

СРАВНЕНИЕ КАССЕТНО-СТЕРЖНЕВОЙ И ШАРО-НАСЫПНОЙ АКТИВНЫХ ЗОН РБН С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Г.Б. Усынин, А.А. Кравченко

Нижегородский государственный технический университет, г. Н.Новгород



Рассматривается активная зона с шаровыми твэлами, поддерживаемая гидродинамической силой теплоносителя (натрия) на уровне верхней опорной решетки. Простота конструкции и небольшие размеры тепловыделяющего элемента позволяют проводить его рефабрикацию немедленно после извлечения из активной зоны. Толщина насыпного слоя и состав топлива определяются в основном следующими факторами: поддержание критичности, требуемый уровень мощности, необходимость бридинга. Дается сравнение шаро-насыпной активной зоны и традиционной кассетно-стержневой.

ВВЕДЕНИЕ

Программа использования ядерного топлива в России декларирует, что «в крупномасштабной ядерной энергетике будущего могут найти свое место различные типы реакторов на тепловых нейтронах при доминирующей роли быстрых реакторов» [1]. Также предполагается «развертывание НИР и ОКР по технологии замкнутого ядерного топливного цикла».

Однако РБН с традиционной кассетно-стержневой активной зоной обладают серьезными недостатками, затрудняющими реальное обеспечение «доминирующей роли» и доведение вышеназванных работ до своевременного внедрения их результатов в промышленное производство.

Ключевой проблемой развития РБН является замыкание топливного цикла. Тепловыделяющая кассета в виде очехленного пучка стержневых твэл с жесткими требованиями по дистанционированию плохо соответствует условиям автоматизированной сборки, нуждается в длительной выдержке для спада остаточных тепловыделений перед транспортировкой на предприятие по переработке высокоактивного ОЯТ. Известно, что процесс сборки ТВС вносит значительный вклад в стоимость ядерного топлива. Например, в цене ТВС ВВЭР-1000 из окиси необлученного урана она составляет около 50% [2].

Предлагаемая к рассмотрению концепция шаро-насыпной активной зоны (ШН-РБН) с регенерацией на месте (принцип on site) не только ядерного топлива, но и материала оболочек твэл может служить альтернативой для преодоления недостатков РБН традиционного типа, повышения безопасности и достижения экологической приемлемости реактора, а также снизить удельные капитальные затраты и стоимость обслуживания всего ядерного топливного комплекса.

КОНЦЕПЦИЯ

Активная зона представляет собой слой твэлов шаровой формы, находящийся в баке и поддерживаемый гидродинамической силой жидкометаллического теплоносителя (натрия) на уровне верхней опорной решетки. При потере напора теплоносителя шары просто опускают нижнюю опорную решетку. Она содержит поглощающие нейтроны элементы, которые переводят шаровой слой в подкритическое состояние. Твэлы загружаются и выгружаются через трубы, опущенные в засыпку, без снижения мощности реактора. Толщина насыпного слоя, состав топливной композиции, скорость загрузки-выгрузки и конструкция твэл определяются в основном следующими факторами: поддержание критичности, требуемый уровень мощности, необходимость бридинга и достижения необходимой глубины выгорания.

КОНСТРУКЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ РЕАКТОРА

Основным и практически единственным компонентом активной зоны является герметичный шаровой твэл. Активная зона расположена в центральном баке и представляет собой насыпной слой таких твэлов. Этот слой размещается в напорной камере, представляющей собой цилиндрический сосуд с открытым верхом и переменной по высоте толщиной стенки. Холодный натрий из ГЦН поступает в нижнюю часть камеры под опорную решетку. При работе на мощности шаровая засыпка находится во взвешенном состоянии под действием гидродинамических сил, поэтому сверху устанавливается ограничительная решетка, не допускающая всплытия активной зоны. Снизу положение засыпки ограничено опорной решеткой, на поверхности которой находятся стержни из поглощающего нейтроны вещества.

Как и в реакторе БН-600, над уровнем натрия 1-го контура находится газовая полость, заполненная аргоном. Поворотные пробки, механизмы наведения и элеваторы отсутствуют. Толстая крышка реактора наряду с выполнением функции биологической защиты центрального зала может служить опорой для подвески корпусов реактора, промежуточных теплообменников (ПТО) и главных циркуляционных насосов (ГЦН). Циркуляция теплоносителя осуществляется по обычной для РБН схеме – теплоноситель подается на всас ГЦН, движется в напорную камеру реактора (вход натрия в напорную камеру расположен снизу сбоку), подогревается в активной зоне. Горячий натрий идет на вход в ПТО, отдает тепло натрию промежуточного контура, затем с выхода ПТО по короткому патрубку поступает опять на всас ГЦН.

Активная зона, ГЦН и ПТО, элементы радиационной защиты находятся в основном баке реактора, окруженном страховочным корпусом. Зоны воспроизводства отсутствуют как таковые. Основным компонентом торцевых отражателей является натрий. Объем активной зоны, высокая концентрация тяжелого металла должны обеспечивать коэффициент воспроизводства $K_B \sim 1$.

Выгрузка отработавших твэлов осуществляется по нескольким каналам, нижний конец которых заглублен в засыпку. Транспортировка шаров может осуществляться за счет гидродинамических сил циркулирующего натрия, либо с помощью шнековых устройств в перегрузочных каналах. Загрузку свежих твэлов возможно осуществлять через каналы, выход которых расположен на поверхности засыпки. При необходимости бридинга контейнеры нейтронной защиты ПТО заполняются шарами с обедненным ураном.

Упрощение конструкции активной зоны и системы перегрузки топлива способствуют снижению материалоемкости центральной части реактора, что должно быть подтверждено в процессе дальнейших проработок конструкции.

Шаровой твэл содержит в металлической оболочке смесь монокристаллов обедненного урана и плутония. Начальная плотность композиции выбирается в пределах 0.6–

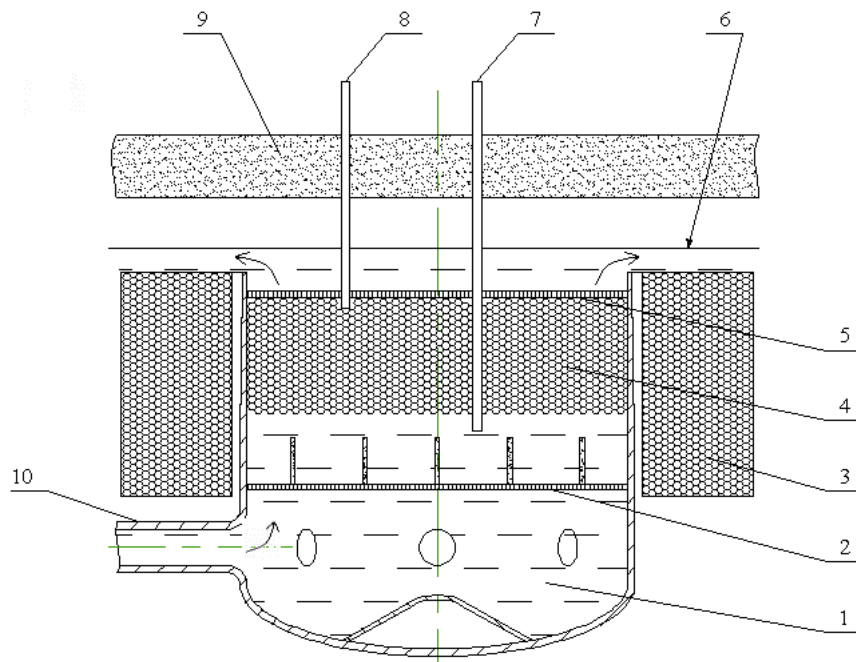


Рис. 1. Основные элементы центральной части реактора: 1 – напорная камера; 2 – нижняя опорная решетка с ПЭл; 3 – радиационная защита ПТО; 4 – шаровая засыпка; 5 – верхняя ограничительная решетка; 6 – уровень натрия; 7 – система управления реактивностью; 8 – система перегрузки; 9 – биологическая защита; 10 – напорный трубопровод 1 контура

0.75 от теоретической (пористость топлива 0.4–0.25). При отношении толщины оболочки к диаметру топливного сердечника 0.13 (как в реакторе БН-600) достигается доля топлива (в случае неупорядоченной засыпки) ~ 0.42 , т.е. не ниже, чем в традиционной активной зоне. Для обеспечения требования $K_B \sim 1$ в этих условиях объем активной зоны V_{AZ} должен быть $V_{AZ} \sim 7 \text{ м}^3$.

Диаметр шарового ТВЭЛ $d_{ТВЭЛ}$ выбирается как компромисс между стремлением повысить среднюю теплонапряженность активной зоны q_v , с одной стороны, и уменьшить интенсивность перегрузочных операций, с другой. Первый фактор определяется поверхностью теплосъема, приходящейся на единицу объема активной зоны, которая для шаровой засыпки равна $\sim 3.8 / d_{ТВЭЛ}$ (для сравнения, в БН-600 данный показатель составляет 3.3 см^{-1}), а также допустимым температурным состоянием топлива и оболочки. Интенсивность операций передела (второй фактор) пропорционален $d_{ТВЭЛ}^{-3}$. Предварительные оценки показывают, что оптимальное значение $d_{ТВЭЛ}$ находится в пределах 10–20 мм.

ГИДРОДИНАМИКА АКТИВНОЙ ЗОНЫ И ТЕМПЕРАТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ТВЭЛА

При рассмотрении движения различных сред в шаровых засыпках используются 2 модели – модель внутреннего течения и модель внешнего обтекания [3]. В ходе многочисленных экспериментов, проведенных отечественными и зарубежными исследователями, получены различные эмпирические зависимости и однозначные связи между параметрами, характерными для обеих моделей течения среды в шаровой засыпке. Автомодельный режим течения наступает, по различным данным, при $Re = (1 \div 3) \times 10^4$.

Пористость беспорядочной засыпки $m = 0,39$ [3]. Для шаровой засыпки высотой 1 м получены оценки ее гидравлического сопротивления, представленные на рис. 2.

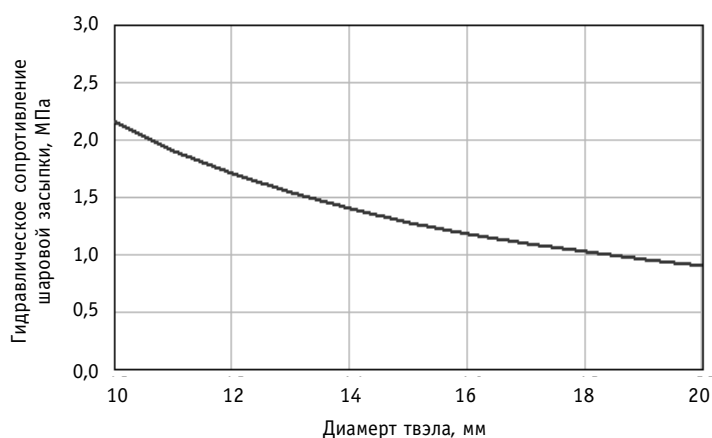


Рис. 2. Зависимость гидравлического сопротивления шаровой засыпки от диаметра твэла (согласно модели внешнего обтекания)

Для сравнения следует упомянуть, что в активной зоне БН-600 при $q_V \sim 550$ МВт/м³ гидравлическое сопротивление активной зоны составляет 95 м ($\sim 0,94$ МПа) [4].

Таким образом, для насыпной активной зоны возможно использование ГЦН РБН традиционных разработок.

Однако не следует упускать из виду очень важную деталь — во всех проведенных экспериментах были исследованы только стационарные шаровые засыпки; мы же имеем дело с совершенно новым процессом — речь идет о всплытии и стабилизации насыпной активной зоны. Всплывет ли она целиком или будет находиться в каком-то взвешенном состоянии? Будет ли стабильна нижняя поверхность засыпки? Ответы на эти и множество других вопросов могут дать лишь эксперименты и специальные исследования на моделях. Отдельного рассмотрения требует проблема возможного гидравлического профилирования.

В традиционных активных зонах с целью повышения q_V и средней температуры теплоносителя на выходе из активной зоны применяются гидравлическое и физическое профилирование. В реакторах БН-600 и БН-800 благодаря выравниванию поля энерговыделений коэффициенты неравномерности распределения тепловыделений составляют $K_R \approx 1,3$, $K_Z \approx 1,2$ по радиусу и высоте соответственно.

В активной зоне с размерами зоны БН-800 предложенного типа при однородном распределении элементов по ее объему, по предварительным оценкам, коэффициенты неравномерности составляют $K_R \approx 1,8$, $K_Z \approx 1,3$. Организация профилирования расхода теплоносителя и удельного тепловыделения решается в ШН-РБН сложнее, чем в традиционной активной зоне. Этот недостаток частично компенсируется допустимостью снижения величины q_V , о чем будет сказано ниже.

Средняя удельная мощность активной зоны для различного рода оценок принимается на первом этапе равной 300 МВт/м³. Оценки температурного состояния твэла показывают, что при заданной пористости топлива (25%), радиусе активной зоны (1,5 м), фиксированной тепловой мощности реактора (2 100 МВт), фактором, ограничивающим диаметр твэла, является температура оболочки. Соответствующий максимальный диаметр твэла составляет 20 мм.

При транспортировке ОЯТ из активной зоны температурное состояние твэла определяется временем выдержки после прекращения цепной реакции деления. В табл. 1 приводятся оценки этого времени из условия, что теплоотвод осуществляется в газовой среде без принудительного охлаждения, а температура оболочки не превысит 800°C:

Таблица 1

Необходимое время выдержки твэлов и ТВС после остановки реактора

q_v , МВт/м ³		500	300
Стержневые ТВС БН-600		60 сут	12 сут
Шаровые твэлы	$d_{\text{твэл}} = 10$ мм	30 мин	< 5 с
	$d_{\text{твэл}} = 20$ мм	120 мин	< 10 с

При расчетах теплопередачи использована простейшая модель: ряды твэлов, пространство для теплоносителя и кожух ТВС заменены эквивалентными по площади кольцевыми зонами. Переток тепла в аксиальном направлении не учитывался. Передача теплоты через газовые зазоры – излучением, а через другие слои – теплопроводностью. Исходные геометрические размеры, характеристики топлива – по данным БН-600.

Заметим, что по регламенту БН-600 отработавшие ТВС из активной зоны переносятся первоначально под уровнем натрия в гнезда внутриреакторного хранилища, выдерживаются там под принудительным охлаждением в течение одной микрокампании (несколько месяцев) и только затем перемещаются в газовую среду передаточного бокса.

Таким образом, шаровые твэлы могут транспортироваться в газовой среде без принудительного охлаждения практически немедленно после извлечения из активной зоны, в том числе и из работающей на полной мощности.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И РЕФАБРИКАЦИЯ ТВЭЛОВ

Процесс изготовления твэла для ШН-РБН можно представить пока только в самых общих чертах. Он происходит в несколько стадий:

- изготовление заготовок для оболочки в виде двух полусфер методом штамповки из листа, спекания порошка, литья под давлением;
- изготовление топливного сердечника с заданной пористостью и нуклидным составом в виде полусфер (прессование, возможно, непосредственно в заготовки оболочки, виброуплотнение)
- сборка твэлов в газовой среде и соединение полусфер контактно-стыковой сваркой [5]; заготовки соединяются и поддерживаются под давлением и высокой температурой; при сваривании температура материала на линии контакта близка к температуре плавления, поэтому шов имеет такую же структуру, как и весь материал оболочки, а шлак отсутствует;
- проверка оболочки на герметичность традиционными методами.

При рефабрикации твэл упомянутым выше стадиям предшествуют операции разделки – отделение оболочечного материала от топлива с целью дальнейшего использования в новых твэл и регенерации топливной композиции. Представляется перспективным сплавление оболочки в индукционной печи и сбор конструкционного материала в отдельной изложнице. После этого материал восстанавливает свои физико-химические свойства и пригоден для неоднократного повторного использования.

Регенерация топлива может быть двух видов – промежуточная и полная. В первом случае основной целью является смена оболочки твэла, получившей предельное радиационное или другое повреждение, на новую – для продолжения выгорания топлива. При такой регенерации используются только механические и термические

способы воздействия на топливо (дробление, смешение порошков, прокатка, прессование и др.) и происходит удаление части газообразных и летучих продуктов деления (ПД).

В случае полной регенерации происходит более глубокая очистка от ПД и частичное разделение изотопов урана, плутония и малых актинидов. Такая регенерация осуществляется с помощью электрохимических процессов в расплавленных галоидных солях [6].

Малые размеры и геометрическая простота изделия способствуют возможности производить изготовление и рефабрикацию твэлов ШН-РБН в режиме on line непосредственно на реакторной площадке в полностью автоматизированном процессе.

В традиционном РБН отработавшие ТВС проходят стадии принудительного охлаждения во внутриреакторном хранилище в течение одной микрокампании, отмывки и выдержки в бассейне, транспортировки в спецконтейнерах на радиохимический завод. В процессе переработки отделяют концевые детали и чехлы ТВС, частично материал оболочек и дистанционирующих устройств. Повторное использование этого металла путем превращения в трубные или иные изделия даже в условиях крупного комбината представляется практически нереальным.

При «доминирующей роли» традиционных РБН неизбежны перевозки высокоактивных и ядерно опасных материалов на большие расстояния, накопление их в значительных количествах в отдельных звеньях ТК, поскольку перегрузка реактора осуществляется крупными партиями ТВС не чаще двух раз в год.

ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ

В рамках концепции ШН-РБН возможно как простое, так и расширенное воспроизводство ядерного топлива, а также утилизация плутония и малых актинидов. В условиях избыточности высокофонового плутония из ОЯТ реакторов на тепловых нейтронах целесообразно использовать его на загрузку ШН-РБН с пониженной теплонапряженностью и эксплуатировать этот реактор в режиме нулевого баланса по делящимся нуклидам, т.е. с $K_{\text{В}} \sim 1$ [7]. Предлагаемая схема замкнутого цикла по делящимся и конструкционным материалам показана на рис. 3.

Равномерного и наиболее глубокого выгорания, а также частичной реализации физического профилирования можно достичь, используя перегрузку в режиме МПАЗ (многократное прохождение активной зоны). Однако при определенных условиях может оказаться приемлемым и режим ОПАЗ (однократное прохождение), при кото-

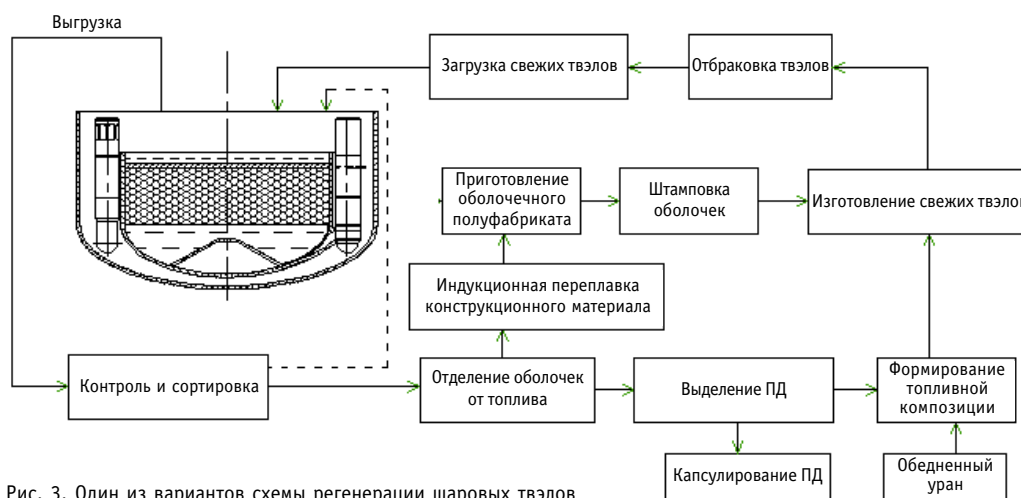


Рис. 3. Один из вариантов схемы регенерации шаровых твэлов

ром в несколько раз сокращается интенсивность процесса загрузки-выгрузки твэлов. Специфика ШН-РБН позволяет в течение срока службы АЭС менять режим топливоиспользования в широких пределах, переходить от одной топливной композиции к другой, эксплуатировать реактор как облучательную установку в жестком спектре нейтронов.

В традиционном РБН такое оперативное изменение топливоиспользования практически невозможно. Это связано с фиксированной системой распределения расхода теплоносителя, обеспечивающей достижение высокой теплонапряженности ($q_v = 500\text{--}600 \text{ МВт/м}^3$), редкими остановками на перегрузку ТВС и другими причинами.

Необходимость высокого значения q_v в традиционной активной зоне РБН оправдывается высоким обогащением топлива и большой критмассой $M_{кр}$. Энергосъем с каждого килограмма загрузки определяется параметром

$$J_{АЗ} = \frac{N}{M_{кр}}, \quad (1)$$

где N – номинальная электрическая мощность установки. Этот параметр в энергетических реакторах равен 300, 280 и 310 кВт / кг урана-235 соответственно для ВВЭР-1000, РБМК-1000 и БН-600. В реакторе БН-800 с загрузкой высокофоновым плутонием $J_{АЗ} \approx 280 \text{ кВт/кг}$ плутония. Однако параметр $J_{АЗ}$ характеризует только однократное использование ядерного топлива. В замкнутом топливном цикле следует использовать $J_{тц}$:

$$J_{тц} = J_{АЗ} \cdot K; \quad K = \sum_i K_i > 1, \quad (2)$$

где K_i – доля топлива, сосредоточенного («замороженного») в i -ом звене топливного цикла. Доля активной зоны $K_{АЗ} = 1$. В БН-800 при четырехкратной перегрузке за кампанию $K \geq 1.5$, а с учетом транспортировки и дополнительных задержек реально следует ожидать $K \geq 2.0$. В реакторе ШН-РБН задержка топлива вне активной зоны в режиме МПАЗ будет минимальной и можно рассчитывать на $(K - 1) < 0.05$. Это обстоятельство позволяет обосновать снижение q_v и следовательно, и $J_{АЗ}$ в ШН-РБН по сравнению с традиционными РБН.

ШН-РБН КАК ЗАКРЫТАЯ СИСТЕМА

По типу связи с внешним миром традиционный РБН является открытой системой, осуществляющей обмен с ней не только энергией, но и веществом. На основе ШН-РБН возможно реализовать закрытую энергетическую систему, исключая обмен веществом на весь срок службы реактора (30–50 лет). Весь запас необходимых материалов может быть изначально сосредоточен на АЭС в момент ее сооружения, и продукты деления в реакторе или, в крайнем случае на территории станции.

Конструкционный материал оболочек твэла и технологические среды, используемые при переработке ОЯТ, должны быть регенерируемыми и допускать восстановление своих рабочих свойств после каждого цикла переработки. Потребление обедненного урана, являющегося основным расходным материалом, сравнительно невелико. В табл. 2 показано количество материалов, необходимое для функционирования ШН БН-800 как закрытой системы, а также количество ПД, накапливающееся за 50 лет работы с КИУМ = 0.9.

Возможные потери материалов, циркулирующих в системе, могут увеличить объем РАО на несколько процентов, и поэтому должны быть учтены в виде дополнительно оперативного запаса. Реальны и потери делящихся нуклидов, которые попадают в РАО, поэтому реальный КВ должен несколько превышать единицу. Воздействовать на величину КВ можно с помощью небольшого изменения объема активной зоны, увеличивая или уменьшая толщину насыпного слоя.

Таблица 2

Количество материалов в замкнутом топливном цикле ШН БН-800 за 50 лет работы установки

Материал	Обедненный уран	Сплав V-Cr-Ti	Высокофоновый плутоний	Технологические среды для ХП ОЯТ	Продукты деления твердые / ГПД
Масса, кг	45 000	2 000	3 000	~ 3 000	2 800 / 7 000
Объем, м ³	2.5	0.25	0.16	~ 1	3.1 / –

Извлеченные при переработке ОЯТ твердые ПД целесообразно капсулировать в шаровые элементы по той же технологии, что и твэлы, размещая их в оболочке в дисперсионной смеси с подходящей матрицей. Герметичные капсулы с ПД загружаются в контейнеры нейтронной защиты ПТО, замещая бывшие там первоначально графитовые или стальные шары. Принимая толщину боковой защиты ПТО такой же, как и в БН-600 и высоту засыпки до 1.5 м, оцениваем допустимый объем размещаемых в контейнерах материалов до 15 м³. Таким образом, там могут храниться под контролем и охлаждаться все наработанные ПД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная концепция насыпной активной зоны выгодно отличается от традиционных кассетно-стержневых зон:

- запас реактивности поддерживается в реакторе на уровне, меньшем доли запаздывающих нейтронов, отрицательный пустотный эффект реактивности, использование гравитационного фактора обеспечивает повышенную безопасность реактора;
- простота конструкции и сборки активной зоны позволяют снизить стоимость изготовления и рефабрикации твэл и уменьшить тем самым топливную составляющую себестоимости электроэнергии;
- небольшой объем твэл облегчает его испытание в условиях, максимально приближенным к штатным, позволяет оперативно и с небольшими затратами получать представительную статистику разрушений и на этой основе создать простую и надежную технологию изготовления и рефабрикации твэл;
- решается проблема формоизменения твэл при больших флюенсах, поскольку сферическая форма оболочки сохраняется при радиационном распухании;
- шаровой твэл – сферический сосуд, нагруженный внутренним избыточным давлением, может иметь оболочку меньшей толщины по сравнению с оболочкой цилиндрического сосуда – стержневого твэл;
- значительно меньшее время выдержки шаровых твэл после выгрузки позволяет проводить операции по переработке ОЯТ практически сразу после извлечения из активной зоны;
- снижение времени задержки ядерного топлива вне активной зоны создает предпосылки для уменьшения его теплонапряженности, повышения безопасности и улучшения экономических показателей топливного цикла;
- достигается гибкость и оперативность управления топливным циклом;
- переработка ОЯТ может производиться в режиме on-line на полностью автоматизированных установках со сравнительно небольшим объемом горячих камер, непосредственно на площадке АЭС;
- появляется реальная возможность замыкания цикла конструкционных материалов, используемых в активной зоне и уменьшение потребности в них;
- при рефабрикации шаровых твэлов проще осуществлять топливный цикл без сепарации актинидов (в том числе без отделения плутония от урана) и без глубокой очистки ОЯТ от продуктов деления;

- перегрузка активной зоны происходит без снижения мощности установки, что повышает коэффициент ее использования;

- контроль за соблюдением безопасности на одном предприятии, несомненно, обеспечить легче, чем контролировать разрозненные предприятия по переработке ОЯТ и РАО, изготовлению твэл и транспортировке ядерных материалов между ними.

К недостаткам, присущим насыпной активной зоне, можно отнести следующие обстоятельства:

- при движении шаров в активной зоне возможно их уплотнение и образование устойчивых структур; для предотвращения их образования, возможно, потребуется некий механизм (не обязательно основанный на принципах физического воздействия на засыпку);

- сложность организации гидравлического и физического профилирования;

- поиск и извлечение негерметичного твэла.

Переход от концепции до обоснованного технического проекта ШН-РБН требует дополнительных затрат на проведение комплекса НИР и ОКР. Предварительные оценки говорят о перспективности работ в данном направлении. Концепция РБН с насыпной активной зоной соответствует направлениям дальнейшего развития ядерной энергетики как экологически чистой, безопасной и самодостаточной отрасли энергетики.

Литература

1. Программа развития атомной энергетики Российской Федерации на 1998-2005 годы и на период до 2010 года: Постановление Правительства Российской Федерации № 815 от 21.07. 1998 г.
2. Иванов В.Г. Топливная составляющая стоимости электроэнергии АЭС и экономическая эффективность инвестиций в горно-металлургическое предприятие ЯТЦ/ Кн.: Экономика ядерной энергетики. – М.: МИФИ, 2004. – С. 157-173.
3. Богоявленский Р.Г. Гидродинамика и теплообмен в высокотемпературных ядерных реакторах с шаровыми твэлами. – М.: Атомиздат, 1978.
4. Усынин Г.Б., Кусмарцев Е.В. Реакторы на быстрых нейтронах. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. Самойлов А.Г., Волков В.С., Солонин М.И. Тепловыделяющиеся элементы ядерных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1996.
6. Петров А.В., Усынин Г.Б., Усынина С.Г. Совместный топливный цикл БН и ВВЭР на основе пирпроцессинга//Атомная энергия. – 1998. – Т. 85. – Вып. 6. – С. 451-456.
7. Усынин Г.Б., Кравченко А.А., Усынина С.Г. Замкнутый и закрытый (on site) топливный цикл РБН нетрадиционной конструкции//Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2005. – № 2. – С. 102-107.

Поступила в редакцию 25.01.2006

УДК 621.039.53

Calculated Analysis of WWER Type Fuel Cladding \A.V. Korzunin, S.A. Subbotin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 5 pages, 2 illustrations, 3 tables. – References – 4 titles.

Change of specific radioactivity of WWER reactor type fuel cladding was estimated. Analysis of the contribution of nuclides was performed. This analysis includes consideration them as activation products of the nuclides of the initial chemical elements. Substantiation of re-use of this cladding(alloy) as MOX-fuel cladding was proposed.

УДК 539.125.523.348

Modeling of the Multiparticle Preequilibrium Nucleon Emission \J.M. Martirosyan; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 6 pages, 3 illustrations. – References – 4 titles.

New exciton model of preequilibrium decay (MCP), that allows to compute the spectra of multiparticle emission during the establishment of statistical equilibrium, is proposed. Testing of the offered model in comparison with results of calculations on the basis of classical exciton model for the one preequilibrium nucleons – neutron and/or proton is executed. Reliability of multiparticle preequilibrium emission spectra is qualitatively estimated.

УДК 539.125

Calculation of Multiparticle Preequilibrium Emission Spectra \J.M. Martirosyan; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 6 pages, 4 illustrations. – References – 17 titles.

Systematic comparison of the results of calculations on the basis of exciton model of multiparticle preequilibrium decay with the experimental spectra of nucleons from (p, xn), (p, xp), (n, xn) and (n, xp) reactions in a wide projectile energy region from 10 up to 60 MeV for targets from ²⁷Al up to ²⁰⁹Bi was carried out.

УДК 621.039.52

Comparison of Ball-Poured Core with Pin-Holder Core of the Sodium-Cooled Fast Reactor \G.B. Usynin, A.A. Kravchenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 9 pages, 3 illustrations, 2 tables. – References – 7 titles.

The ball-poured located in a tank and supported by hydrodynamic force of the coolant at a level of the top abutment lattice is considered. Simplicity of the design and small size of the fuel element allow to reprocess it immediately after extraction from the core at the nuclear plant size. Layer thickness, fuel composition and the design of the fuel element are defined by the following factors: maintenance of the criticality, required level of power, necessity of breeding. The ball-poured core with traditional pin-holder core are compared.

УДК 621.039.56

The System of Monitoring of the Under-Critical Condition of the Industrial Uranium-Graphite Reactor: the Results of Tests \V.V. Shidlovskiy, P.M. Gavrilov, A.A. Thiganov, A.G. Kohomskij, V.B. Chukanov, M.V. Antonenko, I.V. Shamanin, V.N. Nesterov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 7 pages, 7 illustrations. – References – 2 titles.

The description of the system of monitoring of the under-critical condition of the Industrial Uranium-Graphite Reactor (PUGR) and modes of its operation are listed. The technique of check of pulse channels and definitions of their operational factors are stated. The fast power factor of reactivity was estimated. As a result of carrying out the experiments on dump of rods in under-critical condition of reactor parameters of translation of a reactor into under-critical condition have been estimated. The plan of carrying out the minimization of influence of spatial effects and increase of accuracy of definition of parameters of this fast process were offered and realized.