

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС: ОТ САРКОФАГА К РЕАКТОРАМ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ СО СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Жудро М. М., студент

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: старший преподаватель Секацкий Д. А.

Аннотация. В статье обосновывается важность комплексного подхода для повышения эффективности энергетической безопасности АЭС. Проведен сравнительный анализ трех ключевых этапов развития инженерно-технологических систем, направленных на защиту человека и экологии: от пассивной локализации аварий – к активному предотвращению – и, наконец, к созданию принципиально новых конструкций генерации, исключающих саму возможность инцидентов.

Энергетическая безопасность атомных электростанций представляет собой комплексную систему инженерно-технологических и организационно-экономических мер, направленных на обеспечение бесперебойной и экономически эффективной работы при соблюдении всех требований безопасности для жизни человека и экологии. В условиях роста глобальной энергетической нестабильности и ужесточения экологических стандартов значение надежности эксплуатации АЭС многократно возрастает [1]. Современные вызовы требуют новых подходов к управлению безопасностью, сочетающих традиционные практики и инновационные инженерно-экономические решения.

Эволюция систем безопасности атомных электростанций прошла три знаковых этапа: от вынужденной консервации последствий в Чернобыле, через превентивное сдерживание угроз с помощью конструирования инженерно-технологических ловушек расплава (Островецкая АЭС) и БРЕСТ – воплощение будущего, где сама конструктивно-эксплуатационная природа реактора гарантирует его благополучие. После аварии 1986 года объект «Укрытие» (саркофаг) стал первым масштабным решением по локализации последствий [3]. Саркофаг («Укрытие») представляет собой гигантский защитный барьер, изолирующий разрушенный реактор [3]. Это решение стало вынужденной мерой в условиях катастрофического радиационного загрязнения, когда иные варианты были невозможны и инженерной мысли не известны [1]. Его ключевая функция – немедленное предотвращение выброса радиоактивных частиц в атмосферу путем консервации опасных материалов [3]. Стоимость первоначального саркофага составила 400 млн советских рублей (при курсе советского рубля на тот момент времени к доллару США около 0,67), однако его ограниченный срок службы потребовал строительства Нового безопасного конфинмента стоимостью ~2,1 млрд евро [3]. Экономический ущерб от аварии превысил 235 млрд долларов, что демонстрирует крайнюю неэффективность инженерно-технологического подхода борьбы с последствиями вместо их предотвращения [1]. Основным недостатком – ориентация на ликвидацию последствий вместо предотвращения аварий. Это тупиковый путь, доказавший необходимость принципиально новых подходов к безопасности [1, 3]. Ловушка расплава функционирует как «страховой полис». Главная ее цель – не допустить попадания радиоактивных материалов в грунт и атмосферу. Если случится невероятное – топливо расплавится – эта ловушка должна его поймать, охладить и удержать. [5]. На Белорусской АЭС используется ловушка расплава корпусного типа, способная удержать и охладить до 800 тонн кориума. Ловушка работает без участия человека – за счет физических принципов (гравитации, свойств материалов). Затраты на систему составляют 3–5 % от стоимости энергоблока, что многократно

окупается предотвращением потенциального ущерба [4]. Для сравнения: стоимость ловушки расплава (~50–70 млн \$) в 30 раз меньше затрат на новый саркофаг Чернобыльской АЭС [3, 4]. БРЕСТ – это российский проект реакторов естественной безопасности на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем, двухконтурной схемой отвода тепла к турбине и использованием перегретого пара и является инженерной революцией в безопасности для жизни человека и экологии. Если в обычных реакторах нужно постоянно «сдерживать» цепную реакцию, то в БРЕСТЕ сама конструктивно-эксплуатационная его природа не дает появлению неуправляемой реакции. Инновационный проект «Реакторная установка БРЕСТ-ОД-300» реализуется в России (г. Северск) [2]. «РЕСТ-ОД-300» – это опытно-демонстрационный энергоблок тепловой мощностью 700 МВт.

Новая технология БРЕСТ исключает возникновение тяжелых аварий на физическом уровне, что представляет собой качественный скачок от предотвращения к исключению аварийных ситуаций [2,4]. Основные преимущества БРЕСТа:

А. Конструктивные особенности:

– свинцовый теплоноситель: не горит, не взрывается, не вступает в бурные реакции с водой и воздухом (в отличие от воды в Чернобыле или натрия в других быстрых реакторах);

– замкнутый топливный цикл: реактор «дожигает» собственные отходы, сокращая объем радиоактивных отходов.

Б. Принципы безопасности:

– естественная безопасность (самозатухание): при перегреве реактор самозатухает – без действий оператора и систем аварийной защиты;

– пассивные системы охлаждения.

В. Экономические преимущества:

– сокращение эксплуатационных расходов;

– снижение затрат на топливный цикл.

Долгосрочная выгода: это инвестиция в технологию будущего, которая решает разом несколько проблем: безопасность, топливо, отходы. Таким образом, можно сделать вывод о том, что изучение эволюции инженерно-экономических подходов к проектированию, строительству и безопасной эксплуатации АЭС демонстрирует последовательный переход от пассивной локализации последствий (саркофаг) через активное предотвращение аварий (ловушка расплава) к созданию систем с внутренне присущей безопасностью (БРЕСТ) посредством технологий исключения аварий. Дальнейшее развитие энергетической безопасности АЭС требует интеграции передовых технологий, совершенствования нормативной базы и укрепления международного сотрудничества. Приоритетными остаются задачи по обеспечению кадрового потенциала и повышению уровня общественного доверия к атомной энергетике. Реализация предложенных мер позволит гарантировать стабильность энергоснабжения и соответствие растущим требованиям к предсказуемости энергетической безопасности эксплуатации АЭС для жизни человека и экологии.

Список использованных источников

1. МАГАТЭ. Safety Standards Series No. SSR-2/1 // International Atomic Energy Agency. – Вена, 2023. – 85 с.
2. Росатом. Отчет по проекту БРЕСТ-ОД-300. – М.: Росатом, 2022. – 156 с.
3. Чернобыльский фонд. Отчет о реализации проекта НБК. – Киев, 2021. – 204 с.