

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

О РЕКОМЕНДАЦИЯХ ПО ПОВЫШЕНИЮ САМОЗАЩИЩЕННОСТИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Во всем мире возрастает интерес к ядерной энергетике. В нашей стране в последние годы взят курс на ее системное и последовательное развитие. Позиция государства отражена в трех федеральных целевых программах [1—3]. Первая из них решает проблемы настоящего и ближайшей перспективы, вторая направлена на решение проблем прошлого, прежней деятельности, третья призвана сформировать ядерную энергетику будущего, развить те типы реакторов, которые пока еще находятся на разных стадиях обоснования работоспособности и безопасности.

Развитие новых реакторных технологий в нашей стране тесно связано с мировыми тенденциями. Россия инициировала и более 8 лет активно участвовала в проекте ИНПРО [4], приглашена вступить в число участников другого международного проекта G-4, направленного на формирование образа будущей ядерной энергетики на основе реакторов четвертого поколения [5]. Рассматриваемые в этих программах и проектах реакторные установки отличаются конструкцией, техническими и экономическими характеристиками и другими показателями. В проекте ИНПРО разработана методика оценки и сопоставления проектируемых реакторных установок различных типов. Важнейшим критерием оценки является свойство внутренней самозащищенности, которому дается следующее определение: «Свойство обеспечивать безопасность на основе естественных обратных связей, процессов и характеристик» [6].

Обоснованию определяющего значения этого свойства в обеспечении ядерной и радиационной безопасности реакторных установок посвящена монография [7]. Цели настоящей статьи — обратить внимание на важность свойства внутренней самозащищенности при проектировании ядерных реакторов и предложить форму документа для его обоснования. Свойство внутренней самозащищенности может стать предметом специального изучения, анализа и обобщения опыта научных исследований, конструирования и проектирования ядерных реакторов для оценки того, насколько действующие и проектируемые реакторы им обладают. Внутренняя самозащи-

щенность должна стать главным критерием при выборе перспективных конструкций ядерных реакторов.

Безопасность объектов использования атомной энергии, в основном, обосновывается научными исследованиями, сопутствующими проектированию и эксплуатации объектов, в которых непременно учитываются зарубежный опыт и рекомендации международных организаций. Новое оборудование создается на имеющейся нормативной базе, проектные решения обосновываются только научными методами, так как предшествуют опыту эксплуатации проектируемых объектов.

Результаты научных исследований свойства самозащищенности могут систематизироваться и обобщаться в виде неких рекомендательных документов, которые можно так и назвать: научные рекомендации. Они не должны восприниматься как имеющие обязательный характер нормативные акты. Их также следует отличать от РТМ — руководящих технических материалов, обобщающих научные исследования, но уже верифицированных на реальных объектах. В прежние времена, когда РТМ были широко распространены, в них включались только результаты исследований, подтвержденных полевыми, станционными испытаниями.

Научные рекомендации следует отличать и от РБ — руководств по безопасности, которые содержат рекомендации регулирующих органов по исполнению обязательных федеральных норм и правил. РБ пишутся для действующих объектов и отражают подходы к оценке безопасности регулирующих органов.

Таким образом, научные рекомендации могут стать первым практическим шагом на пути создания нового объекта и первым этапом последующей разработки федеральных норм и правил. Поэтому наиболее заинтересованными в написании научных рекомендаций являются конструкторские и проектные организации, а также регулирующие органы.

Разумеется, ни в одной организации сейчас нет подобных документов, так как задача сфокусировать исследования на внутренней самозащищенности не ставилась. Но в архивах многих предприятий можно

найти отчеты, содержащие научное обоснование разрозненных элементов реакторных установок. Эти отчеты служили научными рекомендациями всех предыдущих отечественных ядерных реакторов. Все три российские организации главного конструктора имеют научные наработки новых типов энергетических реакторов, обладающих в разной степени внутренней самозащищенностью.

Похожие документы уже разрабатывают некоторые международные организации. Западноевропейская ассоциация регулирующих органов WENRA выпустила доклад «Цели безопасности для новых энергетических реакторов» [8]. В нем содержатся рекомендации по конструированию и проектированию систем и элементов реакторных установок, которых еще нет. Рекомендации даются на основе опыта конструирования, проектирования и эксплуатации действующих реакторов предыдущих поколений и предназначены для проектируемых ядерных реакторов.

Практика эксплуатации действующих реакторов, анализ причин аварий, достижения, а также идеи, математические и физические модели элементов будущих реакторов являются основой для исключения уязвимых мест и формирования желаемых свойств будущих конструкций. Желания эти не беспочвенны, так как сообщество специалистов уже сейчас могло бы выработать научные рекомендации, направленные на максимальную реализацию внутренней самозащищенности проектируемых ядерных реакторов. В упомянутом докладе [8] в качестве целей безопасности предлагается обобщить усовершенствования, которые представляют собой значительный шаг вперед в уровне безопасности по сравнению с существующими станциями. Эти усовершенствования основаны на проектных особенностях, явившихся результатом научно-исследовательских работ, и возможны, только если они предусмотрены на этапе проектирования. Некоторые ситуации, которые считаются за проектными для существующих реакторов, такие, как режимы множественных отказов и аварии с расплавлением активной зоны, считаются для новых установок проектными.

Если в докладе говорится о шаге в уровне безопасности, то в настоящей статье — о повышении свойства внутренней самозащищенности, которое является основой обеспечения безопасности, т.е. идеология формирования и использования предложенный сходна. Рекомендации формируются на этапе научных исследований, предусмотренных проектом реакторной установки. И они не являются нормативными или обязательными, а служат ориентирами, целями, которые можно поставить уже сегодня и ко-

торые сформулированы в качестве ожидаемых улучшений по сравнению с существующими реакторами [8].

В приложении к настоящей статье в качестве темы для обсуждения представлен пример таких научных рекомендаций. Комментарии, следующие за рекомендациями, разъясняют источники их возникновения. Хотелось бы привлечь внимание специалистов к поиску таких черт ядерных реакторов, которые повышают внутреннюю самозащищенность реакторных установок. Разумеется, ограниченность знаний авторов обуславливает неполноту рекомендаций, но их дополнение и развитие другими специалистами способствовали бы созданию таких документов, которые не связывали инициативу разработчиков, а напротив, явились опорой для проектов будущего.

Приложение

Рекомендации по выбору топлива

Тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ) должен быть сконструирован так, чтобы содержать минимум делящегося вещества в форме, позволяющей сдерживать продукты деления как угодно долго.

Комментарий

Образом такого топлива являются сферы, содержащие делящееся вещество. Сферы из обогащенного урана с оболочкой из графита освоены промышленностью.

ТВЭЛ не должен иметь конструкционных полосей, в которых продукты деления собирались бы под давлением.

Комментарий

Образом небезопасного топлива являются используемые повсеместно цилиндрические ТВЭЛы, в полостях которых собираются газообразные продукты деления, находящиеся под давлением, даже отработав в реакторе.

Если ТВЭЛы собраны в тепловыделяющую сборку (ТВС), то они должны быть такими, чтобы сконструированная из них ТВС, оказавшись в воздушной среде, сохраняла бы свою прочность, форму и целостность как угодно долго.

Комментарий

При потере теплоносителя ТВС должна охлаждаться естественной конвекцией атмосферного воздуха так, чтобы не потерять свою форму, остаться транспортабельной и ни в коем случае не допускать разрушения или тем более расплавления ТВЭЛОВ.

Рекомендации по выбору теплоносителя

В практически реализуемых диапазонах параметров теплоноситель не должен вступать в такие химические реакции с материалами ТВС, ограждающих конструкций и воздухом, которые могли бы привести к разрушению ТВС и ограждающих конструкций.

Параметры теплоносителя при эксплуатации (температура, скорость и др.) должны быть такими, чтобы избежать механических повреждений твэлов и ограждающих конструкций вследствие вибрации, эрозии и других воздействий.

Комментарий

Целостность твэлов и ограждающих конструкций должна быть максимально обеспечена. В случае внешнего разрушения ограждающих конструкций теплоноситель не должен реагировать с воздухом во избежание разрушения твэлов.

Рекомендации по конструкции активной зоны

Активная зона должна быть сконструирована так, чтобы было исключено образование локальных критических масс, любые воздействия сопровождались отрицательными обратными связями, цепная реакция происходила на быстрых нейтронах с равновесным коэффициентом воспроизводства, примерно равным единице, а при полном обесточивании систем реактора находилась в этом состоянии как угодно долго без повреждения твэлов.

Комментарий

Такая рекомендация, как представляется, обоснована [9], а отдельные элементы данной рекомендации реализованы в известных проектах реакторов различных типов.

Рекомендации по конструкции реактора

Реактор должен быть сконструирован так, чтобы при любых условиях лишенный теплоносителя и полностью обесточенный мог находиться в этом состоянии как угодно долго без повреждения твэлов. В реакторе не должно быть избыточного давления над теплоносителем.

Комментарий

Хотелось бы обратить внимание, что в этих рекомендациях концепция глубокоэшелонированной защиты сохраняется, но центр тяжести в ее содержании переносится с противодействия разрушительным воздействиям на предотвращение этих воздействий. В действующих реакторах, скажем,

стенки твэла или циркуляционного трубопровода находятся под давлением и противостоят силам давления. В реакторе с внутренней самозащищенностью они не должны быть подвержены действию этих сил. Благодаря этому практически все системы безопасности становятся ненужными, хотя все барьеры и уровни глубокоэшелонированной защиты должны быть сохранены.

На нынешнем уровне знаний пока трудно прогнозировать роль оператора в управлении таким реактором, но представляется, что следует стремиться, чтобы влияние оператора было минимально.

Таким образом, проект реактора с высокой степенью внутренней самозащищенности должен не превышать пределы безопасной эксплуатации для любых исходных событий и их комбинаций за счет отрицательных обратных связей по всем возможным возмущениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ФЦП** «Развитие атомного энергопромышленного комплекса на 2007—2010 годы и на перспективу до 2015 года». Постановление Правительства РФ от 06.10.2006 г. № 605.
2. **ФЦП** «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Постановление Правительства РФ от 13.07.2007 г. № 444.
3. **ФЦП** «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010—2015 годов и на перспективу до 2020 года». Постановление Правительства РФ от 3.02.2010 г. № 50.
4. **Соколов Ю.А., Муроков В.М., Хорошев М.В., Бусурин Ю.Н.** Международный проект ИНПРО: роль России в реализации проекта, состояние и перспективы развития. — Бюл. по атомной энергии, 2005, № 6, с. 6—11.
5. **Елагин Ю.П.** Исследования реакторных систем поколения IV. — Атомная техника за рубежом, 2007, № 11, с. 7—19.
6. **Общие** положения обеспечения безопасности атомных станций ОПБ АС-88/97. М., НТЦ ЯРБ, 1998.
7. **Гордон Б.Г.** Идеология безопасности. М., НТЦ ЯРБ, 2006.
8. **RHWG**, Safety Objectives for New Power Reactors. Report by WENRA Reactor Harmonization Working Group, December 2009.
9. **Орлов В.В.** Ядерная энергетика на быстрых реакторах — новый старт. — Атомная стратегия, 2008, № 1—2, с. 22—23.

Гордон Б.Г., Пискунова Н.А.

(Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, г. Москва)