

САМОЗАХОРОНЕНИЕ ВЫСОКОАКТИВНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

А.Ю. Федоровский, М.А.Скачек

Московский энергетический институт (технический университет), г. Москва



В работе рассмотрен один из перспективных альтернативных методов окончательной локализации радиоактивных отходов – самозахоронение высокоактивных отходов. Проведены расчеты, подтверждающие принципиальную возможность реализации выбранного метода, отмечены его достоинства и недостатки.

В настоящее время в России накоплено большое количество радиоактивных отходов – более 500 млн. м³ жидких радиоактивных отходов, свыше 180 млн. т твердых радиоактивных отходов. Необходимы скорейшая разработка и внедрение различных способов окончательного удаления РАО из сферы жизнедеятельности человека, т.к. со временем эти цифры постоянно растут.

Положение осложняется отсутствием четкой концепции и отработанной схемы по обращению с РАО. Отсутствует федеральный закон об обращении с радиоактивными отходами. В связи с этим вместо освоения технологий по переработке и захоронению РАО широко применяется практика отложенных решений. На станциях накапливаются все новые отходы, хранилища РАО заполняются и постоянно требуется строительство новых, что не приводит к окончательному решению проблемы.

Тем не менее очевидно, что со временем ситуация будет улучшаться, т.к. работы в области выработки единой концепции по обращению с РАО уже ведутся, рассматривается зарубежный опыт организации работ с РАО, поступают некоторые средства. Единая концепция должна учитывать ряд вопросов, одним из которых является окончательное удаление РАО из сферы жизнедеятельности человека. Ввиду наличия широкого спектра отходов с совершенно различными свойствами невозможно принять один универсальный метод для их переработки и окончательному захоронению, требуется разработать и освоить несколько различных методов, каждый из которых будет наиболее оптимально подходить для обращения с определенной группой РАО.

На данный момент преобладающей концепцией окончательной локализации РАО является концепция их захоронения в породах на значительной глубине. Рассматриваются сроки захоронения до миллиона лет. Предполагается использовать для захоронения РАО после остекловывания или включения их в керамику, т.к. выход радионуклидов из стеклянной или керамической матрицы минимален.

Однако существует ряд технических моментов, которые могут поставить под сомнение саму возможность захоронения РАО в стеклянной матрице. Основным

© А.Ю. Федоровский, М.А.Скачек, 2009

недостатком является то, что подобная матрица представляет собой искусственный продукт, и неизвестно как стеклянная матрица с РАО поведет себя на протяжении всего срока захоронения. Возможно преждевременное разрушение матрицы и выход радиоактивных отходов в окружающие породы, а через них и в биосферу. Стоит заметить, что подобные опасения высказывают ученые ряда зарубежных стран; проблема обоснования безопасности и эффективности окончательной локализации РАО сейчас очень актуальна.

В связи с этим рассматриваются альтернативные методы окончательной локализации РАО. Существует несколько концепций, основывающихся на различных принципах. Необходимо отметить, что все они находятся на начальных стадиях исследования, и некоторые из них (например, дезинтеграция ядерным подземным взрывом или космическая изоляция) не могут быть реализованы в рамках существующих технологий и действующих международных соглашений.

В данной работе рассмотрена одна из наиболее перспективных альтернативных концепций окончательной локализации РАО – концепция самозахоронения высокоактивных РАО. Данный способ применим лишь для высокоактивных отходов с большим тепловыделением. Процент таких отходов относительно невелик – менее одного процента от общего объема всех радиоактивных отходов. Тем не менее, именно высокоактивные отходы представляют существенную проблему, т.к. обращение с ними требует повышенных мер безопасности. Метод самозахоронения позволяет эффективно организовать окончательную локализацию РАО с большим тепловыделением, т.е. как раз тех, которые наиболее проблематичны для окончательного захоронения другими методами. В данном случае большое тепловыделение является как раз фактором, позволяющим реализовать их надежную окончательную локализацию.

Метод самозахоронения заключается в следующем. Высокоактивные отходы заключаются в прочную капсулу из жаропрочных материалов, и эта капсула помещается в шахту на глубину 500–1000 м. За счет тепловыделения капсула с РАО разогревается до температур, позволяющих плавить окружающие породы. Температура на внешней стенке капсулы составит около 1000°C и выше, что позволит капсуле проплавлять горные породы (например, граниты или базальты) и уходить вглубь под собственным весом на 200–400 метров в год. Когда тепловыделение в капсуле спадет, расплавленные породы вокруг нее кристаллизуются, создавая тем самым дополнительный барьер для выхода радионуклидов.

Сейчас трудно точно установить, кто был первым автором идеи о самозахоронении высокоактивных отходов. Очевидно, мысль о возможном использовании большого тепловыделения некоторых РАО для их более надежной окончательной локализации высказывалась несколькими учеными практически одновременно. Первый всплеск интереса к этому методу приходится на начало 70-х годов двадцатого века. Как у нас, так и за рубежом опубликовано несколько работ на эту тему.

Из зарубежных авторов следует отметить J.J. Cohena, [3] и [4]. Первые работы отечественных авторов неизвестны, в литературе встречаются лишь упоминания о них, без точных ссылок. Можно с уверенностью утверждать, что работы по этой теме в то время имели место быть, т.к. проводились даже эксперименты, моделирующие процесс самозахоронения. Подобные эксперименты проводились также и за рубежом [5]. Общая концепция метода самозахоронения допускает различные способы реализации [2–9].

1. Погружение одиночных капсул-контейнеров с габаритными размерами порядка (или более) метра в прочные горные породы с низкой проницаемостью и

со значительными температурами плавления ($>800^{\circ}\text{C}$, граниты, базальты). Предполагается, что отходы, заключенные в капсулу, в процессе плавления находятся в твердом состоянии или в виде расплава. Данный способ наиболее надежен, т.к. каждый контейнер после остывания оказывается надежно изолирован в прочных плотных и однородных породах с низкой проницаемостью на значительной глубине, что весьма затрудняет возможную миграцию радионуклидов на поверхность. К недостаткам метода следует отнести его невысокую производительность и сложность обращения с тяжелыми капсулами.

2. Погружение группы небольших контейнеров (габаритные размеры каждого менее метра) в искусственные или естественные пустоты в те же породы, что и в предыдущем случае. При данном способе происходит разогрев группы оказавшихся рядом контейнеров, которые затем вместе погружаются в расплавленную породу. Достоинством данного способа является то, что для погружения группы контейнеров на глубину не требуется создания широкой шахты с механизмами погружки; для транспортировки контейнеров с поверхности в начальную точку захоронения можно использовать стандартные буровые трубы, что значительно удешевит технологию захоронения и позволит захоранивать большее количество РАО одновременно. Недостатком является недостаточная надежность метода и большой риск разгерметизации части контейнеров. При разогреве группы контейнеров, значительная их часть может оказаться в условиях недостаточного теплоотвода, что приведет к перегреву капсул и к быстрому термическому разрушению оболочки (температура может превышать 4000°C , чего не выдерживает даже самая температуростойкая керамика). Поскольку тепловыделение РАО максимально как раз в начальный период процесса, то массовое разрушение капсул может произойти до того, как они погрузятся на безопасную глубину. Другим недостатком метода является то, что невозможно создать условия для совместного погружения всей группы капсул. Часть из них в процессе погружения окажутся отделенными от остальных и останутся на меньшей глубине, т.к. отдельно взятая небольшая капсула не в состоянии плавить породу ввиду недостаточной тепловой мощности.

3. Погружение (одиночное или групповое) контейнеров различных размеров в породы или вещества с относительно невысокими температурами плавления ($0-600^{\circ}\text{C}$). В качестве таких пород могут быть рассмотрены как различные солевые отложения, так и толстые ледяные покровы или промерзшие почвы в зоне вечной мерзлоты. Разновидность метода хороша тем, что относительно невысокие требуемые температуры могут быть обеспечены несколько большим спектром РАО, что позволит использовать метод самозахоронения для окончательной утилизации большего объема отходов. При этом резко упрощается технология создания контейнеров и снижается их стоимость. К недостаткам относится недостаточная надежность способа. Большинство подходящих солевых пластов расположены на незначительных глубинах и имеют недостаточную толщину, кроме того эти породы значительно менее прочные и плотные, чем граниты и базальты, обладают большей пористостью и неоднородностями. При неожиданном разрушении контейнера в таких породах их свойства и глубина захоронения могут оказаться недостаточными для надежного удержания отходов на протяжении значительного времени (до миллиона лет). Лды и почвы в зоне вечной мерзлоты также не обладают достаточной толщиной, среда коррозионно-активна, что может привести к преждевременному разрушению капсул, и недостаточно стабильна – с точки зрения современной науки зона вечной мерзлоты может существенно изменять свои границы на рассматриваемом временном промежутке.

4. Плавление пород вокруг контейнера или группы контейнеров без значительного их погружения. Достаточное для плавления окружающей породы тепловыделение продолжается на коротком отрезке времени и быстро падает, служит не для продолжительного плавления с погружением капсулы, а лишь для создания вокруг нее застывшей оболочки из расплава породы. Разновидность метода хороша тем, что позволяет захоранивать отходы, дающие непродолжительное тепловыделение (например, Co-60 или Cs-137) [1], с относительно коротким периодом полураспада. Недостаток – необходимость создания глубоких шахт, т.к. не происходит заметного самопогружения капсул.

5. Закачка жидких высокоактивных отходов в искусственные или естественные полости в различных породах. Предполагается, что закачанная на глубину масса высокоактивных ЖРО будет разогреваться и плавить окружающие породы, уходя вниз. К достоинствам способа относятся отсутствие необходимости разрабатывать и производить контейнеры, а также относительная простота закачки значительных масс ЖРО на большие (до 3–4 км) глубины. Недостатком метода является его ненадежность – совершенно очевидно, что не вся масса ЖРО на глубине будет держаться вместе и участвовать в процессе плавления. Глубина плавления пород также не может быть большой, т.к. быстро произойдет перемешивание расплава пород с ЖРО, снижение удельного тепловыделения, быстрое и неравномерное застывание расплава. В процессе нагрева ЖРО будут образовываться газы, содержащие в себе различные нуклиды из состава ЖРО. Газы, не будучи заключенными в какую-либо надежную оболочку, смогут легко выходить из зоны расплава и довольно быстро мигрировать на поверхность даже с больших глубин. Кроме того создание необходимых растворов высокоактивных ЖРО и обращение с ними при подготовке к захоронению, их транспортировка представляются крайне опасными и затруднительными.

6. Сочетание любого из предыдущих способов с мощной химической реакцией в зоне плавления, облегчающей плавление пород. Для осуществления данного метода необходимо наличие в зоне плавления некоего реагента, способного при повышенных температурах вступать в химическую реакцию с окружающей породой и облегчать таким образом процесс плавления. Неясным остается вопрос о времени действия такого реагента, его составе и свойствах. Законченных и опубликованных работ, посвященных этому способу, нашим коллективом не обнаружено.

7. Использование для погружения контейнеров с РАО тектонических разломов с нисходящими конвективными потоками. Как известно на сегодняшний день, дрейф континентов вызван вертикальными (восходящими и нисходящими) движениями расплавленных масс породы в зонах тектонических разломов. В зонах разломов эти потоки могут оказываться совсем близко от поверхности и даже выходить наружу (при восходящих потоках вплоть до извержений вулканов). Предполагается, что контейнеры с РАО, погруженные в нисходящий конвективный поток в зоне разлома, будут уноситься им на значительную глубину и со временем даже завлекаться под континентальную платформу – процесс может занять миллионы лет и обеспечить наиболее глубокую надежную и долговременную изоляцию капсул с отходами по сравнению с другими разновидностями метода. Рассматривается даже изоляция таким образом капсул с РАО без значительного тепловыделения (в случае глубокого размещения капсул сразу в движущемся потоке, а не постепенного проплавления ими покрывающих разлом пород до попадания в поток). Недостатком является то, что на сегодняшний день практически невозможно помещение капсул в такой конвективный поток в разломе или даже рядом с ним.

Большинство теоретически подходящих территорий скрыто под океанскими водами нередко на значительных глубинах, что крайне затрудняет любые работы по размещению капсул. К тому же любое глубинное бурение в зоне разломов может вызвать локальные нарушения в потоках вещества, что способно привести к неконтролируемому выбросу капсул с РАО обратно на поверхность. Подробных расчетов процесса погружения капсул в конвективном потоке не проводилось. С учетом всего вышеперечисленного реализация данной разновидности метода не представляется возможной.

Наиболее перспективной представляется реализация метода самозахоронения при погружении единичных контейнеров в глубинные породы, солевые пласты или ледяные покровы. Расчет процесса погружения одного контейнера наиболее прост. Достаточно подробная математическая модель стационарного процесса самозахоронения единичного контейнера сферической формы, обосновывающая принципиальную возможность метода, приведена в работе Л.Я. Косачевского и Л.С. Сюи [2]. На кафедре АЭС МЭИ с использованием данной модели также был проведен ряд расчетов и получены аналогичные результаты, характеристики процесса самозахоронения для различных пород и капсул различных размеров (проведены расчеты для сферических контейнеров, в том числе многослойных).

Следует отметить, что существуют ограничения как на минимальный, так и на максимальный радиусы контейнера, в котором захораниваются РАО. Слишком маленький контейнер не может обладать достаточной тепловой мощностью, чтобы вызывать плавление окружающей среды, которая необходима для его равномерного охлаждения; в противном случае возможен локальный перегрев, термическое разрушение и, как следствие, преждевременная разгерметизация контейнера. Ограничение на максимально возможный радиус вызвано термической стойкостью материалов, из которых изготавливается контейнер. При увеличении радиуса капсулы растёт и температура внутри нее, что также может привести к ее термическому разрушению.

Следует оговориться, что под стационарным понимается процесс, идущий примерно с одинаковой скоростью, в пределах погрешности. На скорость погружения могут повлиять различия в свойствах проплавленной породы, неизбежные при изменении глубины погружения, а также постепенный, пусть и медленный, спад тепловыделения в РАО. Таким образом, рассматривается основной процесс погружения контейнера, дающий основной вклад в пройденное контейнером расстояние, без начальной и заключительной стадий. Продолжительность процесса оценить можно лишь очень грубо, т.к. на сегодняшний день точно не установлено (и не закреплено в регламентирующих документах), какие именно отходы могут подлечь захоронению данным методом.

Поскольку контейнер движется в расплаве, давление на него будет невелико. Горное давление в узких вертикальных шахтах, проложенных в скальных породах, также невелико и не может повредить контейнер [10].

Если рассматривать самозахоронение высокоактивных отходов в скальных породах с большими температурами плавления, то корпус капсулы может быть выполнен только из керамических материалов. Металлы не выдержат необходимых температур, кроме того они могут вступать в химические реакции с веществами, которые содержатся в скальных породах. При плавлении пород эти вещества (вода, HF , HCl – зависит от свойств конкретного породы в месте захоронения и глубины ее залегания) переходят в газообразное состояние и легко вступают во взаимодействие с металлом. Керамика является наиболее долговечным материалом из доступных.

РАО внутри капсулы должны находиться в керамической матрице. Это даст примерно одинаковый коэффициент теплового расширения содержимого и оболочки, что позволит избежать появления неоднородностей внутри капсулы при ее нагреве и возможного связанного с этим перегрева оболочки. Особое внимание следует уделить возможности создания многослойных капсул. Ядро контейнера может содержать отходы, не обладающие значительным тепловыделением, окруженные промежуточным слоем высокоактивных отходов с большим тепловыделением. Подобные капсулы позволят расширить спектр и увеличить объем захораниваемых РАО.

На стационарном этапе процесса самозахоронения для капсулы диаметром 1 м при случае захоронения в гранит скорость погружения капсулы должна составить около 300 метров в год. С ростом радиуса капсулы от минимального к максимальному должна увеличиваться и скорость погружения. Для различных пород зависимость имеет несколько отличный характер, но в целом сохраняется. Необходимо помнить и о весе готовых капсул с РАО, предназначенных для захоронения. Более крупные капсулы, разумеется, смогут нести в себе большие количества радиоактивных отходов, но обращение с ними (особенно погрузка в шахты) будет затруднено ввиду их значительной массы.

Некоторые результаты для одного из рассмотренных случаев сведены в табл. 1. Расчет производился для сферического контейнера с однослойной оболочкой из NbC. Предполагалось, что внутренняя матрица, содержащая РАО, изготовлена из того же материала, с 50-процентной пористостью и максимальной емкостью 2 г РАО/см³. Отношение внутреннего радиуса оболочки ко внешнему составляло 0.9. Удельная тепловая мощность РАО – 130 кВт/м³.

Как видно из таблицы, капсулы большого диаметра обладают значительной вместительностью, но крайне тяжелы. Погрузка такой капсулы в шахту глубиной 500–1000 м является крайне сложной операцией. Вместе с тем размещение капсулы в шахте необходимо производить достаточно быстро. Оценочные расчеты показывают, что охлажденная до комнатной температуры капсула при воздушном охлаждении нагревается до 500°C примерно за 12–14 часов. Значит все операции по погрузке капсулы в шахту должны быть произведены не более чем за 10 часов, что нелегко даже при капсуле небольшого размера. Впрочем, капсулы большого размера могут быть и не востребованы – объем отходов, способных дать необходимое тепловыделение, крайне мал. Все работы с капсулами, содержащи-

Таблица 1

Результаты расчетов для случая захоронения в гранит сферического контейнера, содержащего матрицу с высокоактивными РАО

Скорость капсулы, м/год	Радиус капсулы, м	Масса захораниваемых РАО, кг	Общая масса капсулы, кг
63	0,34	232	1038
110	0,41	384	1720
160	0,53	751	3359
205	0,60	1297	5804
270	0,82	3075	13760
325	1.06	6005	26870
370	1,21	10380	46430

ми высокоактивные отходы, должны производиться только при помощи автоматики с дистанционным управлением.

Открытым остается также вопрос о способе транспортировки РАО к месту захоронения. Сама эта операция в любом случае является ответственной и дорогостоящей процедурой [1, 11]. Применительно к методу самозахоронения можно предложить две различные концепции.

1. Транспортировка отходов в стандартных контейнерах и изготовление капсул непосредственно на месте захоронения. К сожалению, еще не известна стоимость изготовления капсул и вообще не определена наиболее подходящая технология. Создание необходимого комплекса по производству готовых капсул с РАО непосредственно на месте захоронения может оказаться невозможным.

2. Изготовление капсул с РАО на заводе, расположенном далеко от места предполагаемого захоронения и перевозка их в готовом виде. Данный метод позволяет избежать строительства на месте захоронения цеха для производства капсул, однако необходима разработка специальных транспортных контейнеров. Поскольку готовая к самозахоронению капсула с РАО обладает значительной тепловой мощностью, потребуются создание тяжелых контейнеров, оснащенных надежными системами охлаждения соответствующей мощности, а также тяжелой биологической защитой. Стоимость подобных контейнеров и их эксплуатации может оказаться слишком велика. Кроме того за время транспортировки неизбежно снизится тепловая мощность капсулы, и процесс самозахоронения будет происходить с меньшей эффективностью.

Учитывая все, написанное выше, можно предположить, что метод самозахоронения излишне сложен, опасен и совершенно не оправдан с экономической точки зрения. Однако, если отходы, дающие значительное тепловыделение, будут исключены из общей массы для окончательной локализации методом самозахоронения, то это позволит упростить захоронение остальных высокоактивных отходов. Если нуклиды, дающие значительное тепловыделение, будут из них по большей части удалены, то окажется возможным упростить конструкции контейнеров, т.к. значительно снизится тепловыделение от них.

Разумеется, на сегодняшний день данный метод находится на начальной стадии разработки, но важно подчеркнуть, что он не имеет принципиальных ограничений, которые делали бы невозможной его реализацию. Метод самозахоронения соответствует принятой концепции по обращению с РАО – окончательной локализации высокоактивных РАО в стабильных геологических формациях на больших глубинах. Законодательная и нормативная база, в рамках которой предполагается реализация метода самозахоронения, на сегодняшний день в нашей стране практически создана. Действующее законодательство вполне позволяет проведение экспериментов по самозахоронению.

Конкретные технологии, по которым будет осуществляться сбор, сортировка и выделение РАО, подлежащих самозахоронению, еще не определены окончательно. Но, учитывая большой накопленный опыт по обращению с различными типами отходов, при дальнейшей проработке метода возможен точный технико-экономический расчет, который определит наиболее эффективные способы обращения с РАО, предшествующие стадии окончательной их локализации методом самозахоронения. Выбор необходимых технологий будет возможен после выработки подробного перечня отходов, подлежащих самозахоронению.

Поскольку метод самозахоронения подходит для окончательной локализации лишь небольшой части РАО относительно их общего количества, целесообразно создавать его совместно с предприятиями, нацеленными на окончательную лока-

лизацию других типов РАО, т.к. факторы выбора площадки для захоронения во многом схожи. Метод самозахоронения позволит эффективно решить задачу окончательной локализации РАО, наиболее сложных для обращения и окончательного захоронения иными способами.

Проведенные в работе расчеты обосновывают саму возможность осуществления процесса самозахоронения высокоактивных РАО в керамической капсуле. В дальнейшем на этой базе возможны более подробные расчеты, учитывающие нестационарность процесса и неоднородность среды, в которую производится захоронение. Большой интерес представляют также эксперименты с материалами, из которых предлагается изготавливать капсулы для самозахоронения, – важны их радиационная и химическая стойкость, прочие характеристики.

Литература

1. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. Косачевский Л.Я., Сюи Л.С. К вопросу о «самозахоронении» радиоактивных отходов // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69. – Вып. 11.
3. Проект TACIS. Варианты окончательного захоронения радиоактивных отходов. 2007.
4. NIREX report «Description of Long-term Management Options for Radioactive Waste Investigated Internationally», 2002.
5. Cohen J.J., Lewis A.E. and Braun R.L. In-situ incorporation of nuclear waste in deep molten rock // Nuclear Technology. – 1972. – V. 13. – P. 76.
6. Cohen J.J., Schwartz L.L. and Tewes H.A. Economic and environmental evaluation of nuclear waste disposal by underground in-situ melting // Trans. Amer. Nucl. Soc. – 1974. – 18. – P. 194-195.
7. Вертман А.А. Капсула для захоронения радиоактивных отходов / Патент Российской Федерации на изобретение № RU2137233, 1998.
8. Gibb F.G.F. High-temperature, very deep, geological disposal: a safer alternative for high-level radioactive waste? // Waste Management. – 1999. – 19. – P. 207-211.
9. Gibb F.G.F. A new scheme for the very deep geological disposal of high-level radioactive waste // Journal of the Geological Society, London. – 2000. – 157. – P. 27-36.
10. Власов С.Н., Торгалов В.В., Виноградов Б.Н. Строительство метрополитенов. – М.: Издательство «Транспорт», 1987.

Поступила в редакцию 30.12.2008

УДК 621.039.7

Selfdisposal of High Level Radioactive Waste \A.Y. Fedorovskiy, M.A. Skachek; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 1 table. – References, 10 titles.

In this work one of perspective alternative method of localisation of a radioactive waste a self-disposal of a high level active waste is considered. The calculations confirming basic possibility of realisation of the chosen method are carried out, its merits and demerits are noted.

УДК 621.039.5

Investigation of Nuclear Materials Neutron Background from (α , n)-Reactions with Light Elements \V.A. Yufereva, A.N. Shmelev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 8 titles.

The intensifying of internal neutron source of nuclear materials causes the increasing of their proliferation self-protection. This work deals with investigations of neutron background intensifying by (α ,n)-reactions with light elements (LE). In accordance with the production reports of manufacturing plants, LE isotopes appear in nuclear fuel as inevitable impurities from application of some nuclear technologies. ^{232}U was chosen as a source of additional alpha-particles in nuclear fuel. The changes of neutron background can be provided by changing of LE quantities or increasing of alpha-particle source, also by changing delay time of nuclear fuel after fabrication. Neutron yield per second from mass unit served as criterion of fuel self-protection.

Also this article contains the evaluation of dependence of neutron background on ^{235}U content in the product at re-enrichment of 20%-uranium.

УДК 621.039.534

Experimental Investigations of Efficiency of Heat-Carrier Flow Mixing for Choosing the Optimal Design of Alternative Fuel Assemblies of Reactors VVER \S.M. Dmitriev, S.S. Borodin, A.N. Ershov, M.A. Legchanov, D.A. Nyrkov, D.N. Solncev, A.E. Khrobostov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 1 table, 10 illustrations. – References, 5 titles.

In this article the results and analysis of experimental data on investigation of the local mass transfer and hydrodynamic of heat-carrier flow in alternative fuel assembly of reactor VVER at using different design of mixing grids are submitted. Due to results of investigations a turbulent diffusion coefficient of heat-carrier flow in alternative fuel assemblies of reactor VVER with mixing grids was defined. Finding makes it possible to show the features of turbulent heat-carrier flow in fuel assemblies with mixing grids and to use in the capacity of database for thermotechnical calculation of core of reactors VVER.

УДК 621.039.51

Simulation of Dynamic Processes for VVER-1000 Reactor \A.A. Kazantsev, V.V. Sergeev, V.I. Belozеров, A.Yu. Efremov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 5 illustrations. – References, 10 titles.

The calculations showing the opportunity of thermal physic model and some results of 3D-dynamic modeling of VVER-1000 reactor are presented. Present paper is performed on the basis of 3D-transient non-equilibrium thermal – hydraulic two-phase model from 6 equations and point kinetic model of reactor. Void reactivity coefficient was shown based upon accident scenario with switching-off of 2 pumps from 4 and arising into reactors core volume of steam.

УДК 621.039.5

Speed Propagation of Waves of Pressure in Technological Channels of Reactor БМК-1000 \K.N. Proskuryakov, D.A. Parshin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 11 pages, 1 table, 5 illustrations. – References, 13 titles.