

УДК 621.039.003

Применение инновационных технологий при строительстве и эксплуатации АЭС

Евсеенко И.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент КРАВЧЕНКО В.В.

Совершенствование имеющихся и развитие новых инновационных технологий – важное условие развития отрасли. При этом инновации необходимо внедрять на всех стадиях жизненного цикла станции: на стадиях проектирования, строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации.

Важным направлением является обеспечение безопасности функционирования всех объектов атомной энергетики. Безусловно, стоит отметить такой шаг как модернизация реакторов: продление срока эксплуатации, достройка энергоблоков и разработку блоков нового поколения.

Все эти направления нашли свое применение в проекте «АЭС-2006». Проект «АЭС-2006», который был выбран для строительства Белорусской АЭС, является проектом атомной станции с технико-экономическими показателями, превышающими достигнутые в ранее реализованных проектах с установками ВВЭР. Используемые здесь реакторы ВВЭР-1200 относятся к поколению 3+. Главной особенностью проекта является использование дополнительных систем безопасности в сочетании с активными традиционными системами.

В проекте реализован полный комплекс технических решений, позволяющих обеспечить безопасность АЭС и исключить выброс радиоактивных продуктов в окружающую среду.

Примерами усовершенствований являются: двойная защитная оболочка реакторного зала (контайнмент); пассивная система отвода остаточного тепла; ловушка расплава активной зоны, расположенная под корпусом реактора.

Система пассивного отвода тепла (СПОТ) обеспечивает длительный отвод остаточных тепловыделений активной зоны реактора в условиях отсутствия всех источников электроснабжения (рисунок 1).

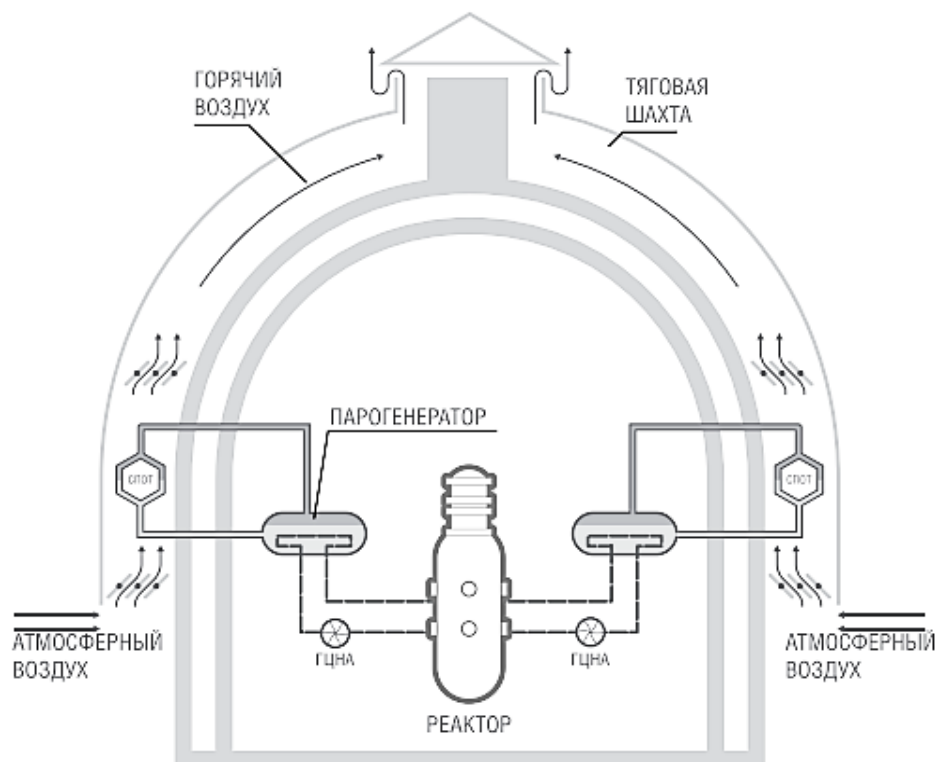


Рисунок 1 – Система пассивного отвода тепла

СПОТ состоит из четырех независимых контуров естественной циркуляции, подключенных к парогенераторам со стороны второго контура – по одному на каждый парогенератор. Каждый контур включает в себя теплообменные модули, трубопроводы пароконденсатного тракта, соединяющие теплообменные модули с парогенератором, воздухопроводы, подводящие воздух окружающей среды и отводящие нагретый воздух от теплообменных модулей, пассивные устройства прямого действия, регулирующие расход воздуха.

Устройство локализации и удержания расплавленной активной зоны (рисунок 2), так называемая «ловушка» расплава, предназначено для:

- приема и размещения расплава, твердых фрагментов активной зоны и конструкционных материалов реактора (кориума);
- устойчивого отвода тепла от кориума к охлаждающей воде;
- исключения выхода радиоактивности за границы зоны локализации;
- исключения самопроизвольной цепной реакции в кориуме;
- минимизации выноса радиоактивных веществ и водорода в пространство герметичной оболочки.

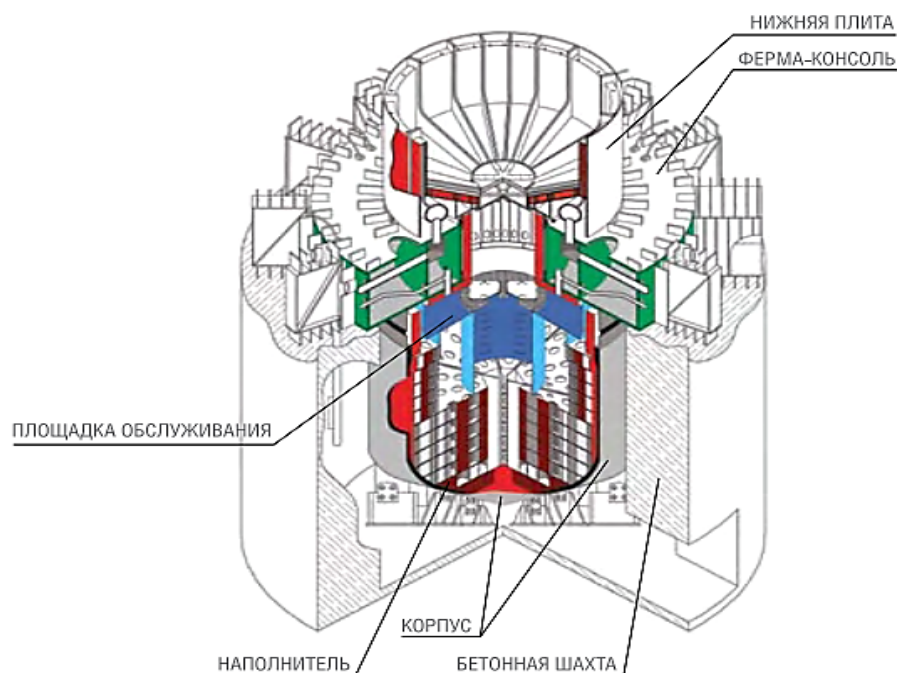


Рисунок 2 – Устройство локализации и удержания расплава активной зоны

Устройство локализации расплава активной зоны представляет собой корпус, установленный на опорах на дне бетонной шахты реактора. Корпус наполнен неметаллическими материалами (специальные цементы, оксиды и пр.), которые в результате перемешивания с расплавом активной зоны обеспечивают равномерное размещение расплава в наполнителе корпуса устройства. Устройство способно удерживать кориум и отводить от него тепло неограниченно длительное время.

Для достижения цели повышения энергетической эффективности основным мероприятием является увеличение мощности реактора. Мощность реакторной установки ВВЭР-1200 по сравнению с предыдущим поколением (ВВЭР-1000) выросла на 20%. Реактор ВВЭР-1200 входит в состав реакторной установки (РУ) В-392М, в которую, в сравнении с РУ В-320, были внесены следующие конструкционные усовершенствования:

- продлен срок службы основного оборудования РУ до 60 лет;
- увеличена максимальная величина выгорания топлива до 70 МВт-сут/кгU;
- снижена длительность простоев и повышен коэффициент использования установленной мощности (КИУМ);

- улучшены ядерно-физические свойства активной зоны реактора благодаря переходу на уран-гадолиниевое топливо, при этом возможность использования существующего топлива сохранена;
- обеспечены отрицательные коэффициенты реактивности в более широком диапазоне технологических параметров;
- применены новые системы контроля и диагностики оборудования, трубопроводов первого контура и арматуры;
- усовершенствованы системы нейтронного и радиационного контроля за состоянием активной зоны реактора.

Также в проекте «АЭС-2006» за счет широкой автоматизации и централизации функций и процессов количество персонала по сравнению с энергоблоками предыдущего поколения с реакторными установками типа ВВЭР-1000 уменьшено на 30–40% (в пересчете на 1 МВт мощности).

Был применен ряд проектных решений, приводящих к оптимизации капитальных затрат. Так, по проекту возводится одна башенная испарительная градирня на энергоблок вместо двух, как это ранее было на российских АЭС. Такое решение позволяет существенно снизить капитальные затраты, расход электроэнергии, а также уменьшить территорию площадки АЭС при сохранении всех требований технологии и безопасности [1].

Следующим шагом в развитии проекта «АЭС-2006» стал проект «ВВЭР-ТОИ». ВВЭР-ТОИ – это типовой оптимизированный и информатизированный проект двухблочной АЭС с реакторами ВВЭР. Проект разрабатывался в современной информационно-технологической среде проектирования. Информационная модель так называемого «Проекта 6D» включает в себя:

- 1) конструкторскую документацию, рабочую документацию проекта энергоблока (3D);
- 2) календарно-сетевое планирование при проектировании и сооружении энергоблока (4D);
- 3) конфигурации, комплектации и информацию о поставках материалов и оборудования для сооружения энергоблока (5D);
- 4) трудовые, технические, финансовые и иные ресурсы и оборудования для проектирования и сооружения энергоблока (6D).

Таким образом «Проект 6D» обеспечивает полный контроль над проектированием и сооружением АЭС. Он способен накапливать знания о работе АЭС, о ее недостатках, проблемах, с его помощью к минимуму сводится возможность аварии при строительстве и эксплуатации АЭС [2].

Необходимо отметить ряд инновационных решений проекта «ВВЭР-ТОИ», отличающих его от проектов «АЭС-2006» и АЭС с РУ В-320, сравнительные данные по некоторым параметрам которых приведены в таблице.

Таблица 1 – Сравнительные данные по проектам

Параметр для сравнения	АЭС с РУ В-320	АЭС-2006	ВВЭР-ТОИ
Удельная площадь для двухблочной АЭС, м ² /МВт	не регламентировано	274	200
Тепловая мощность реактора, МВт	3120	3200	3300
Количество сварных швов реактора	6	6	4
Срок сооружения серийного блока от первого бетона до физпуска, мес	–	54	40

Продолжение таблицы

Межремонтный период (машзал)	4 года	4 года	8 лет
Мощность энергоблока электрическая (брутто, гарантийный режим), МВт	1000-1040	1198	1255
КПД, %	33–34	35	37,9

В новом проекте были оптимизированы конструкции зданий и сооружений, электротехнические средства, системы управления.

В «ВВЭР-ТОИ» был доработан реактор: реактор типа ВВЭР-1300 позволит установке выдавать почти на 100 мегаватт больше электрической мощности по сравнению с «АЭС-2006».

За счет уменьшения суммарного количества швов реактора сократилось время и объемы контроля сварных соединений корпуса реактора в период эксплуатации [3].

Однако основные изменения затронули механизмы, отвечающие за безопасность. Были учтены все так называемые «постфукусимовские» требования (рисунок 3).

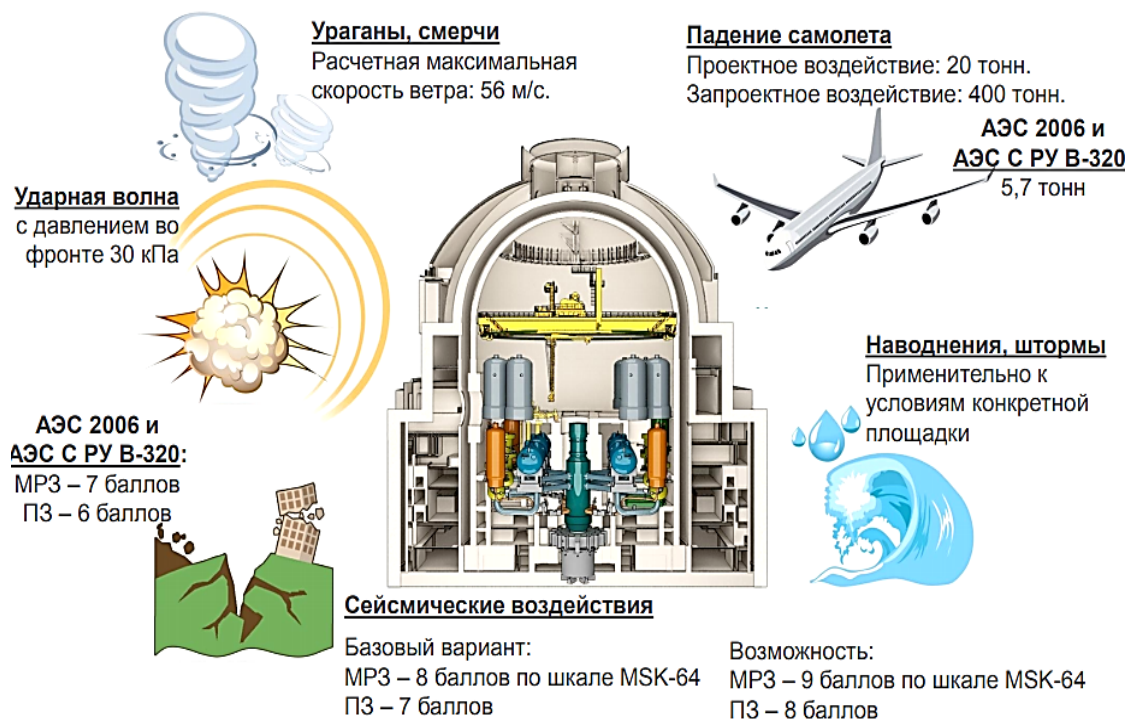


Рисунок 3 – ВВЭР-ТОИ: защита от внешних воздействий

Энергоблоки проекта «ВВЭР-ТОИ» также относятся к поколению ядерных энергоустановок 3+, а значит, воплощают самые современные представления о безопасности.

В проекте была увеличена возможности систем аварийного охлаждения активной зоны. В частности, в проекте появились гидроемкости третьей ступени, тогда как у «АЭС-2006» таких ступеней две (рисунок 4).

На сегодняшний день проект «ВВЭР-ТОИ» реализуется на площадке Курской АЭС-2 в России.

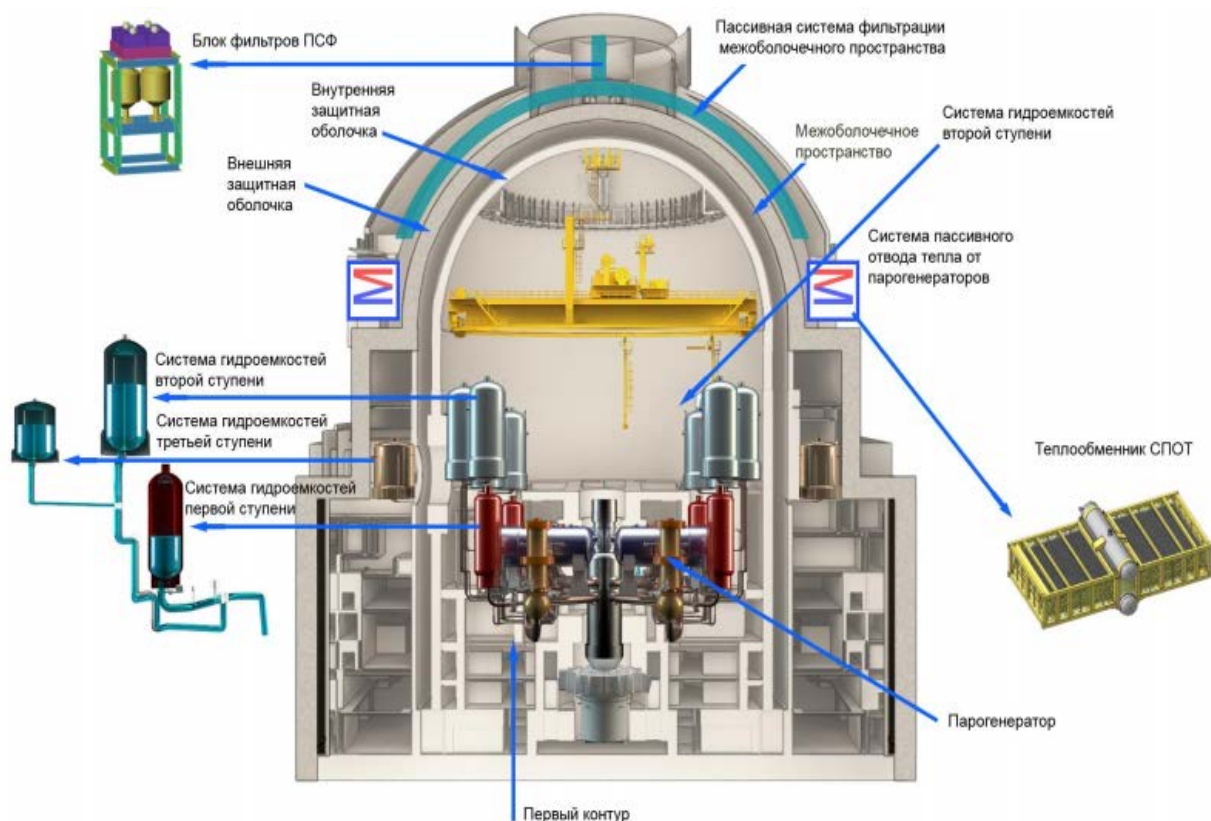


Рисунок 4 – ВВЭР-ТОИ: пассивные системы безопасности

Таким образом, применение инновационных технологий на всех стадиях жизненного цикла атомных электрических станций повышает надежность, безопасность, экономичность и эффективность их работы при одновременном исключении негативного влияния на окружающую среду.

Кроме того, внедрение инновационных разработок новых проектов, таких как «ВВЭР-ТОИ», позволяет проводить модернизацию реакторов, включая достройку энергоблоков и установку более защищенных и энергоэффективных блоков нового поколения, что позволяет продлить срок эксплуатации АЭС, а также исключить выброс в окружающую среду радиоактивных веществ.

Литература

1. Разработка проектов АЭС с реакторами нового поколения // Росэнергоатом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rosenergoatom.ru/development/innovatsionnye-razrabotki/razrabotka-proektov-aes-s-reaktorami-novogo-pokoleniya/>. – Дата доступа: 20.10.2017.
2. Инжиниринг и строительство // Международная ассоциация ученых, преподавателей и специалистов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gae.ru/forum2011/76/1009>. – Дата доступа: 20.10.2017.
3. Проект «ВВЭР-ТОИ»: краткая характеристика основных технологических новаций // Росатом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://atomsro.ru/wp-content/uploads/file/0PORTAL/AtomStroyStandart-2014/Bugaev_PRO_Conf.pdf. – Дата доступа: 20.10.2017.