



ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

№ 7-8(15-16)

2012

СЕРИЯ: АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ХРАНЕНИЕ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА НА АЭС

Транспортно-технологическая схема обращения ядерного топлива при работе АЭС состоит из следующих основных этапов: доставка свежего топлива на станцию; загрузка и выгорание топлива в реакторе; перегрузка выгоревшего топлива из реактора в приреакторный бассейн выдержки; извлечение из бассейна; дальнейшее обращение с выгоревшим топливом в соответствии с принятым вариантом национальной политики. Каждый из этих этапов требует специального технологического обеспечения высокого уровня и обоснования ядерной и радиационной безопасности. Обязательное хранение отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) в приреакторных бассейнах осуществляется в соответствии с принимаемыми в каждом проекте АЭС техническими решениями относительно емкости бассейнов и срока нахождения в них облученного топлива, в течение которого происходит интенсивный съем остаточного тепловыделения.

Дальнейшая судьба топлива, согласно современной позиции в мировой ядерной энергетике экспортеров топлива и технологий, решается страной, на территории которой оно образовалась. В настоящее время многие страны избирают в качестве национальной политики обращения с ОЯТ его долговременное хранение с отсрочкой на будущее принятия решения об окончании топливного цикла.

Если такое решение принимается и топливо не вывозится на долговременное промежуточное хранение в централизованное хранилище, то его, в силу наличия целого ряда преимуществ, хранят, как правило, на территории АЭС.

Для долговременного хранения выгоревшего топлива используются технологии мокрого и сухого хранения. Если хранение осуществляется в водной среде (мокрое хранение), то на площадке АЭС сооружаются один или несколько заполненных водой бассейнов хранения (технологически идентичных приреакторным бассейнам выдержки), соединенных транспортными каналами с приреакторными бассейнами АЭС.

На современном этапе, в соответствии с тенденциями развития ядерных и радиационных технологий, при организации долговременного хранения ОЯТ на АЭС используются в основном технологии сухого хранения облученного топлива – хранение ОЯТ в инертной газовой среде. При этом с точки зрения эксплуатации и экономичности предпочтение отдается концепциям сухих хранилищ облученного топлива с использованием универсальных контейнеров – для долговременного хранения и транспортировки.

Основные преимущества пристанционного хранения ОЯТ

Долговременное хранение ОЯТ на территории АЭС имеет ряд важных преимуществ экономического характера, по соображениям безопасности, охраны окружающей среды, общественного восприятия экологических проблем, лицензирования. К наиболее существенным преимуществам относятся:

использование готовых транспортных коммуникаций, сокращение расстояний для перевозок;

частичное объединение инфраструктуры станции и хранилища – совместное использование некоторых вспомогательных строений, служб, коммуникаций и квалифицированного персонала;

подчинение администрации АЭС, в этом случае в аварийных ситуациях будет обеспечено вмешательство квалифицированного персонала, что обусловит более квалифицированное управление авариями;

упрощение систем физической защиты;

отсутствие необходимости в геотехнических исследованиях в полном объеме, так как зона расположения уже исследована при выборе площадки АЭС;

с точки зрения охраны окружающей среды и более положительного общественного восприятия преимущество состоит в том, что последствия аварийных ситуаций будут локализованы в пределах защитных зон станции;

упрощение процедуры лицензирования – уменьшаются стоимость и длительность процесса лицензирования, так как уже известны месторасположение объекта, характеристики, технические аспекты.

Основные задачи, которые требуют решения при размещении ОЯТ на долговременное хранение на территории станции:

выбор участка достаточных размеров для сооружения хранилища запланированного объема;

в соответствии с требованиями нормативных документов по размещению ядерно- и радиационно- опасных объектов обеспечение определенного минимального удаления хранилища от сооружений АЭС, которая является взрыво- и пожароопасным объектом по отношению к хранилищу;

обеспечение непревышения суммарными дозовыми нагрузками от хранилища и АЭС, размещенных на одной площадке, пределов безопасного облучения, допускаемых требованиями нормативных документов по радиационной безопасности.

Выбор места размещения хранилища ОЯТ на площадке АЭС

В общем случае (вне зависимости от технологии хранения и конструкционного исполнения хранилища) конкретное место для долговременного хранения ОЯТ зависит от характеристик проекта АЭС, площадки ее размещения, количества энергоблоков станции, инфраструктуры станции и внеплощадочных сооружений, предполагаемого объема и времени функционирования хранилища, при том что в обязательном порядке должно быть обеспечено непревышение допустимых суммарных дозовых нагрузок от АЭС, хранилища и естественного или техногенно измененного фона в пределах защитных зон этих объектов.

Площадка для сооружения хранилища должна удовлетворять, как и площадка для сооружения любого ядерно- и радиационно- опасного объекта, набору требований к естественно-природным и техногенным условиям на ней с учетом специфики хранилища, факторов его взаимовлияния с окружающей средой, заложенного при проектировании уровня безопасности и с учетом места его размещения на территории станции.

Основными факторами окружающей природной среды, запрещающими или усложняющими размещение хранилища на площадке, которые должны быть выявлены в первую очередь при выборе ее месторасположения (как и при размещении АЭС), являются интенсивные сеймотектонические проявления, поверхностные сбросовые явления, оседания грунта, наводнения, экстремальные метеорологические явления – ураганы, смерчи, молнии, экстремальные температуры воздуха и др.

Хранилище не должно располагаться непосредственно на тектонически активном разломе, на участках с сейсмичностью, превышающей сейсмостойкость хранилища, на территориях, подверженных затоплению, на участках с протеканием интенсивных суффозионно-карстовых процессов.

Расположение хранилища в пределах территории АЭС позволяет не рассматривать многие факторы воздействия окружающей среды, так как они будут учтены при размещении станции. При исследовании выбранной для АЭС площадки выявляются с достаточной степенью детализации процессы и явления природного и техногенного характера, свойственные площадке размещения АЭС, защитным зонам станции – санитарно-защитной зоне и прилегающей к ней территории зоны наблюдения.

Анализ процессов и явлений в пределах изученной территории АЭС, учет инфраструктуры станции и внеплощадочных систем ее жизнеобеспечения – автомобильных и железных дорог, примыкающих к площадке АЭС, линий электропередач позволяет принимать достаточно обоснованное решение о выделении участка для размещения хранилища с перспективой промежуточного хранения всего облученного топлива станции (если будет принят такой вариант).

Для уточнения характеристик выделенной площадки могут потребоваться лишь некоторые дополнительные исследования, например геотехнические, – при полномасштабной эксплуатации хранилища значительная нагрузка на фундамент может вызвать изменение физико-механических свойств грунтов на площадке и, в свою очередь, привести к изменению сейсмичности площадки и к необходимости ее сейсмического микрорайонирования для естественных и техногенно измененных условий.

В этом случае, при отсутствии на площадке строительства грунтов с необходимыми характеристиками, выясняется возможность устранения этого нежелательного явления инженерно-техническими мероприятиями – путем предварительного уплотнения грунтов до нужных характеристик. Выполнение таких работ регламентируется строительными нормами и правилами, содержащимися в соответствующих документах.

Обеспечение ядерной и радиационной безопасности при хранении ОЯТ на площадках АЭС

Главное условие долговременного хранения ОЯТ – соблюдение критериев ядерной безопасности и радиационной защиты согласно требованиям национальных нормативно-законодательных документов по защите персонала, населения и окружающей среды на протяжении всего проектного времени функционирования хранилища в режимах нормальной эксплуатации и нарушений нормальной эксплуатации.

Для каждого проекта хранилища вне зависимости от его места расположения, конструкции, технологии хранения должны разрабатываться соответствующие документы, содержащие предписания по обеспечению ядерной и радиационной безопасности, удовлетворяющие требованиям норм и правил в области использования атомной энергии.

Ядерная безопасность хранилища облученного ядерного топлива – способность системы хранения техническими решениями и организационными мероприятиями исключить при долговременном хранении вероятность возникновения ядерной аварии, приводящей к радиационной катастрофе.

Проектные и конструкторские решения пристанционных хранилищ обеспечивают присущую им, как правило, внутреннюю безопасность, и, таким образом, авария, влекущая за собой утечку радионуклидов в окружающую среду по каким-либо внутренним причинам, маловероятна. Защищенность от внешних воздействий должна обеспечиваться выбранным способом хранения, конструкцией хранилища и расположением на территории АЭС.

Эксплуатация хранилищ, сооруженных в пределах территории станции, регламентируется нормативной документацией по обращению с отработавшим ядерным топливом на АЭС. Основные требования по безопасности для АЭС распространяются также и на промежуточные хранилища облученного топлива. Согласно этому:

проектирование зданий для хранилищ на площадке АЭС выполняется в соответствии с требованиями норм строительного проектирования сейсмостойких АЭС;

при любой технологии хранения ОЯТ ядерная и радиационная безопасность обеспечивается непревышением в системе хранения значения эффективного коэффициента

размножения величины 0,95 в условиях нормальной эксплуатации и при проектных авариях, надежным теплосъемом остаточного энерговыделения, предотвращением затопления хранилища при сухом хранении, исключением критичности при любом сдвиге отработавших тепловыделяющих сборок под действием ударов, землетрясений;

для безопасности хранения ядерного топлива должно обеспечиваться высокое качество проекта системы хранения и обращения с ОЯТ, техническое совершенство и надежность оборудования, контроль его состояния, а также организация и выполнение работ в соответствии с требованиями эксплуатационной документации, профессиональной квалификацией персонала.

Ядерная и радиационная безопасность при эксплуатации пристанционного хранилища ОЯТ должна быть обеспечена с учетом всех выявленных природных явлений и событий техногенного характера для данного района, на территории станции и на соседних объектах на основе анализа вероятности проектных и запроектных аварий. Перечни проектных и запроектных аварий при хранении, перегрузке, транспортировке ОЯТ должны быть включены в соответствующие перечни аварий, которые приводятся в техническом обосновании безопасности эксплуатации АЭС.

Примерный перечень исходных событий для анализа проектных аварий:

сейсмические и другие природные явления, свойственные данному району (наводнения, ураганы и др. При анализе сейсмических явлений необходимо рассматривать максимальное расчетное землетрясение);

полное прекращение энергоснабжения;

падение самолета;

воздушная ударная волна, обусловленная взрывом;

пожар (проект хранилища должен исключать возможность достижения критичности при возникновении пожара и его тушении);

падение предметов, которые могут изменить расположение тепловыделяющих сборок и нарушить их целостность и целостность оболочек твэлов;

ошибки персонала;

образование взрывоопасных смесей в хранилище;

аварии на реакторе, влияющие на безопасность хранилища.

Исходные события для анализа запроектных аварий – возникновение самопроизвольной цепной реакции в хранилище, проникновение воды или пароводяной смеси в сухое хранилище ОЯТ и др.

Радиационная безопасность при долговременном хранении ОЯТ, основывающаяся на создании многобарьерной системы защиты, обеспечивается выбором технологии хранения, проекта хранилища, места его расположения, соблюдением эксплуатационных процедур, нормативным техническим обеспечением всех этапов обращения с ОЯТ.

Технические требования к системе хранения ОЯТ

Требования ядерной и радиационной безопасности определяют основные технические требования к системе хранения ОЯТ, которые могут быть суммированы в следующем виде:

предотвращение критичности, что может быть гарантировано рядом проектных факторов и мер предосторожности (геометрически безопасной конфигурацией размещения отработавших тепловыделяющих сборок, использованием поглотителей нейтронов и т.д.);

предотвращение распространения радиоактивности;

защита топливных сборок от механического или химического повреждения;

предупреждение перегрева, что гарантируется проектированием системы удаления тепла способной обеспечить не превышение допустимых максимальных температур даже при проектных авариях;

защита от γ -радиации и нейтронного излучения, что обеспечивается выполнением в проекте мер предосторожности (например, при анализе проекта защиты и транспортного

оборудования предполагать максимальное заполнение хранилища топливом, которое, в свою очередь, должно иметь максимальное выгорание и минимально допустимое время выдержки);

использование оборудования, способного минимизировать вероятность повреждения топлива при хранении или транспортировке;

обеспечение гарантий и физической защиты, что достигается включением в проект хранилища мер или систем, способных фиксировать и определять любые неразрешенные перемещения ядерных материалов из помещений обращения и хранения ОЯТ.

Основные характеристики топлива, определяющие параметры хранилища

Основными характеристиками топлива, определяющими параметры хранилища любого типа, являются:

проектные основы топливных сборок – физическое описание (форма, состав, материалы, масса и т. д.), начальное обогащение, история выгорания, минимальный период выдержки, изотопный состав на время хранения, радиационные поля на время хранения, реактивность на время хранения, остаточное тепловыделение;

классификация дефектного топлива;

число сборок на время хранения, общее количество сборок;

предполагаемая максимальная продолжительность хранения.

Изотопная характеристика отдельных сборок необходима, чтобы точно определить радиологические условия и тепловыделение. Для такой характеристики используются коды, прошедшие аттестацию и верификацию.

Контейнерное хранение

Обеспечить ядерную и радиационную безопасность в течение продолжительных сроков хранения и при транспортировке, в случае необходимости, в любой момент времени позволяет технология хранения топлива в контейнерах двухцелевого назначения (для хранения и транспортирования).

Контейнеры с ОЯТ можно размещать на площадках ядерных объектов, в региональных, межрегиональных, централизованных хранилищах без жестких требований к площадкам и с возможностью перемещения контейнеров с ОЯТ с минимальными дополнительными расходами. Транспортные требования к конструкции контейнеров едины во всем мире и четко классифицированы, их выполнение подтверждается общепринятыми методами расчетов и тестированием, включая натурные аварийные испытания, что практически невозможно для хранилищ других типов.

С точки зрения эксплуатации и экономичности контейнерная система хранения отработавшего топлива на площадке АЭС имеет следующие основные преимущества по сравнению с другими системами сухого хранения отработавшего топлива:

гибкость в отношении выбора места для хранения – можно хранить контейнеры на станции и в любой момент переместить с территории АЭС, например, в централизованное хранилище и т. д.;

увеличение числа контейнеров в хранилище по мере необходимости, т.е. средства в ходе строительства замораживаются в меньшей степени;

низкие начальные капиталовложения, расходы на эксплуатацию, ремонт и снятие с эксплуатации (хотя полномасштабная экономика хранилища, определяемая стоимостью контейнеров и их количеством, может быть значительной).

Конструкционная надежность и материалы контейнеров позволяют хранить в них ОЯТ в течение 50 и более лет. Теплоотвод от ОЯТ осуществляется без использования принудительных систем за счет естественной вентиляции. Практически не требуется вспомогательных систем для поддержания безопасных условий хранения и контроля безопасности.

Ядерная безопасность при контейнерном хранении достигается за счет применения дистанцирующих и поглощающих элементов внутри контейнера, а также размещением отработавших тепловыделяющих сборок в пеналах, что обеспечивает их изоляцию друг от друга вне зависимости от времени и практически любых проектных и запроектных внешних воздействиях.

Контакт между ОЯТ различных контейнеров в случае аварий природного или техногенного характера принципиально невозможен.

При необходимости возможна постепенная модернизация отдельных элементов и контейнеров в целом. Постепенность перехода к следующему этапу обеспечивается модульным типом хранения.

Выбор типа контейнера для долговременного хранения ОЯТ основывается на следующих характеристиках отработавшего ядерного топлива: максимально допустимое остаточное суммарное тепловыделение сборок, размещаемых в контейнере, глубина выгорания топлива – максимальная и средняя, начальное обогащение топлива.

Для долговременного хранения глубоковыгорающего топлива водо-водяных реакторов требуются контейнеры, позволяющие обеспечить интенсивный теплоотвод от стенок контейнера и предотвратить недопустимое повышение температуры твэлов.

Технологические решения по обеспечению ядерной и радиационной безопасности контейнеров для длительного промежуточного хранения и транспортировки ОЯТ разных производителей фактически могут быть одинаковы, вопрос лишь в возможности практической реализации – лицензировании, наличии соответствующей освоенной технологической базы, стоимости и спроса со стороны потенциальных потребителей.

Как правило, при разработке конструкции контейнера для ОЯТ определенного вида разрабатывается и сопутствующая инфраструктура на базе имеющихся технологий: система самого хранилища, система обращения с отработавшими тепловыделяющими сборками, транспортно-технологическое оборудование по обращению с контейнерами и т.д. Это вызвано тем, что исходные условия хранения даже для однотипных АЭС существенно различаются и не могут быть в общем случае унифицированы.

Конструкция контейнера разрабатывается проектировщиком с учетом специфических особенностей площадки и проекта АЭС, инфраструктуры оборудования и технических устройств, свойств грунта и почв, потенциала аварийности площадки и др.

Расчетное обоснование каждого конкретного типа контейнера для каждого конкретного вида топлива с учетом места расположения хранилища является комплексной оптимизационной задачей. Поэтому создание системы хранения ОЯТ в контейнерах, разрабатываемых для каждой конкретной станции, должно осуществляться в тесном сотрудничестве с проектировщиком контейнеров.

В общем случае при сооружении промежуточного хранилища на выбранной площадке требуется разработка проекта площадки хранения, проекта хранилища и предварительного отчета по анализу безопасности, утверждение их в госучреждениях и регулирующих органах.

Для контейнерного хранилища требуется разрешение на производство контейнеров соответствующего типа, строительство площадки хранения, получение лицензии на эксплуатацию хранилища. Это предполагает принятие специфических национальных требований по безопасности, предъявляемых к хранилищу как к ядерно- и радиационно-опасному объекту во всех возможных эксплуатационных режимах.

В первую очередь необходимо определить набор требований к уровню устойчивости хранилища по отношению к естественно-природным и техногенным факторам воздействия окружающей среды из совокупности требований, предъявляемых к хранилищам в разных странах (каждая страна определяет свой набор требований): удар самолета, взрыв газового облака, землетрясение, летящие предметы, ураган, авария на АЭС и др.

Для любого проекта хранилища необходимо получение лицензии соответствующих органов на эксплуатацию контейнеров, которые смогут обеспечить соответствующий

уровень безопасности в условиях длительного хранения с учетом аварийных и нештатных ситуаций.

Должны быть определены критерии проектирования выбранного типа хранилища, например, допустимая мощность дозы излучения на поверхности контейнера или на некотором расстоянии от него, значение предельно допустимой дозы, получаемой на границе хранилища при нормальной эксплуатации и в аварийных режимах. Эти критерии основываются на совокупных требованиях безопасности, которым должны будут удовлетворять контейнеры, на величинах тепловыделения и уровнях излучения от контейнеров и с учетом предполагаемого места размещения хранилища,

Должен быть разработан документ, формирующий основные положения по обеспечению безопасной эксплуатации хранилища: требования постоянного контроля состояния контейнеров и их механической целостности; требования проведения их всеобъемлющих испытаний через определенный интервал времени и др.

Как правило, АЭС, на территории которой сооружается промежуточное хранилище, несет полную ответственность за разработку, строительство, испытания и эксплуатацию хранилища. АЭС ответственна за осуществление всех мероприятий, связанных с этим проектом, а также за предоставление всей необходимой документации и финансирование, требующихся для получения лицензии на строительство и эксплуатацию хранилища.

Все строительные работы в рамках проекта, а также осуществление программы контроля качества на объекте должны находиться под контролем АЭС.

Основные факторы воздействия контейнерного хранилища на экологическую обстановку

Факторы воздействия контейнерного хранилища на экологическую обстановку в месте его размещения определяются спецификой хранилища и заложенным при его проектировании уровнем безопасности. Хранилище на основе высокотехнологичных универсальных контейнеров – это наземное сооружение, срок эксплуатации которого может достигать ~50 лет, столько же может длиться и постэксплуатационный период.

Основными факторами воздействия на окружающую среду являются n -, γ -излучения и тепловыделение с поверхности контейнеров. Радиационное воздействие излучения от хранилища нормируется в пределах его санитарно-защитной зоны квотой, устанавливаемой в соответствии с национальными нормативными требованиями по защите от излучения, с учетом его размещения по отношению к АЭС и естественного или техногенно измененного радиационного фона.

Предполагается, что в контейнерах будет обеспечен высокий уровень герметичности, который предотвратит выход радиоактивных продуктов в окружающую среду на протяжении всего проектного срока службы в условиях нормальной эксплуатации и ограничит его допустимыми пределами при проектных авариях, а также для случая 100 % разгерметизации топлива. Это исключит потенциальную возможность загрязнения поверхностных питьевых и грунтовых вод, почв и других объектов окружающей среды при нормальной эксплуатации хранилища и в аварийных ситуациях.

Тепловыделение может вызывать некоторое изменение температурного фона непосредственно вблизи хранилища и приводить к нагреванию грунтовых вод под площадкой. По мере хранения мощность тепловыделения от контейнеров и тепловая нагрузка на фундамент будут уменьшаться.

Оценка экономической целесообразности хранения ОЯТ на станции

Спрогнозировать заранее формирование доходов и расходов при организации в будущем долговременного хранения ОЯТ на территории сооружаемой АЭС сложно. В общем случае, для корректной оценки экономической целесообразности промежуточного хранения отработавшего топлива и сравнения его с экономическими параметрами альтернативных вариантов обращения с ОЯТ требуется оценить:

капитальные затраты на выбор площадки, проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию первой очереди хранилища;

капитальные затраты на увеличение производственной мощности хранилища по соответствующим временным периодам, в течение которого будет осуществляться прием ОЯТ на хранение;

постоянные ремонтно-эксплуатационные затраты на обеспечение безопасности и поддержание основных средств хранилища в работоспособном состоянии, которые не будут зависеть от объема принимаемого на хранение ОЯТ;

переменные затраты, зависящие от объема принимаемого на хранение топлива.

Кроме этого, существует большая степень неопределенности в выборе стратегии обращения с ОЯТ после истечения проектного срока промежуточного хранения – это может быть переработка, захоронение в геологических формациях или продление срока хранения.

К настоящему времени накоплен значительный опыт реализации проектов сооружения контейнерных хранилищ ОЯТ российских реакторов ВВЭР, эксплуатируемых за рубежом. Введены или находятся в стадии сооружения контейнерные хранилища на чешских АЭС «Дукованы» с реактором ВВЭР-440 и «Темелин» с ВВЭР-1000, болгарской АЭС «Козлодуй» с ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Одним из примеров успешного внедрения технологии контейнерного обращения с ОЯТ является сооружение контейнерного хранилища для хранения ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 на Запорожской АЭС.

В этих хранилищах используются пока контейнеры не российского производства. Однако универсальные транспортно-упаковочные комплекты нового поколения для долговременного хранения и транспортировки отработавшего топлива действующих АЭС с реакторами ВВЭР-1000 и новых АЭС-2006/2009 разрабатываются. На решение этих проблем направлены усилия всех компетентных организаций и предприятий РФ. Освоение производства таких упаковочных комплектов и серийная их поставка предусматривается российскими заводами-изготовителями, имеющими необходимые производственные мощности и опыт изготовления крупногабаритного оборудования.

Для подготовки информационного бюллетеня использованы следующие источники:

1. http://www.givnapiet.ru/informats_tehnolog.html

2. <http://nuclearcask.ru/tuk141.html>

3. <http://www.reamntk.ru/docs/366/tezis/423opit-oao.doc>

4. Сафутин, В.Д. Решение проблемы хранения ОЯТ при продлении сроков службы АЭС / В.Д.

Сафутин // Развитие атомной энергетики и возможности продления сроков службы атомных энергоблоков: конф. / Ядерное общество России – СПб., 1999г. – С.1 – 30.

Материал подготовили: Брылева В.А., Войтецкая Е.Ф., Нарейко Л.М.

Адреса для контактов:

ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси, 220109, Минск, ул. академика А.К. Красина, 99

тел.: 299-47-61, 299-45-56, факс: 299-43-55, Web-site: <http://www.sosny.bas-net.by>

E-mail: valentina.bryliova@yandex.by

Для получения данного информационного бюллетеня просим подать заявку в электронном виде с указанием своего электронного адреса

©При перепечатке ссылка обязательна

По заказу Министерства энергетики Республики Беларусь