

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ПАССИВНОГО ОТВОДА ОСТАТОЧНЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ ЯЭУ

И.И. Свириденко

Севастопольский национальный технический университет

Для проведения детального анализа различных вариантов систем пассивного отвода остаточных тепловыделений (СПОТ) при проектировании реакторных установок нового поколения разработана классификация СПОТ. Рассматриваются основные классификационные признаки, приводятся примеры.

Актуальность разработки

Увеличение количества систем, обеспечивающих безопасность ядерных энергетических установок (ЯЭУ) при проектных и запроектных авариях, как это предусмотрено в российских, американских и французских проектах реакторных установок (РУ) атомных электростанций (АЭС) нового поколения, позволяет повысить их безопасность. Однако количественное увеличение систем безопасности (СБ) РУ на определенном этапе приводит к усложнению всего объекта с соответствующим снижением показателей надежности и его существенному удорожанию. Стоимость затрат на обеспечение безопасности становится соизмеримой со стоимостью самой ЯЭУ.

Известно, что затраты на создание СБ составляют 25...30 % от общих затрат на строительство АЭС, из которых 60 % расходуется на системы отвода остаточных тепловыделений (ООТ). В связи с этим в проектах РУ нового поколения гораздо большее внимание уделяется использованию пассивных систем безопасности (ПСБ), позволяющих существенно сократить количество активных СБ, либо полностью от них отказаться.

Функционирование СБ должно опираться на естественные физические процессы, не требующие источников энергии и вмешательства оператора. Поэтому на этапе выбора проекта АЭС, на котором сегодня находятся специалисты украинской атомной энергетики, для реализации энергетической стратегии Украины на период до 2030 года, особое внимание следует уделять техническим решениям, реализующим новые методы и принципы формирования СБ РУ, определяющих уровень безопасности всей АЭС.

Постановка задачи

Анализ известных систем пассивного отвода остаточных тепловыделений РУ показал многообразие существующих схем и принципов их работы. Имеются существенные отличия как в способах организации ООТ, так и в конструктивном исполнении СПОТ, предлагаемых различными разработчиками. Каждая из рассмотренных систем имеет свои преимущества и недостатки. Однако проведение детального анализа конкретной схемы и предлагаемого технического решения для новых проектов ядерных энергетических установок (ЯЭУ) затрудняет отсутствие единой классификации СПОТ.

В связи с этим необходима разработка классификации СПОТ, как инструмента анализа того или иного технического решения, заложенного при реализации задачи обеспечения безопасности ядерно-опасного объекта. Причем, такая классификация

должна отвечать решению задачи оценки ПСБ как на концептуальном уровне, так и при детальном рассмотрении использования в ней конкретных физических принципов, режимов ее функционирования и применяемого оборудования.

Определение и нормативная классификация СПОТ

Определение СПОТ в существующей государственной нормативной документации отсутствует. Его можно найти только в научной литературе, а также в проектной документации РУ нового поколения.

СПОТ по определению Главного конструктора РУ с ВВЭР ОКБ «Гидропресс» [4] предназначена для отвода остаточного тепловыделения от активной зоны при обесточивании АЭС с потерей всех источников переменного тока до 24 часов.

Согласно действующему основному нормативному документу «Общих положений обеспечения безопасности атомных станций» («ОПБУ-2000») [1], регламентирующему в Украине нормы и правила по ядерной и радиационной безопасности, все системы и элементы АЭС различаются:

- по назначению;
- по влиянию на безопасность;
- по характеру выполняемых ими функций безопасности.

СПОТ, согласно [1], по назначению относится к системам безопасности. По влиянию на безопасность СПОТ относятся к системам, важным для безопасности. По характеру выполняемых ими функций СПОТ относятся к защитным системам.

Как будет показано ниже, некоторые СПОТ по назначению могут являться и системами нормальной эксплуатации (НЭ).

Кроме того, нормативные положения [1] по влиянию элементов атомной станции на ее безопасность устанавливают четыре класса безопасности. Класс безопасности является определяющим признаком при формировании других классификаций элементов АЭС, устанавливаемых в нормативных документах. При этом другие признаки этих классификаций должны устанавливаться в соответствии с комплексом нормируемых нормативными документами характеристик элементов атомной станции.

Таким образом, СПОТ относится ко второму классу безопасности, ее условное обозначение – (23).

Являясь пассивной системой, СПОТ, согласно [1], относится к системам, функционирование которых связано только с вызвавшим ее работу событием и не зависит от работы другой активной системы (элемента), например, управляющей системы, энергоисточника и т.п.

«ОПБУ-2000» для деления пассивных систем предусматривает только один классификационный признак: *конструкционный*. Согласно этому признаку, все пассивные системы делятся на две категории: пассивные системы с механическими движущимися частями (например, обратные клапаны) и пассивные системы без механических движущихся частей (например, трубопроводы, сосуды).

На наш взгляд, такой классификации на сегодня явно не достаточно. Уже сформировано целое направление по созданию ЯЭУ повышенной безопасности с РУ, в которых ПСБ заменяют активные СБ. Многообразие схем и компоновочных решений СПОТ, задач, которые они могут решать, физических принципов, реализованных в них, а также применяемого в СПОТ оборудования, создает определенную сложность для специалиста при анализе конкретной схемы и выборе того или иного технического решения. Многообразие известных концепций и проектов пассивных систем ООТ, а так-

же достигнутый их технический уровень уже давно требуют разработки более детальной классификации СПОТ.

Однако, несмотря на интенсивное развитие указанного направления, существующая уже длительное время общая классификация систем ЯЭУ, представленная в [1], является единственной. Более детализированной классификации нет ни в научной, ни в учебной литературе. Данное обстоятельство может быть объяснено лишь тем, что исследования принципиальной возможности применения СПОТ начались лишь в конце 80-х годов прошлого столетия, а детальная разработка – в начале 90-х годов.

Впервые попытка классифицировать СПОТ была сделана в 2005 году Копытовым И.И. и Алякринским А.Н. при рассмотрении возможности частичного сокращения используемых активных СБ, либо полной их замене пассивными СБ, применительно к новому проекту энергоблока АЭС с ВВЭР-1500 [2]. С использованием лишь одного классификационного признака – по функции безопасности, авторами проанализировано функционирование активных и пассивных систем в различных аварийных ситуациях, а также выполнение частью активных систем функций нормальной эксплуатации (НЭ).

Первая детальная классификация, касающаяся только отдельного класса систем ООТ – автономных СПОТ, была разработана в 2005 году автором настоящей работы [3]. Она включала одиннадцать классификационных признаков и касалась лишь тех СПОТ, функционирование которых не зависит от работоспособности и состояния основного энергетического оборудования РУ.

Разработка классификации СПОТ

На основании проведенного нами анализа различных проектов новых РУ и научных публикаций по применению ПСБ были установлены определенные закономерности и общие подходы в формировании СПОТ, а также в выборе типа и места расположения конечного поглотителя. Такой анализ дал основание разработать классификацию СПОТ, которая представлена на рисунке. Подобная классификация позволяет проводить анализ системы по следующим классификационным признакам: 1) по функционированию; 2) по физическим процессам, реализуемым в системе; 3) по схеме организации отвода теплоты; 3) по применяемому оборудованию.

Первый классификационный признак определяет функцию безопасности, реализуемой системой, режим ее работы, а также те основные показатели, которые характеризуют функционирование СПОТ. Этот признак наиболее наглядно характеризует систему, так как одновременно устанавливает ее назначение и выполняемую функцию с точки зрения условий эксплуатации: нормальных или аварийных.

По функциям безопасности СПОТ обеспечивают расхолаживание РУ, длительный отвод остаточных тепловыделений активной зоны или отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), временно находящегося в приреакторном бассейне выдержки (БВ), а также поддержание запаса теплоносителя в активной зоне при низком давлении.

Режим расхолаживания РУ осуществляют СПОТ российских проектов АЭС с ВВЭР нового поколения, а также СПОТ американских проектов AP600/1000. Длительный ООТ РУ по определению обеспечивают все известные схемы СПОТ. Длительный отвод остаточных тепловыделений ОЯТ в БВ, могут обеспечивать СПОТ на основе кольцевых двухфазных термосифонов (ДТС), схемы которых подробно рассмотрены в [5-7]. Кроме того, СПОТ выполняют функцию поддержания запаса теплоносителя в активной зоне при низком давлении за счет обеспечения постоянной конденсации 1-го контура при отводе остаточной теплоты через парогенератор (ПГ) или теплообменник-конденсатор (ТК) с последующим возвратом конденсата 1-го контура в активную зону.

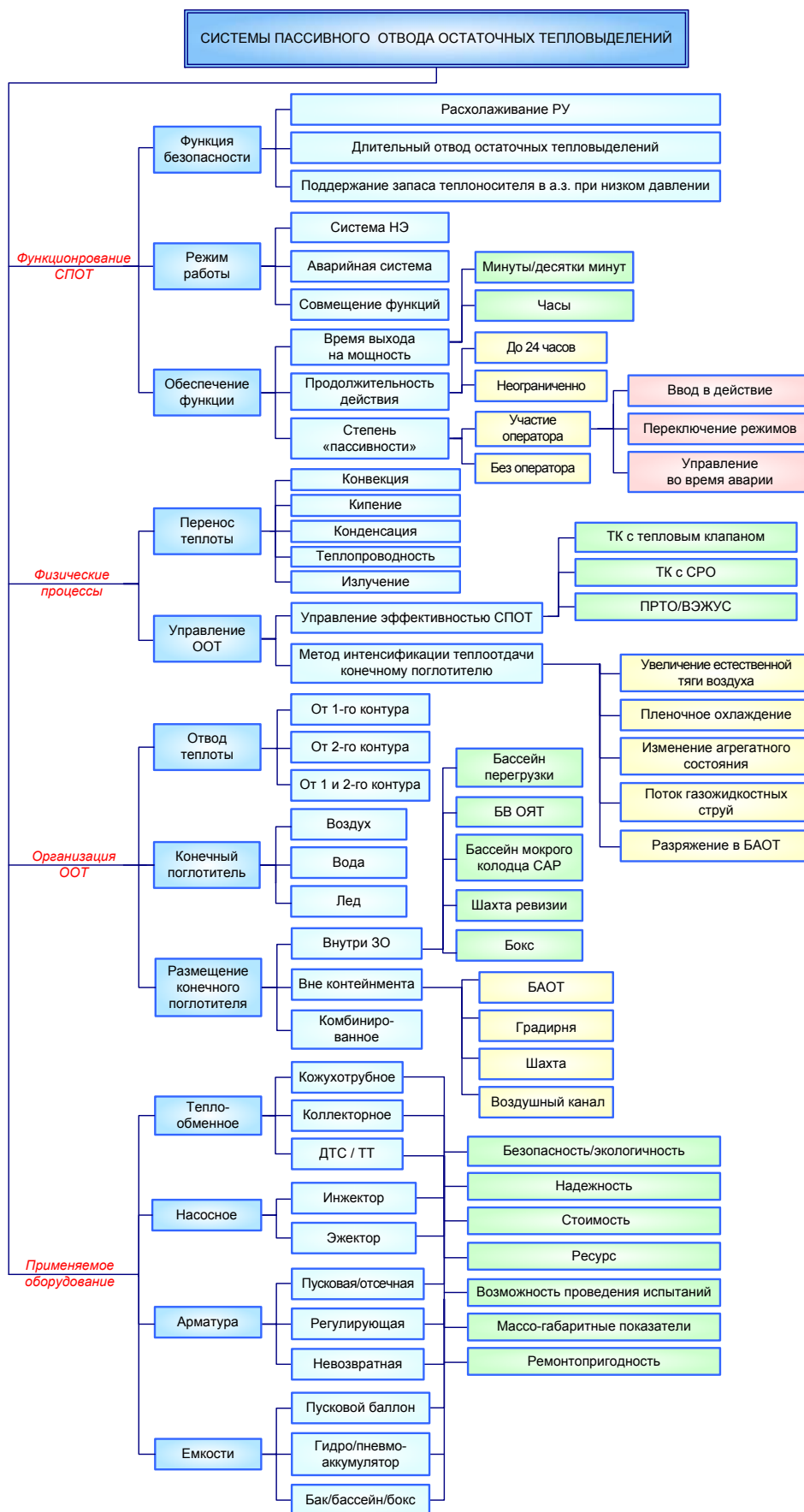


Рис. Классификация СПОТ ЯЭУ

С учетом режима работы СПОТ могут использоваться как системы НЭ, аварийные системы и системы, совмещающие обе функции. Системы НЭ, обеспечивающие отвод теплоты от РУ или ОЯТ в БВ, могут использоваться для охлаждения или расхолаживания, утилизации теплоты, для обеспечения теплофикации, а также для выполнения функций тепловой защиты при низких температурах окружающего воздуха и высокой влажности (предотвращение замерзания/затвердевания жидких технологических сред и размораживания систем), а также антиобледенения наружных конструкций объекта [8].

Аварийные системы охлаждения выполняют функции расхолаживания и ООТ в условиях проектных и запроектных аварий на объекте. К таким ситуациям относится, в частности, полное длительное обесточивание ЯЭУ с потерей источников электроснабжения собственных нужд, включая аварийные.

Например, пассивная система ремонтного расхолаживания ВВЭР на основе теплообменника с ДТС, схема и подробное описание которой приведены в [9-11], может использоваться во время планово-предупредительного ремонта как система НЭ, так и аварийная система при обесточивании во время вскрытия главного разъема реактора и демонтажа верхнего блока, а также в период перегрузки ядерного топлива. При этом отвод теплоты осуществляется либо в БВ ОЯТ, либо через теплообменник-конденсатор в БАОТ, расположенный за пределами защитной оболочки (ЗО). В аналогичном режиме может эксплуатироваться и пассивная система охлаждения самого БВ, выполненная на основе кольцевых ДТС [5-7].

Обеспечение системой своей функции определяется продолжительностью ее работы, например, до 24 часов – СПОТ ВВЭР-640/1000, либо неограниченно – СПОТ АР1000 и СПОТ ОЯТ БВ, а также временем выхода на проектную мощность. Например, СПОТ РУ SCOR при аварии с обесточиванием, разрывом паропровода и потерей теплоносителя достигает своей полной производительности, примерно, через 1000 с. Через 3600 с – при разрыве паропровода и через 5400 – при обесточивании, система ООТ полностью отводит остаточные тепловыделения. При потере теплоносителя после стабилизации давления вторичными предохранительными клапанами давление в 1-ом контуре через 4000 с достигает пороговой величины срабатывания аварийной системы впрыска теплоносителя. При разрыве трубок ПГ в течение первой тысячи секунд теплота отводится через ПГ и системой ООТ. Через 6000 с система ООТ может самостоятельно охлаждать реактор, и сброс пара через ПГ прекращается.

Весьма важным показателем соответствия своей функции является так называемая *степень «пассивности»*, определяющая степень участия персонала в управлении системой. Анализ известных проектов СПОТ БП – для РУ АР600/1000, СПОТ ИК – для ВВЭР-440, СПОТ ПГ – для РУ с ВВЭР-640/1000/1200/1500, концептуальных проектов SWR1000 и HPLWR, а также проекта SCOR [12] показал, что полностью «пассивной» системы пока не предложено ни одним из разработчиков СПОТ. Причем это касается и режима ввода СПОТ в действие, и управления ею во время работы.

При анализе той или иной схемы ООТ подобная характеристика должна стать определяющей при выборе СПОТ для проекта ЯЭУ. Именно степень участия персонала в управлении аварийным процессом, необходимость вмешательства оператора в работу системы и осуществление корректирующих воздействий во время переходного процесса будет определять уровень совершенства схемы СПОТ и реализованных в ней физических принципов работы. Достигнутый на сегодняшний день уровень СПОТ требует пока от оператора либо осуществления ввода в действие системы, либо перевода ее с одного режима на другой, либо периодического управления во время аварийного процесса.

Схема СПОТ с максимальной степенью «пассивности», определяемой пассивным вводом системы в действие во время аварийного обесточивания и исключением участия персонала во время переходного процесса разработана автором и представлена в [13, 14]. Схема предусматривает возможность вмешательства оператора лишь в случае ложного сигнала по факту обесточивания, либо локального отказа той части системы электроснабжения, которая обеспечивает работу арматуры с электромагнитным приводом.

По *второму* признаку предлагается классифицировать СПОТ по тем физическим процессам, реализация которых заложена в основу их функционирования. Это процессы теплоотвода за счет конвекции, кипения, конденсации, теплопроводности и излучения (например, в проекте модульного ВТГР [15]). Механизмы переноса – в основном за счет естественной циркуляции однофазной и двухфазной сред.

Кроме того, здесь рассматриваются физические процессы, используемые для управления эффективностью СПОТ. Например, в РУ SCOR регулирование ЕЦ охлаждающей воды БАОТ осуществляется с помощью сервоклапана колоколообразной камеры, в которой размещен теплообменник-конденсатор.

Для локальной конденсации пара в объеме возможно применение прямоточных струйных распылительных аппаратов: прямоточно-распылительный теплообменных аппаратов, водо-эжекционных установок [16, 17], и струйных распылителей-охлаждателей, обеспечивающих, помимо эффективного снижения давления в гермообъеме РУ, организованный отвод образующегося конденсата без залива оборудования раствором борной кислоты [18].

Особую роль при анализе физических процессов функционирования СПОТ играют методы интенсификации теплоотдачи конечному поглотителю. В СПОТ ВВЭР-1000/В-412, например, используются методы повышения внешнего коэффициента теплоотдачи теплообменника-конденсатора за счет увеличения скорости охлаждающего воздуха созданием условий для роста естественной тяги воздуха в каналах, расположенных над сводом купола защитной оболочки (ЗО) [19]. В проекте РУ АР600/1000 реализован режим интенсификации водяного пленочного охлаждения контейнента воздушным потоком в щелевом канале, образованном контейнментом и ЗО [20, 21].

В СПОТ с устройствами испарительно-конденсационного типа обеспечивается высокая эффективность теплопереноса за счет изменения агрегатного состояния теплоносителей промежуточных контуров и переноса скрытой теплоты парообразования [22-24]. При использовании в качестве конечного поглотителя воды для интенсификации теплоотдачи может применяться организация потока затопленных газожидкостных струй вдоль теплообменной поверхности ТК [25], либо создание разряжения с целью снижения температуры насыщения конечного поглотителя.

Не менее важную роль играет степень изученности реализуемых в СПОТ физических процессов. Это определяет возможность расчетного моделирования разрабатываемой системы с применением стандартных теплогидравлических кодов, а также выполнения верификации разрабатываемых кодов под принципиально новые схемы СПОТ. К сожалению, далеко не всегда удается выполнить расчетное моделирование новой СПОТ с приемлемой точностью из-за отсутствия необходимых расчетных зависимостей для рассматриваемых физических процессов, что требует проведения дополнительных дорогостоящих теплофизических экспериментов [26-28].

Третий признак позволяет классифицировать СПОТ по организационному построению: по организации отвода остаточных тепловыделений – от 1-го (АР600/1000, БН-1800/800/600) или 2-го контура (ВВЭР-640/1000/1200/1500), от 1-го и 2-го контура (SCOR) и по виду используемого конечного поглотителя (воздух, вода, лед), а также по

размещению конечного поглотителя относительно защитной оболочки: внутри 3О (АР600/1000), вне 3О (ВВЭР-640/1000/1500) и комбинированное (SCOR).

Если в качестве конечного поглотителя используется вода, то при размещении ее под защитной оболочкой она может находиться в бассейне перегрузки (АР600/1000, SWR1000 и HPLWR), в БВ ОЯТ, в бассейне мокрого колодца системы аварийного расхолаживания реактора (SCOR), либо одновременно в аварийном бассейне и в БВ ОЯТ (ВВЭР-640). Кроме того, охлаждающая вода может также храниться в шахтах ревизии [29, 30] и в специальных боксах вокруг реактора (SCOR).

Вне защитной оболочки РУ охлаждающая вода размещается в баках аварийного отвода теплоты (БАОТ), располагаемых по периметру защитной оболочки в консольных пристройках (ВВЭР-640), или над контентом в специальной емкости (АР600/1000). Наиболее удобно использовать воду для отвода теплоты в судовых условиях эксплуатации, когда в качестве конечного поглотителя используется все забортное пространство, либо забортная вода, находящаяся в отдельной цистерне или в забортной выгородке [31-33].

При использовании воздуха в качестве конечного поглотителя теплообменник-конденсатор промконтра СПОТ выносятся в градирню (SCOR), шахту или в воздушный канал (ВВЭР-1000/В-412).

Если *второй* и *третий* признаки рассматриваемой классификации позволяют проводить качественную оценку СПОТ, то *четвертый* признак, по применяемому в системе оборудованию, дает возможность выполнения ее количественной оценки.

В схемах СПОТ используется теплообменное оборудование, арматура, емкости и соединяющие их трубопроводы. Для обеспечения расхолаживания и ООТ могут применяться кожухотрубные [34, 35] и коллекторные [36-38] теплообменные аппараты, а также теплообменники на тепловых трубах и ДТС [3, 5, 7-14, 24, 27, 29-34].

Условные обозначения ряда схем СПОТ соответствуют этому признаку классификации. Например, в «СПОТ ПГ» расхолаживание и отвод остаточных тепловыделений осуществляется через парогенераторы, в «СПОТ ИК» расхолаживание аварийного ПГ производится с помощью инжектора-конденсатора. Для схемы СПОТ АР600/1000, в которой расхолаживание и ООТ осуществляется в воде перегрузочного бассейна, можно ввести обозначение «СПОТ ПБ». Для схем СПОТ с термосифонным теплообменным оборудованием предлагается обозначение «СПОТ ДТС».

В ряде случаев для организации ООТ может применяться насосное оборудование, например инжектор для обеспечения циркуляции 2-го контура при расхолаживании парогенератора (СПОТ ИК ВВЭР-440) [39], либо инжектор для пассивной системы создания напора охлаждающего спринклерного раствора СРО с целью снижения давления под гермооболочкой при течи 1-го контура и расхолаживания гермообъема РУ, а также эжектор для создания разрежения в БАОТ.

Неотъемлемой частью СПОТ остается арматура: пусковая, отсечная (запорная) и невозвратная. Именно арматура существенно снижает степень «пассивности» системы и требует наличия источников энергии (электрической, гидравлической, сжатого воздуха) [12, 35, 40, 41], а в ряде случаев – и участие оператора [35, 40, 41]. Кроме того, применение арматуры снижает показатели надежности работы СПОТ [42-44], требует проведения периодических испытаний, ограничивает ее ресурс.

На основе предлагаемой классификации удобно выполнять анализ характеристик применяемого в СПОТ оборудования: его надежности (сложности), безопасности по отношению к персоналу и окружающей среде, стоимости, массогабаритных показателей, показателей ремонтпригодности и ресурса, возможности проведения периодиче-

ских испытаний. Это позволит проводить выбор системы с использованием общепринятых количественных технических оценок.

Выводы

Таким образом, разработка классификация СПОТ является закономерным и необходимым этапом процесса разработки и исследования пассивных систем безопасности РУ при создании АЭС нового поколения. Рассмотренная классификация СПОТ предложена впервые и позволяет систематизировать все существующие и разрабатываемые системы отвода остаточной теплоты, функционирование которых реализуется в пассивном режиме.

Она использует четыре классификационных признака и охватывает схемы СПОТ всех известных проектов РУ и концептуальных решений перспективных ЯЭУ.

Предложенная классификация должна стать инструментом анализа рассматриваемого технического решения, закладываемого в проект с целью выполнения задачи обеспечения безопасности в условиях отвода остаточных тепловыделений РУ. Классификация позволяет проводить оценку СПОТ, как на концептуальном уровне, так и при детальном рассмотрении использования в ней конкретных физических принципов, режимов функционирования, методов повышения эффективности и применяемого оборудования.

КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ ПАСИВНОГО ВІДВОДУ ЗАЛИШКОВИХ ТЕПЛОВИДІЛЕНЬ ЯЕУ

І. І. Свириденко

Для проведення детального аналізу різних варіантів систем пасивного відводу залишкових тепловиділень (СПВТ) при проектуванні реакторних установок нового покоління розроблена класифікація СПОТ. Розглядаються основні класифікаційні ознаки, приводяться приклади.

CLASSIFICATION OF NUCLEAR POWER INSTALLATION PASSIVE RESIDUAL HEAT REMOVAL SYSTEM

I.I. Sviridenko

For carrying out of the detailed analysis of various variants of passive residual heat removal system (PRHRS) at designing reactor installations of new generation classification PRHRS is developed. The basic classification attributes are considered, is resulted examples.

Список использованных источников

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. НП 306.1.02/1.034-2000. – Киев: ГАЯР Украины. – 2000. – 24 с.
2. *Копытов И.И., Алякринский А.Н.* Энергоблоки с ВВЭР-1500 – новый этап в развитии атомной энергетики России // Теплоэнергетика, 2005, № 1. – С. 4-8.
3. *Свириденко И.И.* Классификация систем пассивной тепловой защиты ядерно-опасных объектов с использованием тепловых труб // Ядерная и радиационная безопасность, 2005, № 4. – С. 37-48.
4. *Логвинов С.А., Безруков Ю.А., Драгунов Ю.Г.* Экспериментальное обоснование теплогидравлической надежности реакторов ВВЭР. – М.: ИКЦ Академкнига, 2004. – 255 с.

5. Свириденко И.И., Ткач С.Н., Кравченко В.Г. и др. Пассивная система отвода остаточных тепловыделений на базе бассейна мокрой перегрузки // Промышленная теплотехника, 2003. – Т. 25. – № 4, приложение. – С. 257-259.

6. Свириденко И.И., Москаленко А.Ю. Оценка надежности пассивной термосифонной системы расхолаживания приреакторного бассейна выдержки отработавшего ядерного топлива // Вестник СевГТУ. Вып. 67: Механика, энергетика, экология: Сб. науч. тр. / Севастоп. нац. техн. ун-т. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2005. – С. 178-186.

7. Свириденко И.И., Москаленко О.Ю. Басейн витримки відпрацьованого ядерного палива / Заява на винохід про видачу патенту України № 200505436 від 07.06.05.

8. Свириденко И.И., Ткач С.Н., Перегудов Н.Н. Теплообменное оборудование на основе тепловых труб аварийного расхолаживания реактора и антиобледенительной системы плавучей АЭС // В матер. Межд. науч. практ. конф. «Малая энергетика 2002». – Москва, 2002. – С. 466-470.

9. Свириденко И.И. Аварийное ремонтное расхолаживание реактора с использованием термосифонной СПОТ // Проблемы промышленной теплотехники: Тезисы IV Межд. конф. – К.: ИТТФ НАН Украины. – С. 260-262.

10. Свириденко И.И., Подопрігора А.В. Пасивна система аварійного ремонтного розхолодження реактора / Заява про видачу патенту України, № 200505437 от 07.06.05.

11. Свириденко И.И., Подопрігора А.В. Аварийное ремонтное расхолаживание реакторной установки с использованием бассейна выдержки ОЯТ и теплообменного оборудования на основе тепловых труб // Вестник НТУ «ХПИ», 2003, № 14. – С. 85-94.

12. Исаев А.Н. Французский компактный реактор SCOR тепловой мощностью 2000 МВт // Атомная техника за рубежом, 2006, № 11. – С. 9-17.

13. Свириденко И.И. Пасивна система відведення залишкових тепловиділень / Заява на винохід про видачу патенту України № 200500392 від 17.01.05.

14. Свириденко И.И. Оптимизация процесса ввода в действие термосифонной системы пассивного отвода остаточных тепловыделений реактора // Оптимизация производственных процессов. Вып. 7: Сб. науч. тр. Севастоп. нац. техн. ун-т. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2004. – С. 89-96.

15. Костин В.И., Кодочигов Н.Г., Васяев А.В. и др. Высокотемпературные газоохладяемые реакторы – инновационная технология атомной энергетики // В матер. ярмарки инновационных решений для реализации проектов «АЭС-2006» и «Новая технологическая платформа». – М.: Федеральное агентство по атомной энергии (РОСАТОМ), Концерн «Росэнергоатом», ОАО «ВНИИАЭС», ФГУП «ЦНИИАтомИнформ», Центр «Атоминновация». – 2007. – С. 54-56.

16. Галустов В.С. Прямоточные распылительные аппараты в теплоэнергетике. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.

17. Бейнер К.С., Сухов А.К., Сычев Е.И. Использование универсальной эжекторной установки для конденсации радиоактивного пара в целях продления ресурса последней // В сб. научных трудов СНИЯЭиП. Севастополь: СНИЯЭиП, Вып. 6, 2002. – С. 12-15.

18. Балакан Г.Г., Герлига А.В., Герлига В.А., Проходцев А.Ю. Расчетный анализ снижения давления в гермообъеме контеймента с помощью струйных распылителей-охлаждателей при наличии течи // В 36. наукових праць СНУЯЕтаП. Севастополь: СНУЯЕтаП. Вип. 3 (19), 2006. – С. 30-37.

19. Ретин А.И., Рыжов С.Б., Бочаров Ю.Л. и др. Основные технические решения по повышению безопасности и экономичности оборудования реакторных установок для АЭС «Тяньвань», «Бушер» и II очереди НВАЭС // В матер. 3-й научн.-технич. конф. «Обеспечение безопасности АЭС С ВВЭР». – Подольск, 26-30 мая 2003 г. – 16 с.

20. *Cummins W.E., Corletti M.M., Schulz T.L.* Westinghouse AP1000 Advanced Passive Plant. Proceedings of ICAPP '03 / 2003 Int. Congr. on Advances in Nuclear Power Plants. Cordoba, Spain, May 4-7, 2003. Paper 3235. – 10 p.

21. *Cummins W.E., Vijuk R.P., Schulz T.L.* Westinghouse AP1000 Advanced Passive Plant. Proceedings of ICAPP '05 / 2005 Int. Congr. on Advances in Nuclear Power Plants. Seoul, KOREA, May 15-19, 2005. Paper 5670. – 10 p.

22. *Свириденко И.И.* Экспериментальные исследования теплообмена в обычных двухфазных термосифонах // В сб. научных трудов СНИЯЭиП. Севастополь: СНИЯЭиП, Вып. 7. – 2002. – С.40-47.

23. *Свириденко И.И.* Особенности сопряженного теплообмена в многоконтурных термосифонных системах охлаждения с двухфазными теплоносителями // Вестник СевГТУ. Вып. 43: Физика и математика: Сб. науч. тр. // Севастоп. нац. техн. ун-т. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003. – С. 158-170.

24. *Гершуні О.Н., Ніщук О.П., Письменний Є.М.* Випаровувально-конденсаційні системи теплопередачі для ядерних енергетичних технологій. – К.: Альтерпрес, 2007, – 236 с.

25. *Свириденко И.И., Ткач С.Н., Тимофеев В.А.* Заборный теплообменный аппарат с газожидкостной интенсификацией внешней теплоотдачи // В матер. межд. науч.-техн. конф. «Энергомашиностроение» (ЭМ-2006), г. Севастополь, 17-20 мая 2006 г. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. – С 29-30.

26. *Лобачев С.М., Логвинов С.А., Ситник Ю.К. и др.* Испытания на стенде ОКБ «Гидропресс» полномасштабного макета оптимизированного теплообменника СПОТ // Тр. 2-ой Науч.-техн. конф. «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». – Подольск, 2003, Т. 1. – С. 61-66.

27. *Свириденко И.И.* Система аварийного расхолаживания ядерных энергетических установок на основе тепловых труб // В матер. 3-ей Российской национ. конф. по теплообмену. 21-25 октября 2002 г. – М., МЭИ. Том 1. – С. 182-185.

28. *Ефанов А.Д., Логинов Н.И., Михеев А.С.* Система аварийного расхолаживания высокотемпературных быстрых реакторов // В матер. ярмарки инновационных решений для реализации проектов «АЭС-2006» и «Новая технологическая платформа». – М.: Федеральное агентство по атомной энергии (РОСАТОМ), Концерн «Росэнергоатом», ОАО «ВНИИАЭС», ФГУП «ЦНИИАтомИнформ», Центр «Атоминновация». – 2007. – С. 71-74.

29. *Свириденко И.И., Москаленко А.Ю.* Безопасность эксплуатации АЭС при полном длительном обесточивании // В сб. научных трудов СНИЯЭиП. Севастополь: СНИЯЭиП, 2003, № 8. – С. 94-106.

30. *Свириденко И.И., Ткач С.Н., Кравченко В.Г. и др.* Пассивная система отвода остаточных тепловыделений на базе бассейна мокрой перегрузки // Промышленная теплотехника, 2003. – Т. 25. – № 4, приложение. – С.257-259.

31. *Свириденко И.И.* Аналитическое исследование процессов теплопереноса в сопряженной системе теплосъема на основе двухфазных термосифонов // Сб. научных трудов СНИЯЭиП. – Севастополь: СНИЯЭиП, № 4, 2001 – С. 142-150.

32. *Свириденко И.И., Ткач С.Н.* Пассивная система аварийного охлаждения // Жизнь корабля и безопасность на море: тезисы докладов III Межд. науч.-техн. конф. – Севастополь: СВМИ им. П.с. нахимова, 2005. – С. 140-142.

33. *Свириденко И.И.* Особенности построения и расчета автономной термосифонной СПОТ реакторной установки плавучей АЭС // В Зб. наукових праць СНУЯЕтаП. Севастополь: СНУЯЕтаП. Вип. 4 (20), 2006. – С. 48-54.

34. Нищик А.П., Гершуни А.Н., Письменный Е.Н. Система пассивного аварийного охлаждения реактора // Декларационный патент на полезную модель № 1367. – Оpubл. в бюл. № 8, 2002.

35. Разработка тепловой схемы и расчет теплогидравлических характеристик системы пассивного отвода тепла. Отчет о НИР. – К.: Киевский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Энергопроект». Гос. концерн «Укратомэнергопром», 1992. – 47 с.

36. Кухтевич И.В., Безлепкин В.В., Солодовников А.С. и др. Обоснование конструктивных и технологических решений, применяемых в пассивной системе отвода тепла через парогенераторы // Процессы теплообмена и гидродинамики в системах безопасности АЭС с ВВЭР-640: Сб. трудов. – СПб: АОТ НПО ЦКТИ, 1997. – С. 60-64.

37. Тушиков Р.А., Драгунов Ю.Г., Попадчук В.С. и др. Экспериментальное обоснование работоспособности теплообменных аппаратов системы пассивного отвода тепла в условиях тропического климата // Теплоэнергетика, 2006, № 1. – С. 11-14.

38. Григорьев М.М., Плаксеев А.А., Подпорина Н.А. Мощностные характеристики системы пассивного отвода тепла АЭС с ВВЭР-1000 в зависимости от параметров среды в парогенераторе // В Сб. тезисов докл. 6-го Междунар. семинара по горизонтальным парогенераторам. – Подольск, 2004. – С. 55-56.

39. Сопленков К.И., Селиванов В.Г., Филиппов Ю.Н. и др. Конструкция и испытание системы пассивного отвода тепла с инжектором-конденсатором / Под ред. проф. Б.И. Нигматулина // Годовой отчет ЭНИЦ 1996. – Электрогорск, ЭНИЦ, 1997. – С. 3-7.

40. Афров А.М., Рогов М.Ф., Федоров В.Г. и др. Методические особенности обоснования пассивных систем безопасности АЭС с ВВЭР-640 // Процессы теплообмена и гидродинамики в системах безопасности АЭС с ВВЭР-640: Сб. трудов. – СПб: АОТ НПО ЦКТИ, 1997. – С. 12-22.

41. Полунин В.И., Шумайлов Г.П., Вешняков К.Б., Горбунов П.А. Расчетные и экспериментальные исследования регулирующего устройства системы пассивного отвода тепла АЭС нового поколения // В матер. 4-ой Межд. науч.-техн. конф. «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». – Подольск, ОКБ «Гидропресс», 2005. – 16 с.

42. Свириденко И.И., Москаленко А.Ю. Оценка надежности пассивной термосифонной системы расхолаживания приреакторного бассейна выдержки отработавшего ядерного топлива // Вестник СевГТУ. Вып. 67: Механика, энергетика, экология: Сб. науч. тр. – Севастоп. нац. техн. ун-т. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2005. – С. 178-186.

43. Свириденко И.И. Показатели надежности автономной системы пассивного отвода теплоты ВВЭР на основе двухфазных термосифонов // В сб. научных трудов СНИЯЭиП. Севастополь: СНИЯЭиП, № 14, 2005. – С. 14-25.

44. Исследование и разработка высокоэффективных экобезопасных тепловых схем ядерных и тепловых энергоустановок («КОНТУР»). Направление – атомная энергетика). Компонировка, схемы и режимы работы автономных пассивных систем аварийного расхолаживания ЯЭУ. Отчет о НИР (заключит.). Том 3; руководитель К.Ю. Федоровский. – № ГР 0103U001417; Инв. № 0205U007159. – Севастополь: СевНТУ, 2005. – 161 с.