Япония) предлагается использовать баки с нагреваемой верхней частью (рис. 6, а). В этом решении управляющим воздействием для впрыска раствора борной кислоты является усилие, которое возникает при расширении пара, образующегося при вскипании воды в верхней части бака. В системах с газообразным азотом применяются сбросные или предохранительные устройства. Например, в системе инъекции борированной воды MS-600 предусмотрено устройство сброса давления газа, установленное в нижней части бака (рис. 6, б), в жидкостной системе ВК-300 на сливе из гидроемкости с поглотителем установлен газожидкостный (поплавковый) клапан, который перекрывает сливное отверстие при снижении уровня до определенной отметки (см. рис. 3, в).

Канальные жидкостные системы останова. В одной из первых канальной жидкостной аварийной защите SGHWR (Великобритания) использовался впрыск поглотителя давлением газа из автономных аккумуляторов за пределами реактора (см. рис. 2, исполнение А) [1]. Поглотитель удерживался в аккумуляторе трехходовым быстродействующим клапаном сложной конструкции. В аварийной защите CIRENE (Италия) использовались U-образные каналы, в которых уровень поглотителя под активной зоной удерживался давлением газа и быстро вводился в зону действия силы тяжести жидкости при выравнивании давления газа выше и ниже уровня жидкости (см. рис. 2, исполнение Б).



Р и с. 5. Жидкостные системы останова со смешанным вводом поглотителя с байпасным подключением бака с поглотителем (В-92) (а), самотеком на всас насоса (УВР-1500) (б): 1 — реактор; 2 — бак с поглотителем; 3 — запорный клапан; 4 — труба подачи поглотителя; 5 — циркуляционный насос; 6 — холодная ветка теплоносителя



Р и с. 6. Способы предотвращения попадания управляющего газа в объем реактора с нагреваемым баком (MS-600) (а) и с газосбросным устройством (MS-600) (б): 1 — бак с поглотителем; 2 — термозоляция; 3 — нагреватель; 4 — труба ввода поглотителя в реактор; 5 — газосбросная трубка; 6 — газосбросной тракт; 7 — газовый вихревой диод

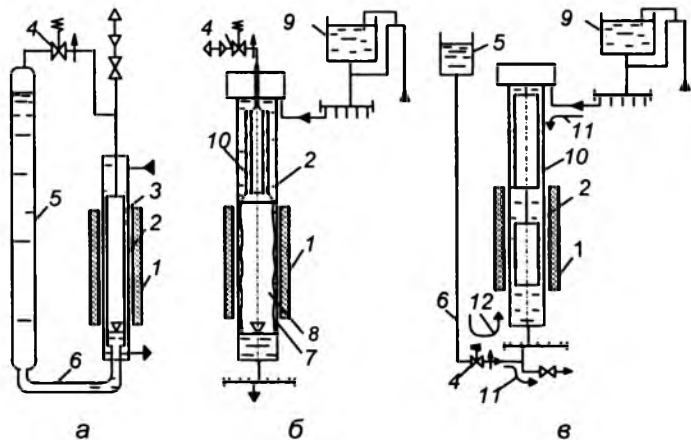
системы. Например, система, разработанная для АТУ-2 и РБМК, состоит из герметичных ампул, устанавливаемых в охлаждаемые каналы. Внутри каждой ампулы расположены аккумуляторы с текучим поглотителем, который удерживается над активной зоной давлением газа и вводится в приемные камеры, выполненные из мягких мембран, при сбросе давления газа [3].

Разработка новых канальных систем связана с созданием реакторов АТУ-2, МКЭР и повышением безопасности действующих РБМК (табл. 2). Для канальных уран-графитовых реакторов АМ-2 и МКЭР разработана жидкостная аварийная защита, построенная на том же принципе действия, что и аварийная защита в реакторе CIRENE (рис. 7, а) [8]. Особенность разработки заключается в организации развязки управляющих трубопроводов с системой охлаждения, поскольку приемные камеры устанавливались в охлаждаемые каналы, а не в объем замедлителя. Такая система имеет развитую сеть трубопроводов, поэтому ее сложно внедрить на действующих реакторах. Более простыми с этой точки зрения являются автономные

Т а б л и ц а 2. Параметры канальных жидкостных систем останова

Параметр	SGHWR-100 [1]	CIRENE—HWR [1]	АМ-2 [1]	МКЭР [7]	АТУ-2 [3]	РБМК [3, 11]
Назначение системы	Аварийный останов		Аварийный останов			Удержание в подкритическом состоянии
Число каналов	12	10	8	12	24	180
Поглотитель	Борат лития	Борная кислота		Нитрат гадолиния	Галлиевый расплав	Вода Борная кислота или нитрат гадолиния
Диаметр канала, мм	—	65	57	73	88	79 79
Высота зоны, м	—	4,85	2	5,5	3	7
Удержание поглотителя	Клапаном	Давлением кислорода		Давлением азота		Клапаном
Ввод поглотителя	Давлением газа (гелия)			Силой тяжести (самотеком)		
Концентрация поглотителя, г/л	—	15		20	—	— 8 — борная кислота, 4 — нитрат гадолиния
Место ввода	Отдельные охлаждаемые приемные камеры				Гибкие мембраны	Каналы со стержнями-поглотителями
Устройство сброса	Трехходовой распределитель		Блок клапанов (на газе)			Запорный клапан на жидкости
Время ввода, с	0,6—0,7	1	1—1,3		1,1—1,8	4—5 мин 10—15 мин

В настоящее время для РБМК актуальна разработка жидкостных систем, обеспечивающих длительное удержание в подкритическом состоянии в случае отказа стержневой системы остановки. Такие системы вводятся в действие только на остановленном реакторе. Для этой цели предлагалось учитывать поглощающие свойства охлаждающей воды или использовать охлаждающую воду для ввода в нее раствора поглотителя. Использование теплоносителя контура охлаждения системы управления и защиты в качестве поглотителя возможно в каналах с пленочным охлаждением,



Р и с. 7. Разрабатываемые каналные жидкостные системы останова с вводом поглотителя в отдельные охлаждаемые каналы (а), газовые полости каналов с пленочным охлаждением (б), контур охлаждения стержней-поглотителей (в): 1 — активная зона; 2 — канал охлаждения; 3 — приемная камера (канал); 4 — управляющее устройство (запорный клапан); 5 — напорный канал-бак с поглотителем; 6 — линия ввода поглотителя; 7 — пленка охлаждающей воды; 8 — газовая полость; 9 — бак аварийного запаса охлаждающей воды; 10 — стержень-поглотитель; 11 — подача поглотителя в объем теплоносителя; 12 — подача поглотителя в обезвоженные каналы по U-образной схеме

последнее предлагалось как вариант модернизации поглощающих стержней РБМК [3]. Каналы заполняются водой из бака аварийного запаса после сброса давления газа из полости канала (рис. 7, б). Особенности такой системы состоят в отсутствии затрат на поглотитель, а также очистки от него контура.

В разработке другой жидкостной системы для РБМК используется принцип ввода раствора поглотителя в теплоноситель контура охлаждения системы управления и защиты (рис. 7, в) [11]. Введение поглотителя в нижнюю часть контура с низким давлением позволило организовать его подачу самотеком в функционирующий контур и пустые каналы по U-образной схеме при обезвоживании контура. Особенность этой системы заключается в сухом хранении поглотителя при нормальной работе энергоблока. Раствор готовится в баке непосредственно перед срабатыванием системы. Это исключает несанкционированный ввод жидкого поглотителя в реактор и делает возможным использование в качестве баков свободных емкостей реакторной установки.

Экспериментальные исследования жидкостных систем останова. Они направлены на изучение распространения и перемешивания поглотителя при вводе в объем теплоносителя-замедлителя [12—16]. Почти все эксперименты проводят при атмосферном давлении и на холодной воде, поскольку на перемешивание влияет скорость потока, а не абсолютная температура и статическое давление.

Эксперименты по перемешиванию при вводе в объем реактора (теплоноситель) проводили на моделях BWR [12], PWR [13, 15] и ВВЭР [16] (табл. 3). Результаты экспериментов показали следующее:

при вводе поглотителя в реактор с работающими петлями распространение и перемешивание осуществляются только в одном квадранте, прилегающем к месту ввода;

при отключенных петлях поглотитель распространяется вниз и в боковых направлениях опускного канала, другая часть выносится через неработающие патрубки, концентрация поглотителя на входе в активную зону составляет не более 20—30%;

при вводе конечных объемов поглотителя наблюдалось чередование прохождения участков с высокой и низкой концентрацией поглотителя. При срабатывании жидкостной системы в реальных условиях это может привести к циклическим изменениям реактивности.

Т а б л и ц а 3. Сравнительные параметры экспериментов с вводом жидкости в объем теплоносителя

Параметр	Экспериментальная установка			
	BWR [12]	ROCOM [13]	B-MOV[15]	Стенд ВВЭР [16]
Масштаб	100%	1:5 (линейный)	1:4 (по длине) 1:500 (по объему)	1:5 (линейный)
Тип имитатора поглотителя	Хлористый кальций	Водный раствор соли	Раствор роданина	Горячая вода (60 °С)
Средства контроля	Кондуктометрические датчики		Лазерно-флуоресцентное устройство	Малоинерционные термодпары
Место ввода поглотителя	Нижний объем реактора	Опускной участок реактора		

Эксперименты по вводу жидкого поглотителя в циркуляционный контур проводились на гидродинамическом стенде-модели контура СУЗ-РБМК [14]. Поглотитель вводился самотеком под действием нивелирного перепада в нижнюю часть работающего контура, как в реальных условиях (см. рис. 7, в). Для имитации и визуализации распространения жидкого поглотителя использовался водный раствор нигрозина. В ходе экспериментов установлено, что для равномерного распространения и перемешивания поступающего в контур поглотителя продолжительность ввода в контур должна быть равна или даже немного больше времени полного оборота контурной воды.

Заключение. Жидкостные системы останова классифицированы по многим характерным признакам. Наиболее актуальными являются системы, построенные на пассивном вводе поглотителя в объем реактора (самотеком и/или давлением газа). В корпусных реакторах (PWR, BWR, ВВЭР) поглотитель вводится, в основном, в опускной участок, что обеспечивает его хорошее перемешивание с теплоносителем. Это подтверждено экспериментами и опытом эксплуатации. Эксперименты также показали, что оптимальное перемешивание поглотителя может быть обеспечено его качественным подводом и временем ввода, которое должно быть не меньше времени полного оборота контурной воды. Для РБМК перспективной является система с вводом поглотителя в контур охлаждения системы управления и защиты. Такую систему предложено внедрить на 5-м энергоблоке Курской АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ионайтис Р.Р. Нетрадиционные средства управления ядерными реакторами. М., МГТУ, 1992. 231 с.
2. Митенков Ф.М., Антоновский Г.М., Кууль В.С. и др. Энергетический реактор повышенной безопасности ВПБЭР-600 для АС нового поколения. — Атомная энергия, 1992, т. 73, вып. 1, с. 6—13.
3. Ионайтис Р.Р. Разработка системы остановки с газовой АЗ и водной системой длительного удержания. Годовой отчет НИКИЭТа, 1995, с. 85—87.
4. Upton H. Passively safe nuclear power generation for the twenty first century. — In: ICONE-4, v. 2, ASME, 1996, p. 379—393.
5. Афров А.М., Беркович В.М., Генералов В.Н. и др. Проект АЭС нового поколения, сооружаемой на площадке Нововоронежской АЭС. — Труды 11-го Межд. коорд. сов. МХО Интератомэнерго. М., 23-27.08.99. Приложение 1. 38 с.
6. Антоновский Г.М., Беляев А.А., Гуреева Л.В. и др. Энергоблок большой мощности с реактором УВР(1500). — Там же, приложение 6. 19 с.
7. Петров А.А., Черкашов Ю.М. Реакторная установка повышенной безопасности с многопетлевым кипящим реактором электрической мощности 1000 МВт. — Там же, приложение 8. 9 с.
8. Ионайтис Р.Р. Разработка трубопроводной арматуры безопасности РУ ВК-300. — Там же, приложение 28. 13 с.
9. Juhu P., Kupitz J., Cho B. e.a. IAEA activities on passive safety systems and overview of international development. — Nucl. Engng Des., 2000, v. 201, № 1, p. 41—59.
10. Tujikara Y., Oshibe T., Kijima K. e.a. Development of passive safety system for next generation PWR in Japan. — Ibid., p. 61—70.
11. Бубнова Т.А., Ионайтис Р.Р., Петров А.А. Жидкостная система длительного удержания РУ РБМК в подкритическом состоянии. Годовой отчет НИКИЭТа, 2001, с. 61—63.
12. Theofanous T. Boron mixing in the lower plenum of a BWR. — Nucl. Engng Des., 1991, v. 126, № 2, p. 245—255.
13. Grunwald G. Investigation of coolant mixing in PWR at the Rossendorf mixing test facility ROCOM. — In: Ann. Rep. 1998, Jul., p. 1—6 (Inst. für Sicherheitsforschung Forschungszentrum Rossendorf. Institute of Safety Research).
14. Бубнова Т.А., Ионайтис Р.Р., Фатеев Ю.Д. Экспериментальные исследования по вводу жидкого поглотителя в КО СУЗ РУ РБМК. Годовой отчет НИКИЭТа, 2000, с. 135—136.
15. Kiger K., Gavelli F. Boron mixing in complex geometries: flow structure detail. — Nucl. Engng Des., 2001, v. 208, № 1, p. 67—85.
16. Мелихов В.И., Мелихов О.И., Якуш С.Е. и др. Исследование разбавления бора в реакторе ВВЭР-1000. — Теплоэнергетика, 2002, № 5, с. 22—26.

Поступила в Редакцию 15.01.03

УДК 621.039.7

ПРИНЦИПЫ ПОДБОРА МАТРИЦ ДЛЯ ВКЛЮЧЕНИЯ ВЫСОКОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Бабаев Н.С., Очкин А.В. (Российский химико-технологический ун-т им. Д.И. Менделеева), Глаголенко Ю.В., Дзекун Е.Г., Ровный С.И. (ФГУП ПО «Маяк»)

Обращение с радиоактивными отходами является одной из основных проблем ядерной энергетики. Наибольшую опасность представляют жидкие высокоактивные отходы, образующиеся при радиохимической переработке отработавшего ядерного топлива. Их хранение в таком виде дорого и небезопасно, и они должны быть включены в матрицы, обеспечивающие надежную изоляцию от биосферы. В