

Щербаков И.А.

Аспирант

1 курс, кафедра «Теплогазоводоснабжения»

Юго-Западный государственный университет

Россия, г. Курск

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ОТВОДА ТЕПЛА РЕАКТОРА ВВЭР-ТОИ

Аннотация. В статье представлены принципы работы пассивных систем безопасности, используемых на современных атомных электростанциях с реактором ВВЭР-ТОИ. Приведено подробное описание системы пассивного отвода остаточного тепла и системы охлаждения пассивной защитной оболочки.

Ключевые слова: ВВЭР-ТОИ, реактор, система пассивного отвода тепла, активная зона, теплообменник, теплоноситель, тепловыделяющий элемент, тепловыделяющая сборка.

Annotation. The article presents the principles of operation of passive safety systems used in modern nuclear power plants with a VVER-TOI reactor. A detailed description of the passive residual heat removal system and the passive protective shell cooling system is given.

Keywords: VVER-TOI, reactor, passive heat removal system, core, heat exchanger, heat carrier, fuel element, fuel Assembly.

Реактор ВВЭР-ТОИ - это корпусной реактор с водой под давлением тепловой мощностью 3400 МВт, разработанный российской компанией «Атомэнергопроект». Это наиболее важный элемент атомной электростанции, основанный на стандартной конфигурации, в которой можно выделить два отдельных контура: первый и второй.

Конструкция корпуса реактора очень похожа на типичные корпусные реакторы с водой под давлением. Активная зона состоит из 163 тепловыделяющих сборок длиной 426,7 см. Вода является одновременно теплоносителем, отражателем и замедлителем. [1,2]

Тепловой экран, расположенный между активной зоной и боковой стенкой корпуса, останавливает гамма-излучение и защищает корпус от тепла, выделяемого в активной зоне. Корпус реактора изготовлен из ферритной или легированной стали, внутренняя часть корпуса покрыта нержавеющей сталью. Благодаря использованию вышеупомянутых материалов корпус реактора ВВЭР-ТОИ может легко выдерживать температуры выше 300 °С и давление до 16 МПа.

Активная зона реактора состоит из трех зон, в которых топливо характеризуется различной степенью обогащения. Обогащение топлива варьируется от 2,35% до 4,80% ²³⁵U. Температурный коэффициент реактивности сильно отрицательный. Благодаря большому запасу реактивности, предусмотренным для оптимизации управления ядерным топливом, активная зона реактора была разработана для обеспечения работы в течение топливного цикла, который длится 18 месяцев при коэффициенте мощности 93% и скорости выгорания топлива 60 МВт/сут.т [1]. Длина корпуса - 12 м, внутренний диаметр дна - 4039 м. Внутренние стенки, которые при нормальной работе контактируют с охлаждающей жидкостью, покрыты листом из нержавеющей стали. Сам корпус был рассчитан на давление 17,1 МПа и температуру 343 °С, а ожидаемый срок службы установки - 60 лет, что напрямую влияет на срок службы всего ядерного блока. В таблице 1 приведены основные параметры теплоносителя на атомной электростанции с реактором ВВЭР-ТОИ.

Таблица 1. Параметры теплоносителя на АЭС с ВВЭР-ТОИ

Первый контур	Второй контур
---------------	---------------

Температура теплоносителя на входе в реактор	279.4°C	Температура воды на входе в парогенератор	226.7°C
Температура теплоносителя на выходе из реактора	324.7°C	Температура воды на выходе из парогенератора	272.8°C
Давление теплоносителя	15.51 МПа	Давление во втором контуре	5.76 МПа
Массовый расход теплоносителя первого контура	14300 kg/s	Массовый расход второго контура	1889 kg/s

Основное назначение систем безопасности, используемых на атомных электростанциях, заключается в предотвращении перегрева активной зоны реактора. В настоящее время существует два типа систем безопасности АЭС: активная и пассивная. Активная система - это система, в которой основные устройства должны получать питание от внешнего источника. Такие устройства включают, например, насосы или вентиляторы. Противоположностью активных систем являются пассивные системы, принцип действия которых основан на естественных силах, таких как сила тяжести, конвекция или давление сжатых газов, их действие является автоматическим и не требует внешних источников питания. Одной из отличительных особенностей атомной электростанции ВВЭР-ТОИ является количество инновационных систем пассивной безопасности, таких как система пассивного охлаждения активной зоны, система охлаждения пассивной защитной оболочки и система пассивного отвода тепла, которая является предметом рассмотрения данной статьи. [3]

Система пассивного отвода тепла (СПОТ) предназначена для получения тепла, генерируемого в активной зоне после отключения реактора, в ситуациях, когда невозможно передать тепло парогенераторам из-за неисправности, такой, как авария с потерей теплоносителя или авария

с потерей подачи теплоносителя. Первая ситуация может возникнуть в случае обрыва трубопровода или сосуда, вторая касается, например, отказа насоса или потери внешнего источника питания, что, конечно, также приводит к отключению насоса охлаждающей воды. Система состоит из четырех независимых контуров с естественной циркуляцией - по одному на каждую петлю реакторной установки. Каждый контур включает в себя два теплообменных модуля с оребренными теплопередающими трубками, трубопроводы с арматурой, обеспечивающие движение пара и конденсата между парогенератором и теплообменником, систему подвода охлаждающей среды с регулирующими устройствами.

Каждый теплообменник состоит из верхнего и нижнего горизонтальных коллекторов, соединенных U-образными трубками (Рис. 1). В результате между оболочкой и куполом образуется кольцевой канал, через который движется воздух под действием естественной тяги. На трактах подвода воздуха имеются воздушные затворы, предназначенные для герметизации и теплоизоляции теплообменников, а также установлены защитные сетки для исключения попадания загрязнений на поверхность теплообмена.

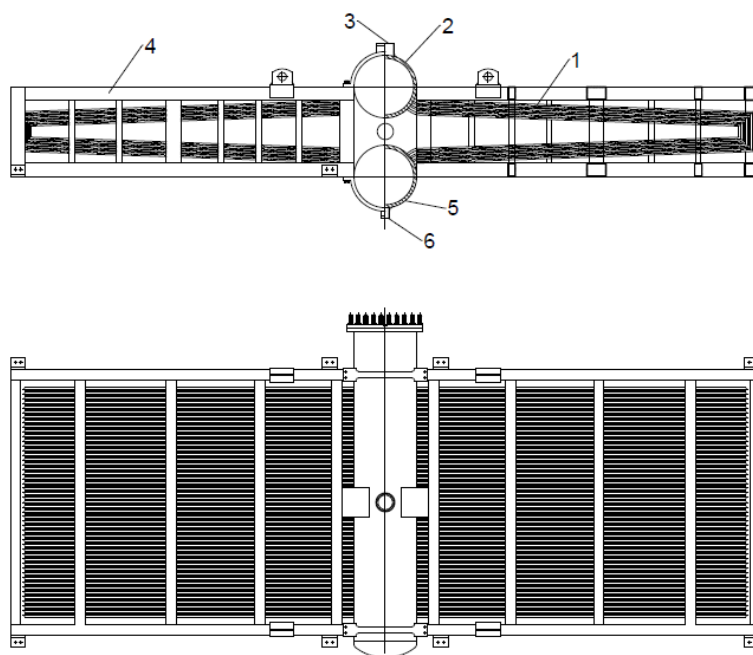


Рисунок 1 – Теплообменник СПОТ.

1 – трубный пучок, 2 – раздающий коллектор, 3 – патрубок парового трубопровода, 4 – дистанционирующая рама, 5 – собирающий коллектор, 6 – патрубок конденсатного трубопровода

Паропроводы СПОТ присоединяются к паровым коллекторам парогенератора со стороны их глухих торцов, а трубопроводы слива конденсата заводятся под уровень воды.

После охлаждения теплоносителя второго контура ниже температуры среды первого контура, пар в трубчатке парогенератора начинает конденсироваться, при этом происходит нагрев воды второго контура до температуры насыщения. Образующийся пар поступает в воздухоохлаждаемые теплообменники, где конденсируется, и полученный конденсат стекает обратно в парогенератор (Рис. 2). Такой режим работы парогенератора называется конденсационным [4].

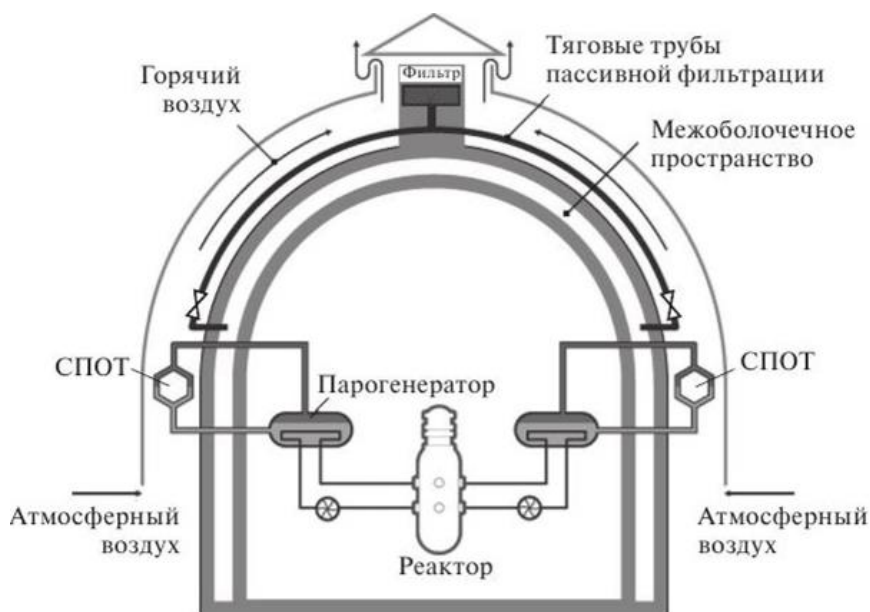


Рисунок 2 – Система пассивного отвода тепла

Система пассивного отвода тепла бывает в двух исполнениях - с воздушным охлаждением и водяным охлаждением. Основное отличие водяного охлаждения от воздушного заключается в том, что во втором случае пар конденсируется в теплообменнике, расположенном в баке запаса охлаждающей воды. Как отдельная часть системы пассивного отвода тепла

на АЭС с реактором ВВЭР-ТОИ предусмотрены теплообменники, отводящие тепло из пространства герметичной оболочки. [5]

Заключение

Исходя из приведенного выше анализа действующих пассивных систем, можно сделать вывод, что отвод остаточного энерговыделения от активной зоны реактора первые 24 часа после аварии действительно гарантирован. Таким образом, возникает вопрос о возможной модернизации пассивных систем безопасности, благодаря продлению времени их работы до 48-72 часов. Такие значения выбраны исходя из практических соображений.

Через одну секунду после останова реактора мощность генерируемого реактором остаточного энерговыделения составляет 215 МВт. По истечению времени его мощность уменьшается по экспоненте и через сутки становится в 10 раз меньше своего начального значения. Чтобы устранить возможные неисправности в работе систем охлаждения и запуска дополнительных систем охлаждения необходимо трое суток.

Исходя из вышеизложенного необходимо продолжить исследования по модернизации конструкции системы пассивного отвода тепла от активной зоны путем интенсификации процесса теплообмена и использовании более эффективных материалов, обладающими лучшими теплотехническими характеристиками, что позволит увеличить время работы системы до трех суток.

Использованные источники:

1. Андрушечко С.А., Афров А.М., Васильев Б.Ю., Генералов В.К., Косоуров К.Б., Семченков Ю.М., Украинцев В.Ф. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта: Учебник. - М., «Логос», 2010. - 603 с.

2. Морозов А.В. Теплогидравлическое обоснование работоспособности системы пассивного залива активной зоны реактора

ВВЭР. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук // Обнинск. 2003.

3. Осипов В.П., Рыболовлев Д.А., Ягодкин И.В. Испытания фильтровальной секции установки пассивной системы фильтрации для АЭС «Куданкулам» // Труды 12-й международной научно-технической конференции, ОКБ «Гидропресс». – Подольск, 2007.

4.Калякин Д.С., Морозов А.В., Исследование конденсационного режима работы парогенератора ВВЭР в условиях суточного и трехсуточного аварийных процессов // Труды 15-й научно-технической конференции молодых специалистов, ОКБ «Гидропресс». – Подольск, 2013.

5. Маньковский О.Н., Толчинский А.Р., Александров М.В. Теплообменная аппаратура химических производств. Инженерные методы расчета. – Л.: «Химия», 1976. – 368 с.