

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫМ ИСПОЛНЕНИЕМ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК

*М.А. Ляхов, Н.Н. Данилин,  
М.М. Осауленко*

Севастопольский национальный  
университет ядерной энергии  
и промышленности  
г. Севастополь, ул. Курчатова, 7

*Рассматриваются способы по минимизации выбросов радиоактивности из ядерного реактора в окружающую среду. Определяются условия обеспечения безопасности персонала и населения на эксплуатируемых атомных электростанциях (АЭС). Делается выводы по гарантиям защиты окружающей среды при аварийных ситуациях на АЭС.*

**Введение.** Сегодня мир вступает в эпоху ядерного ренессанса, возобновляется доверие к мирному использованию ядерной энергии, и постепенно формируется убеждение, что это экологически чистая энергия, которая как можно лучше отвечает цели устойчивого развития и предупреждения глобальных изменений климата планеты. Конечно же, ключевые вопросы развития – это гарантии ядерной безопасности, минимизация влияния на окружающую среду [1].

Мы усвоили уроки Чернобыля и Тримайл-Айленда. В корне изменилось представление, принципы и отношение к безопасности. За два постчернобыльских десятилетия мировая ядерная энергетика достигла поражающих успехов, безопасно отработав около 12 тысяч реакторолет. Сейчас в Украине эксплуатируются реакторы II поколения, уровень безопасности которых отвечает современным требованиям.

Однако процессы усовершенствования не стоят на месте. В настоящее время в мире начато сооружение реакторных установок III поколения. Эти проекты позволят преодолеть риски, присущие сегодня ядерным технологиям:

– потенциальную возможность тяжелой аварии;

- распространение ядерного оружия;
- накопление высокоактивных отходов, хранящихся длительный период.

Теперь такие факторы, как эффективность, конкурентоспособность, гарантирование безопасности, экологическая целесообразность, а также существование самодостаточной собственной ресурсной базы (урановых и циркониевых месторождений), определяют ведущую роль атомной энергетики в энергобез обеспечении Украины.

**Постановка и решение задачи.** Задачей настоящего исследования является проведение анализа конкретных способов достижения безопасности эксплуатации атомных электростанций с целью минимизации выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду.

Радиационная безопасность и противорадиационная защита по отношению к практической деятельности строятся с использованием следующих основных принципов:

– любая практическая деятельность, сопровождаемая облучением людей, не должна осуществляться, если она не приносит большей пользы облучаемым лицам или обществу в целом по сравнению с вредом, который она причиняет (принцип оправданности);

– уровни облучения от всех видов практической деятельности не должны превышать установленные пределы доз (принцип непревышения);

– уровни индивидуальных доз и/или количество облучаемых лиц должны быть настолько низкими, насколько это может быть достигнуто с учетом экономических и социальных факторов (принцип оптимизации).

Вмешательство – такой вид человеческой деятельности, который всегда направлен на снижение и предотвращение неуправляемого и непредвиденного облучения или вероятности облучения при:

– ситуациях аварийного облучения (острого, кратковременного или хронического);

– других ситуациях временного облучения, признанных регулирующим органом как такие, которые требуют вмешательства.

Радиационная безопасность и противорадиационная защита в ситуациях вмешательства строятся на следующих основных принципах:

- любая контрмера должна быть оправдана, то есть полученная польза (для общества и лица) от предотвращенной этой контрмерой дозы должна быть больше, чем суммарный ущерб (медицинский, экономический, социально-психологический и т.д.) от вмешательства, связанного с его проведением (принцип оправданности);
- должны быть применены все возможные мероприятия для ограничения индивидуальных доз облучения на уровне, ниже порога детерминированных радиационных эффектов, особенно порогов острых клинических радиационных проявлений (принцип непревышения);
- форма вмешательства (контрмера или комбинация нескольких контрмер), ее масштабы и продолжительность должны выбираться таким образом, чтобы разница между суммарной пользой и суммарным ущербом была не только положительной, но и максимальной (принцип оптимизации) [2].

Утечка значительной доли накапленной радиоактивности из реактора возможна только в том случае, если будут разрушены все барьеры, препятствующие выходу радиоактивных веществ. Большая часть продуктов деления и актиноидов внедрена в матрицу топливной таблетки, и крупномасштабная утечка их может произойти только в том случае, если топливо расплавится. Топливо расположено внутри циркалоевой оболочки тзвэлов, а активная зона расположена внутри корпуса реактора, составляющего часть герметичного первого контура [3]. Наконец, весь первый контур размещен внутри защитной оболочки, специально сконструированной таким образом, чтобы минимизировать утечку радиоактивности в окружающую среду.

По компоновочному решению имеется три типа реакторных установок: петлевая, блочная, интегральная (рис. 1).

Эти схемы приемлемы для всех типов реакторов. Оптимальный выбор в каждом конкретном случае определяется различными факторами. Каждая из указанных схем имеет преимущества и недостатки [4, 5].

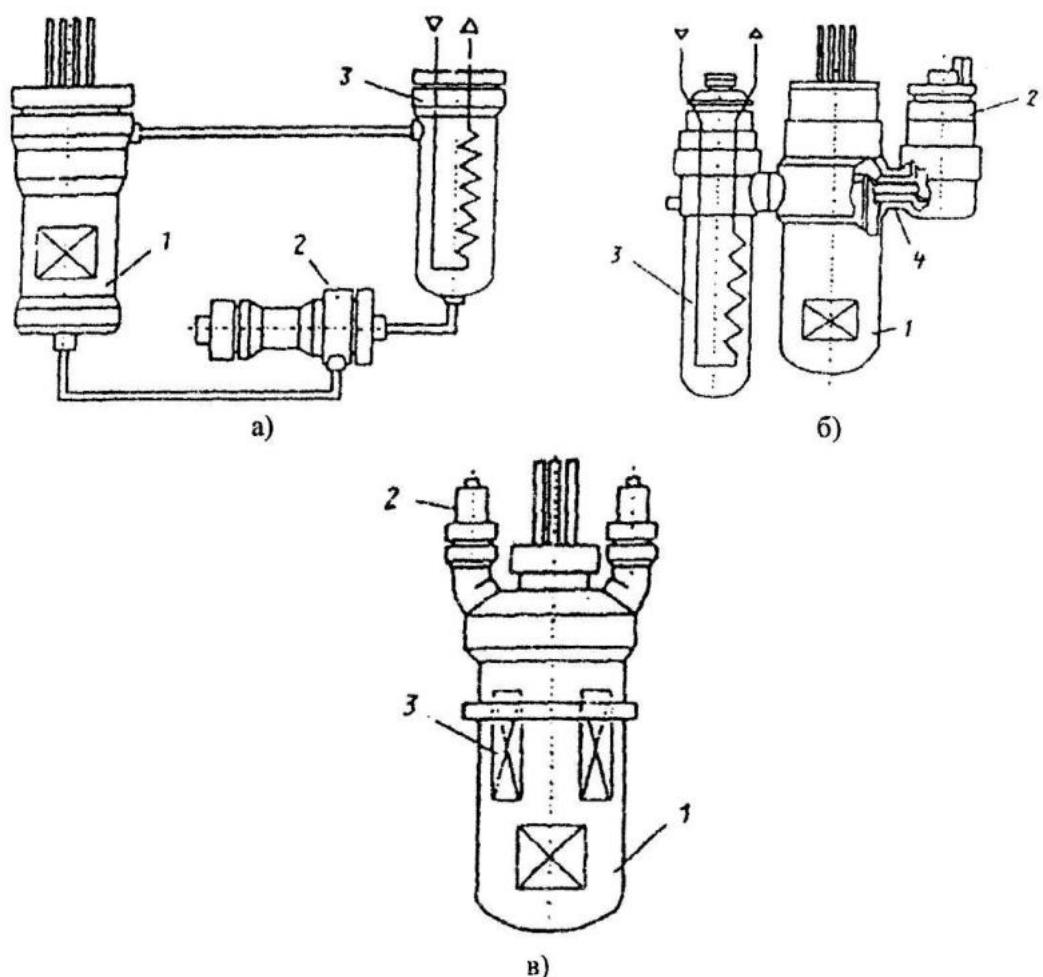
Для петлевых реакторных установок характерна значительная пространствен-

ная распределенность и большой объем первого контура, наличе трубопроводов большого диаметра, соединяющих основное оборудование: парогенераторы, насосы, теплообменники, компенсаторы объема. Для этой схемы серьезной проблемой является организация защиты при аварийном разрыве трубопроводов первого контура большого диаметра. Большая часть действующих АЭС используют установки с петлевой схемой. Практика показывает, что значительным достоинством этой схемы является доступность оборудования для профилактического контроля и ремонтных работ.

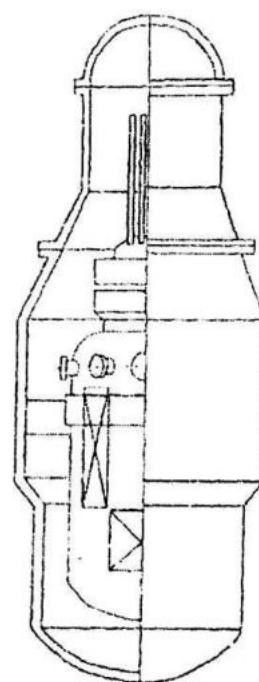
Интегральная компоновка впервые нашла применение в быстрых реакторах с натриевым теплоносителем.

Очевидным преимуществом компоновки является локализация теплоносителя первого контура в одном объеме (в корпусе), отсутствие патрубков и трубопроводов большого диаметра, что уменьшает вероятность течи теплоносителя. При интегральной компоновке снимается проблема охрупчивания материала корпуса реактора под действием нейтронного излучения. Флюенс нейтронов для корпуса реактора не превышает  $10^{17} \text{ см}^{-2}$ , при котором не может происходить заметных изменений механических свойств корпусной стали. Интегральная компоновка реактора допускает реализацию идеи страховочного корпуса (рис. 2).

В этом случае удается исключить опасность осушения активной зоны и тем самым существенно упростить расхолаживание реактора в аварийных ситуациях. При интегральной компоновке принципиально упрощается организация и проведение работ для повторного использования площадки или ее восстановление до «зеленой лужайки». Но в интегральной компоновке затруднен доступ к оборудованию, размещенному в реакторе, что ограничивает или усложняет ремонтное обслуживание. Поэтому интегральная компоновка предполагает использование высоконадежного оборудования, прошедшего представительную ресурсную проверку в лабораторных условиях. Интегральная компоновка приводит к значительному увеличению масогабаритных характеристик реактора. Поэтому требуются новые решения при организации производства работ по изготовлению и монтажу реактора.



Р и с. 1. Петлевая (а), блочная (б), интегральная (в) компоновочная схема ядерной паропроизводящей установки: 1 – реактор; 2 – электронасос первого контура; 3 – парогенератор; 4 – короткий силовой патрубок типа «труба в трубе»



Р и с. 2. Интегральная компоновка реактора в страховочном корпусе

Наиболее сильным изменениям конструкции в легководных реакторах, которые эксплуатируются в Украине, подверглись противоаварийная оболочка и система аварийного охлаждения.

Ход выполнения «Комплексной программы модернизации и повышения безопасности энергоблоков атомных электростанций» был рассмотрен на заседании коллегии Государственного комитета ядерного регулирования Украины. Программа одобрена распоряжением Кабинета Министров Украины № 504-р от 29.08.2002 г. Цель документа – усиление глубоко эшелонированной системы защиты реакторных установок действующих АЭС и максимальное сокращение дефицита безопасности, связанного с эксплуатацией. Актуальность задачи повышения безопасности АЭС остается и для вновь создаваемых проектов [6].

Исключительно большое внимание уделяется на АЭС системам безопасности. Ведь именно эти системы в любой нештатной ситуации должны обеспечить защиту персонала станции и населения от загрязнения радиоактивными веществами. В составе систем безопасности АЭС имеются устройства различных типов: активные и пассивные, защитные и локализующие, устройства энерго- и водоснабжения, элементы контроля и управления. Используя военный термин, можно сказать, что безопасность АЭС реализуется в рамках принципа глубоко эшелонированной защиты. На пути распространения радионуклидов в окружающую среду создается целый комплекс независимых преград – барьеров безопасности. Их основная задача – максимально удержать радиоактивные продукты там, где они образовались [7, 8].

Главное в обеспечении безопасности работы АЭС - это обеспечить условия, препятствующие выходу продуктов деления при ядерной цепной реакции деления урана. Для этого все топливо на АЭС загружается в реактор в твэлах – герметически заваренных трубках из циркониевого сплава. В этих трубках остается основная часть продуктов деления урана, образующихся при работе реактора. Когда твэл отработал свой срок, его извлекают из реактора, и от-

правляют на специальный завод для переработки и извлечения ценных элементов. Никакой существенной утечки радиоактивных веществ не происходит. В этом и заключается одно из существенных преимуществ ядерной энергетики перед другими видами электростанций, отходы которых в виде золы, шлаков и газов во многих случаях выбрасываются в окружающую среду без должной очистки.

Безопасность АЭС обеспечена реализацией принципа глубоко эшелонированной защиты, основанной на применении систем и барьеров на пути возможного выхода радиоактивных продуктов в окружающую среду и системы технических и организационных мер по защите барьеров и сохранению их эффективности [9].

На АЭС предусмотрены физические барьеры безопасности, предупреждающие возможный выброс радиоактивных веществ – продуктов деления урана:

1. Первым барьером является топливная матрица, т.е. само топливо, находясь в твердом виде, имея определенную форму, препятствует распространению продуктов деления урана.

2. Вторым барьером является оболочка тепловыделяющих элементов – герметичные стенки трубок из циркониевого сплава, в которые заключены топливные таблетки.

3. Третьим барьером служат герметичные стенки оборудования и трубопроводов первого контура, в котором циркулирует теплоноситель.

4. При нарушении целостности первых трех барьеров безопасности продукты деления будут задержаны четвертым барьером – системой локализации аварии.

Система локализации аварии включает в себя герметичные ограждения – защитную оболочку (гермооболочку) и спринклерную систему. Защитная оболочка представляет собой строительную конструкцию с необходимым набором герметичного оборудования для транспортировки грузов при ремонте и прохода через оболочку трубопроводов, электрокабелей и людей (люки, шлюзы, герметичные проходки труб и кабелей).

Все оборудование реакторной установки, содержащее радиоактивные элементы, размещено в герметичной защитной оболочке. Защитная оболочка предназначена для предотвращения выхода радиоактивных веществ в окружающую среду при различных сценариях как проектных, так и запроектных аварий.

**Выводы.** 1. Основным требованием при создании любого ядерного реактора является обеспечение ядерной и радиационной безопасности заключающейся в том, что при любых эксплуатационных и любых аварийных ситуациях должно быть исключено неконтролируемое развитие цепной реакции деления как реактора в целом, так и в отдельных частях активной зоны, а также облучение персонала и загрязнение окружающей среды выше установленных норм.

2. Поскольку потенциальная опасность АЭС с ядерным реактором любого типа является неустранимой их особенностью, обеспечение безопасности должно сводится к системе технических мероприятий, гарантирующих защиту окружающей среды от недопустимых воздействий при любых технически возможных авариях. В топливном ядерном цикле АЭС представляют наибольший риск, так как вещества с высокой радиоактивностью находятся вблизи биосфера, и может появиться энергия, необходимая для нарушения барьеров безопасности. Расчетный риск от АЭС – это сумма всех рисков индивидуальных постулируемых сценариев аварий. Он состоит из двух частей: вероятности прохождения аварии и эффектов такой аварии для населения. Расчетный риск может быть снижен в результате корректических действий, осуществляемых в ходе аварии для уменьшения ее последствий.

3. Для существенного повышения уровня безопасности легководных реакторов необходимо:

– снизить вероятности тяжелого повреждения или расплавления активной зоны;

– использовать пассивные системы, работающие без подачи внешней энергии и без вмешательства оператора, для предотвращения повреждения и для поддержания длительного расхолаживания активной зоны при авариях;

– использовать как активные, так и пассивные системы расхолаживания активной зоны в случае возникновения аварии;

– выполнять мероприятия, повышающие способность реакторной установки самой предотвращать развитие аварий и ограничивать тяжелые последствия, без участия обслуживающего персонала и потребления внешней энергии;

– применять системы барьеров на пути распространения ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду и системы технических и организационных мер по защите каждого барьера.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ядерно-энергетический ренессанс // Журнал «Энергоатом Украины». – К.: ЦОИ «Энергобизнес», 2005. – № 1(14). – С. 2 – 3.
2. Авдеев О.К. Радиоактивные отходы Украины: состояние, проблемы, решения / О.К. Авдеев [и др.]. – К.: издат. центр «ДрУк», 2003. – 400 с.
3. Емельянов И.Я. Конструирование ядерных реакторов / И.Я. Емельянов, В.И. Михан, В.И. Солонин. – М.: Энергоиздат, 1982. – 400 с.
4. Широков С.В. Ядерні енергетичні реактори / С.В. Широков. – К.: ИТУУ «КПІ», 1997. – 280 с.
5. Камерон И. Ядерные реакторы. Пер. с англ. / И. Камерон. – М.: Энергатомиздат, 1987. – 320 с.
6. Комплексная программа модернизации и повышения безопасности энергоблоков атомных электростанций. Программа одобрена распоряжением Кабинета министров Украины № 504-р от 29.08. 2002 г.
7. Техническое обоснование безопасности сооружения и эксплуатации АЭС. Доработка. Книга 1. – Киев, 1991 г.
8. Серийный энергоблок с реактором ВВЭР-1000. Реакторная установка. – Москва, 1983 г.
9. Барбашев С.В. Мир атомной энергии / С.В. Барбашев, Р.Г. Зибницкий, С.А. Шимчев // под ред. Канд. физико-математических наук С.В. Барбашова. – Запорожье: Дикое Поле, 2007. – 112 с.