

УДК 621.039.587/.588

С. В. Васильченко¹, И. Л. Козлов², В. Ю. Кочнева³, В. И. Скалозубов³¹ Институт поддержки эксплуатации АЭС, г. Киев² Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса³ Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, г. Киев

О НЕОБХОДИМОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ КВАЛИФИКАЦИИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗАПОРНО-ОТСЕЧНОГО КЛАПАНА НА ВОДУ / ПАРОВОДЯНУЮ СРЕДУ

Проведен анализ результатов квалификации быстродействующего запорно-отсечного клапана (БЗОК) на воду / пароводяную среду для малосерийных энергоблоков с ВВЭР-1000. Показано, что квалификация БЗОК на воду для малосерийных ВВЭР-1000 проведена недостаточно обоснованно и не может быть адаптирована для серийных ВВЭР-1000. Квалификация БЗОК на воду должна быть проведена также для “глубокозапроектных” аварий с учетом возможных ошибок персонала и множественных отказов на базе достаточно обоснованных критериев квалификации.

Ключевые слова: квалификация, быстродействующий запорно-отсечной клапан, пароводяная среда.

Проектные основы функционирования БЗОК.

Система быстродействующих запорно-отсечных клапанов предназначена для изоляции парогенератора (ПГ) по пару путем отсечения паропроводов на участке между ПГ и главным паровым коллектором (ГПК) в целях:

исключения аварийного расхолаживания 1-го контура при авариях с разрывом в системе паропроводов высокого давления;

ограничения заброса теплоносителя 1-го контура в ГПК при авариях с течью 1-го контура во 2-й.

В границы БЗОК включены следующие элементы: собственно задвижка по фланцы врезки в трубопровод, электродвигатель, привод, цепи силового питания, управляющие вентили, паропроводы обвязки, цепи питания управляющих вентилях.

Затвор задвижки приводится в действие рабочим цилиндром, управляемым от собственной среды или от электропривода. Рабочее положение запорной задвижки — открытое; при этом корпус и рабочий цилиндр находятся под давлением среды. Открытие БЗОК при наличии перепада давления $P > 1$ кгс/см² осуществляется собственной средой. При $P \leq 1$ кгс/см² открытие может производиться с помощью встроенного электропривода и автоматической муфты. При необходимости быстрого закрытия БЗОК муфта автоматически деблокируется.

Проектом предусматривается автоматическое закрытие БЗОК при совпадении следующих условий (защита выполнена по принципу “2 из 3-х”):

а) скорость падения давления в паропроводе — до 0,5 (кгс/см²)/с;

б) снижение давления во 2-м контуре (паропроводе от данного ПГ) — до 55 кгс/см²,

или

а) снижение давления в паропроводе от данного ПГ — ниже 50 (кгс/см²)/с;

б) разность температур насыщения 1-го и 2-го контуров (в паропроводе) — более 75 °С;

в) температура 1-го контура — более 200 °С.

В соответствии с проектными основами энергоблоков с ВВЭР функционирование БЗОК требуется при возникновении следующих исходных событий:

разрыв паропровода внутри гермообъема (ГО);

разрыв паропровода за пределами ГО;

разрыв ГПК;

разрыв трубопровода питательной воды внутри ГО.

Основания для квалификации БЗОК на “жесткие” условия и истечение пароводяной среды.

Система БЗОК проектировалась с учетом выполнения требования обеспечить быстрое (не более 10 с) и надежное отсечение ПГ от течи при разрывах парового коллектора таким образом, чтобы истечение происходило не более чем из одного ПГ. Исполнительные органы БЗОК питаются от источников надежного электроснабжения 1-й категории; при этом БЗОК является системой, важной для безопасности, и совмещает функции защитной и локализирующей систем безопасности. Оборудование системы относится к 1-й категории сейсмостойкости.

Действующая управляющая арматура обвязки БЗОК на закрытие и открытие клапанов не соответствует требованиям квалификации по условиям внешних воздействий в части требований выполнения функций безопасности при “жестких” условиях окружающей среды. БЗОК не обладают рядом свойств оборудования реакторной установки, которые должны удовлетворять требованиям [1] по следующим пунктам:

п. 8.1.9 “Системы и элементы безопасности выполняют свои функции в установленном проектом объеме с учетом обусловленных авариями воздействий (механические, тепловые, химические и др.)”, а именно: эксплуатируемые ОП АЭС в настоящее

время БЗОК не квалифицированы на “жесткие” условия внешних воздействий, а также не исключена вероятность отказа БЗОК при выполнении функций безопасности из-за повреждения трубопроводов линий управления вследствие внешних или внутренних воздействий;

п. 8.1.18 “Для запроектных аварий, в том числе тяжелых аварий, предусматриваются меры по управлению такими авариями с целью снижения радиационного воздействия на персонал, население и окружающую природную среду”, в частности, трубопроводы управляющих линий и арматура управления закрытием БЗОК должны обеспечивать управляющие воздействия без снижения функциональных требований на закрытие БЗОК при наличии в паропроводах пароводяной смеси и насыщенной жидкости.

В карточке мероприятия № 27201 Комплексной (сводной) программы повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины (КсППБУ) перечислены следующие дефициты безопасности БЗОК:

“Действующая управляющая арматура обвязки БЗОК на закрытие и открытие клапанов не соответствует требованиям квалификации по условиям внешних воздействий при “жестких” условиях окружающей среды.

Арматура обвязки управляющих линий подачи рабочей среды на поршень и сброса пара из-под поршня БЗОК для обеспечения функции закрытия БЗОК должны быть квалифицированы на условия внешних воздействий, а именно: ввиду возможного заполнения паропровода аварийного ПГ пароводяной смесью или водой при течи теплоносителя 1-го контура арматура обвязки управляющих линий подачи рабочей среды на поршень и сброса пара из-под поршня БЗОК, а также поршневой привод БЗОК должны быть квалифицированы на работу с пароводяной смесью и водой”.

Анализ результатов квалификации БЗОК на пароводяную среду для малосерийных ВВЭР-1000. Режим попадания пароводяной среды на рабочие органы задвижки БЗОК возможен в условиях аварий с межконтурными течами в ПГ. На основе анализа проектных и запроектных аварий с межконтурными течами для малосерийных энергоблоков с ВВЭР-1000 [2—4] были сделаны следующие основные выводы в отношении квалификации БЗОК на пароводяную среду:

1. Вода появится в паропроводе перед БЗОК приблизительно через 600 с, а сигнал на закрытие БЗОК аварийного ПГ от автоматики программного алгоритма управления течью (ПАУТ) сработает на 400-й секунде (т. е. приблизительно на 200 с раньше).

2. В случае отказа автоматики ПАУТ (возможное попадание воды до закрытия БЗОК) “... инженерный анализ ... не выявил причин для отказа на закрытие БЗОК”.

3. Отказ БЗОК на воде — “глубокозапроектная” авария, а квалификация на запроектные аварии не является обязательной. В проектных условиях воды в БЗОК не будет, так как должны сработать предохранительные клапаны (ПК) ПГ.

4. Отказ БЗОК слабо влияет на частоту повреждения активной зоны (ЧПАЗ).

Анализ полученных результатов квалификации БЗОК на воду для малосерийных энергоблоков с ВВЭР-1000 позволяет дать следующие комментарии:

1. Оценка времени появления воды перед БЗОК (600 с) сделана по “... грубым оценкам (расчеты не проводились) ...” времени заполнения паропроводов (около 300 с). Однако именно эти недостаточно обоснованные оценки времени заполнения паропровода после ПГ и определили вывод о том, что БЗОК закроется до попадания воды. Кроме того, также вызывает сомнение, что время заполнения “свободного” объема ПГ меньше времени заполнения водой паропровода БЗОК, т. к. “свободный” объем ПГ больше объема паропровода до БЗОК.

2. Проектные уставки автоматического закрытия БЗОК не учитывают симптомы аварий с межконтурными течами (исходное событие аварии (ИСА) Т42). Поэтому закрытие БЗОК при ИСА Т42 должно осуществляться оператором с возможными ошибками и задержками, а оценка времени для оператора на закрытие БЗОК (400 с) может быть избыточно оптимистичной.

Планируемая для малосерийных ВВЭР-1000 непроектная система ПАУТ для идентификации ИСА Т42 на закрытие БЗОК требует дополнительных обоснований по времени срабатывания в “жестких” и запроектных условиях.

3. Расчетное моделирование воздействия динамики водяного потока на шток клапана *вообще не проводилось*, а основано на “авантюрном” предположении, что “... в условиях равных давлений до, после и в корпусе БЗОК нет существенной разницы, в какой среде будет двигаться запорный орган”. Это предположение абсолютно необоснованно и противоречит всем фундаментальным законам гидравлики.

4. Влияние гидроудара на функционирование БЗОК основано на известном механизме развития волн давления в однофазном потоке. Однако для рассматриваемых условий этот механизм не является определяющим. В рассматриваемом ИСА Т42 основным механизмом возможного гидроудара на паровой коллектор ПГ и БЗОК является теплогидродинамическая неустойчивость процессов наполнения ПГ, при которой уже в начальные моменты аварии может произойти резкое повышение уровня и гидроудар [5].

5. Необходимость квалификации систем, важных для безопасности, на запроектные условия определена КсППБУ и результатами стресс-тестов. Например, полный пересмотр запроектной сейсмоки.

“Слабое” влияние на ЧПАЗ отказа БЗОК сегодня не может быть серьезным аргументом. Например, по результатам Отчета по анализу безопасности (ОАБ) ВВЭР ИСА “Полное обесточивание станции” имеет вероятность порядка 10^{-7} год⁻¹ (при базовых ЧПАЗ $10^{-4} \dots 10^{-5}$ год⁻¹). Однако, после Фукусимы уже ни у кого нет сомнений, что это ИСА *надо рассматривать* (как и другие маловероятные ИСА).

Уроки Фукусимы также показали, что развитие аварий может сопровождаться множественными отказами как систем безопасности (в том числе пассивных и систем контроля), так и ошибочными действиями персонала.

В отношении возможной адаптации результатов квалификации на воду БЗОК реакторных установок В-302 и В-338 для серийных реакторных установок В-320 необходимо отметить следующее:

1. Квалификация для БЗОК на воду для реакторной установки В-320 *не может* быть адаптирована

на результаты квалификации БЗОК реакторных установок В-302 и В-338 по следующим причинам:

квалификация на воду для БЗОК реакторных установок В-302 и В-338 недостаточно обоснована и базируется в большинстве случаев на неадекватных предположениях и крайне грубых оценках;

не учитываются специфические особенности развития аварийных процессов в реакторной установке В-320 (в том числе в отношении наличия системы ПАУТ).

2. Квалификация на воду для БЗОК реакторной установки В-320 должна основываться на результатах ОАБ В-320 и учитывать полный спектр критериев квалификации (консервативное соотношение времени на закрытие и попадание воды в БЗОК; на динамическое воздействие водяного потока на шток при закрытии; на условия гидродаров, вызванных неустойчивостью, и т. п.).

Список использованной литературы

1. *НП 306.2.141-2008*. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ АС-2008). — К. : Государственный комитет ядерного регулирования Украины, 2008. — 62 с.
2. Техническое обоснование безопасности сооружения и эксплуатации АЭС. Южно-Украинская АЭС. Блок 1. Кн. 3 : 23.1.27.ОБ.05.03. — ОАО ХИ “Энергопроект”.
3. Анализ нарушений нормальной эксплуатации и проектных аварий при работе энергоблока на мощности. Корректировка ОАБ энергоблока №1 ЮУАЭС. Анализ проектных аварий : техн. отчет. Согласован ГКЯРУ 17.01.2007, исх. № 15-32/274. — ГП НАЭК “Энергоатом”.
4. Анализ запроектных аварий. Выполнение расчетных анализов для отобранных сценариев ЗПА при работе реакторной установки на мощности. Южно-Украинская АЭС. Блок 1: 23.1.27.ОБ.03.00. — ГП НАЭК “Энергоатом”.
5. *Скалозубов В. И.* Научно-технические основы мероприятий повышения безопасности АЭС с ВВЭР : монография / В. И. Скалозубов, А. А. Ключников, Ю. А. Комаров, А. В. Шавлаков. — Чернобыль : Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2010. — 200 с.

Получено 28.07.2014