

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ЗАТВЕРДЕВАНИЯ РАСПЛАВА ДИОКСИДА УРАНА В КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА TRAN

Г.Н. Власичев, Г.Б. Усынин

Нижегородский государственный технический университет, г. Н. Новгород



Численная модель перемещения и затвердевания расплавленного топлива в каналах для прохода теплоносителя в торцевой зоне воспроизводства реактора БН при тяжелой аварии с расплавлением активной зоны использована для расчетного анализа эксперимента TRAN с диоксидом урана, инжестируемым вверх в кольцевой канал. Получены численные результаты по длине проникновения ограниченного количества расплава в кольцевой экспериментальный канал и толщине твердых корок на стенках канала в условиях эксперимента TRAN-B1, согласующиеся с экспериментальными данными.

При рассмотрении тяжелых запроектных аварий с расплавлением части ТВС активной зоны реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем требуется анализ перемещения жидкого топлива в каналах для прохода теплоносителя в торцевых зонах воспроизводства с учетом его затвердевания за счет теплопередачи к имеющим более низкую температуру твэлам до момента полной блокировки каналов. От количества топлива, удалившегося из активной зоны через верхнюю и нижнюю зоны воспроизводства, зависят масса и термическое состояние расплавленного бассейна в активной зоне, влияющие на реактивность.

В данной работе описываются расчетная методика и результаты расчетного анализа перемещения и затвердевания расплава топлива в условиях эксперимента TRAN-B1 с чистым диоксидом урана, инжестируемым вверх в кольцевой канал. Разработанная расчетная модель перемещения и затвердевания расплавленного топлива в межтвэльных (либо в экспериментальных) каналах [1] является комбинацией моделей теплопроводности и объемного затвердевания – она учитывает сужение канала и увеличение вязкости движущегося расплава. В ней рассматривается изменение как толщины твердой корки в канале, так и глубины проплавления материала канала. Решение задачи заключается в определении аксиальных полей скорости и температуры движущегося расплава, распределения температуры в твердой корке и материале стенок канала, координат границ раздела фаз в топливе и стенках, аксиальных координат передней и задней кромок в зависимости от времени с момента начала движения до остановки. Параметры движения расплава вычисляются с учетом сужения канала за счет блокировки части проходного сечения затвердевающим

на стенках материалом и возрастания вязкости расплава по направлению к передней кромке при понижении температуры за точку ликвидуса. В результате расчетов определяются глубина и время перемещения расплава в канале. Методика позволяет также моделировать условия экспериментов.

В модели предполагается, что высокотемпературная несжимаемая жидкость движется под действием силы тяжести, возможного перепада давления и противодействующей силы трения о стенки канала. При этом постулируется одномерный поток с усредненной по сечению скоростью. Начальная скорость движения расплава принимается нулевой, направление – вниз, вверх или в горизонтальной плоскости. Модель перемещения одноканальная и однокомпонентная. Формы профиля поперечного сечения канала для рассмотрения перемещения и затвердевания расплава могут быть трех видов: кольцевой канал вокруг твэла с одной (внутренней) смачиваемой поверхностью; кольцевой канал экспериментальной трубы с осевым стержнем с двумя (внутренней и внешней) смачиваемыми поверхностями; труба. Профиль и размеры поперечного сечения могут быть неизменными или меняющимися по длине. В случае рассмотрения переменного профиля канала его участки должны иметь форму одного из указанных видов.

Рассматриваются две расчетные схемы перемещения, отражающие соответствующие возможные физические условия:

- схема с ограниченным количеством расплава, который перемещается в виде кольцевого столбика с передней (в случае ТВС – нижней) и задней кромками;
- схема с неограниченным количеством расплава, движение которого в каналы начинается из образовавшегося прежде бассейна. Расчетное положение задней кромки перемещающегося расплава, не меняющееся во времени, выбирается ниже поверхности бассейна вблизи точки входа в канал.

Математически неустановившееся движение жидкости в канале переменного сечения описывается уравнениями гидравлики [2]. Первоначальное приближенное аналитическое решение уравнений количества движения и неразрывности проведено методом сведения к интегрально-дифференциальному уравнению

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = \frac{1}{\int_{x_1}^{x_2} \frac{F_1}{F} dx} \left[-u_1 \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{F_1}{F} \right) dx - \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{F} \int_{x_1}^x \frac{\partial F}{\partial t} dx \right) dx + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} (u_1^2 - u_2^2) - \frac{1}{\rho} \Delta P - gh \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{4}{\rho} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\tau_0}{d_\Gamma} dx - \right. \\ \left. - \frac{1}{\rho} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\Gamma_m u}{F} dx \right], \quad (1)$$

где t – время; x – координата, направленная вдоль оси трубы в сторону движения; u , ρ , P – средняя в сечении продольная скорость, плотность и давление соответственно; F – площадь сечения канала; ΔP – разность давления на передней и задней кромках расплава; g – гравитационное ускорение; $h = |x_2 - x_1|$ – высота столба перемещающегося расплава, которая меняется согласно продвижению передней и задней кромок расплава в канале; $\partial z / \partial x$ – гидравлический уклон (при движении вниз $\partial z / \partial x = -1$, вверх $\partial z / \partial x = +1$, при горизонтальном движении $\partial z / \partial x = 0$); $\tau_0 = (\xi / 8) \rho u^2$ – сила трения, действующая на единицу боковой поверхности; ξ – коэффициент сопротивления течению расплава в трубе; d_Γ – гидравлический диаметр канала; Γ_m – источник/сток массы. Для дискретной аппроксимации уравнения (1) использован метод Рунге-Кутты. Координаты задней и передней кромок определяются по формулам:

$$x_1(t) = \int_0^t u_1(t) dt; \quad x_2(t) = \int_0^t u_2(t) dt. \quad (2)$$

Осевой нестационарный профиль усредненной по сечению канала температуры перемещающегося расплава рассчитывается с учетом теплоотдачи к стенкам канала, в том числе к корке из затвердевшего на стенках материала (температура на поверхности корки равна температуре солидуса) и объемного тепловыделения в расплаве. В расчете указанного профиля принимается постоянная температура на некотором заданном уровне. В качестве такой исходной точки для расчета поля температуры может быть выбрана нижняя плоскость активной зоны или вход в экспериментальный канал. После прохождения задней кромкой расплава (в случае первой схемы) указанной точки постулируется адиабатическое условие на задней кромке. Теплоотдачей от передней кромки расплава пренебрегается. Уравнение энергии по усредненным параметрам [2] для неустановившегося течения несжимаемой жидкости в канале переменного сечения после преобразований получено в виде:

$$\alpha_{cp} \frac{\partial T}{\partial t} + \alpha_{cp} u \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \alpha q'_v, \quad (3)$$

где c , λ , T – средние в сечении теплоемкость, коэффициент теплопроводности и температура расплава соответственно; $\alpha(x, t) = F(x, t)/F_0$; $F_0 = F(0, 0)$ – начальная площадь сечения на входе канала; $q'_v = -4q_0/d_r + q_v - \Gamma_m c(T - T_w)/F$ – источниковый член; q_0 – плотность теплового потока к боковым стенкам; $q_0 = \alpha_w (T - T_w)$; α_w – коэффициент теплоотдачи от расплава к стенкам; T_w – температура расплава у стенок канала; q_v – удельное тепловыделение единицы объема. Коэффициент теплоотдачи α_w вычисляется по формулам [3].

Нестационарное поле температуры в стенках канала (элементах твэла) и образующейся твердой корке на поверхностях стенок (поверхности оболочки) определяется отдельно с учетом теплопередачи от перемещающегося высокотемпературного расплава, зависимой от его скорости и температуры. Перенос тепла в аксиальном направлении в стенках и корке не учитывается. Нестационарное поле температуры в стенках канала описывается одномерным уравнением теплопроводности с введенной δ -функцией

$$[cp(r, T) \mp R_m \delta(T - T_m)] \frac{\partial T(r, t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda(r, T) r \frac{\partial T(r, t)}{\partial r} \right] + q_v(r, t), \quad (4)$$

где r – радиальная координата. Уравнение (6) характеризует радиальную передачу тепла в стенках канала (в случае ТВС в оболочке и сердечнике твэла, боковых каналов, в стенке чехла) и твердых корках в направлении наибольшего градиента температуры. За счет члена с δ -функцией уравнение учитывает движение внутреннего фазового фронта (границы плавления) в стенке (начинающееся в оболочке твэла в рассматриваемых условиях с внешней поверхности). Уравнение (4) дополняется граничными условиями для элементов твэла и твердой корки. Между стенкой и коркой из затвердевшего материала используется граничное условие четвертого рода. На внешней поверхности затвердевшего материала применимо конвективное условие с учетом выделения/поглощения скрытой теплоты плавления. По рассчитываемой толщине корки могут быть определены значения $d_T(x, t)$ и $F(x, t)$ в уравнениях (1) и (3).

Упрощенное уравнение энергии для движущегося расплава, которое сведено к уравнению теплопроводности (3) с конвективным членом, нелинейностью в источниковом члене и дополнительным коэффициентом, учитывающим непостоянство сечения канала по его длине и во времени, и уравнение теплопроводности (4) с дель-

та-функцией для стенок канала (в частности, для твэла) и твердых корок на стенках решены методом конечных разностей.

Параметры движения расплава и его температуры рассчитываются по программе TRELМ. Нестационарное радиальное распределение температуры в стенках канала (элементах твэла) и твердой корке, а также радиальные координаты границы раздела фаз в указанных областях рассчитываются по соответствующей версии программы TRAMS-TWEL. Расчеты по программам TRELМ и TRAMS-TWEL проводятся с использованием данных друг от друга (через файлы данных) по разработанной итерационной схеме [1].

С помощью разработанной методики ранее (см. [1]) был выполнен расчетный анализ перемещения и затвердевания расплава оксида алюминия в цилиндрических кварцевых трубках разного диаметра под воздействием небольшого перепада давления ($< 0,1$ МПа) в условиях экспериментов THEFIS [4]. Численные результаты, полученные по схеме с неограниченным количеством расплава, удовлетворительно согласуются с данными экспериментов THEFIS и соответствующими расчетными данными других методик.

В отличие от экспериментов THEFIS, проведенных во вне реакторных условиях, с имитирующим топливо материалом, серия экспериментов TRAN [5, 6] проводилась в реакторных условиях (в реакторе ACRR лаборатории Sandia) с чистым реакторным материалом – диоксидом урана. Были выполнены 3 серии экспериментов по перемещению и застыванию расплава топлива в каналах. В экспериментах TRAN топливо, первоначально находящееся в камере плавления, плавится под воздействием импульса высокой мощности реактора ACRR. Быстрое открытие соленоидного клапана инициируется примерно во время расплавления топлива, прикладывая движущий перепад давления к низу столбика расплавленного топлива. Стенки экспериментального канала, в который инжектируется расплав, могут нагреваться до значений температуры, соответствующих условиям в осушенной от натрия зоне воспроизводства в быстром реакторе.

С помощью разработанной методики проведены расчеты перемещения и затвердевания топлива в условиях эксперимента В1 с диоксидом урана, инжектируемым вверх в кольцевой канал (рис. 1), представляющий собой стальную трубу с внутренним диаметром 8,79 мм и достаточно толстой стенкой, чтобы пренебречь теплоотдачей от наружной поверхности, с вставленным внутрь сплошным стальным стержнем диаметром 5,84 мм. Необходимые для расчетов данные приведены в статьях [5, 6]. Движущий перепад давления в опытах В-серии составлял 1,0 МПа. Начальная температура расплава в опыте В1 – 3600 К (3327°C); начальная температура испытательной секции – 773 К (500°C).

В отличие от экспериментов THEFIS, проведенных с неограниченным количеством расплава, в экспериментах TRAN-В использовалось ограниченное количество. В соответствии с данными, приведенными в статье [6], в опыте В1 использовано 99 г материала. В канал было инжектировано 84 г, в кольцевую секцию и сбросной резервуар переместилось 60 г. Толщина твердой корки на стенках канала составила 0,20-

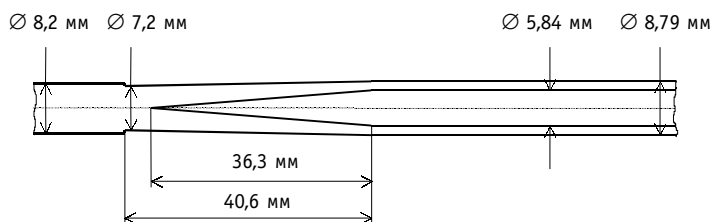


Рис. 1. Вид продольного разреза кольцевого канала, используемого в экспериментах В1 и В3 серии TRAN

0,25 мм; дистанция проникновения – 80 см (по-видимому, это длина корки, поскольку в [6] отмечено, что часть материала переместилась в сбросной резервуар); дистанция проникновения 90% материала – 40 см.

В расчетах по первой схеме рассматривалось поведение вышеуказанной инжектированной массы, протяженность которой в камере плавления диаметром 8,2 мм составляет 18,2 см. Граничное условие с нулевым тепловым потоком на задней кромке принято с начала движения расплава, т.е. в предположении, что его охлаждение стенками начинается еще в камере плавления. Величина температуры затвердевания диоксида урана принята равной 2850°C. Интервал температуры, в котором происходит затвердевание чистого диоксида урана, принят нулевым, что соответствует данным, приведенным в [7]. В этом случае процесс перемещения и затвердевания расплава будет происходить в соответствии с моделью теплопроводности, без объемного застывания в движущемся столбике. Именно на такой механизм, в котором часть материала откладывается на стенках, а остальной материал выносятся за пределы испытательной секции, указывают результаты рассматриваемых экспериментов.

Результаты расчетов с помощью представляемой методики для процесса перемещения и затвердевания расплавленного диоксида урана в экспериментальном кольцевом канале показаны на рис. 2-4. В данном случае численно смоделирована переменная конфигурация канала (рис. 1). В вычислениях по программе TRELМ с 300 узлами пространственной сетки по расчетной длине канала, принятой равной 150 см, начальный переходный участок между камерой плавления и экспериментальной кольцевой областью моделируется девятью интервалами разного диаметра, переходящими затем к сеточным интервалам одинакового диаметра. Поскольку в расчете вышеуказанная величина давления прикладывается к столбику расплава с начального момента процесса, столбик за сотые доли секунды достигает очень высокой скорости. Передняя (верхняя) кромка, двигающаяся в более узком участке, достигает скорости 12 м/с, намного большей скорости задней кромки (рис. 2, а).

В соответствии с результатами первого шага вычислений по программе TRELМ после прохождения задней кромкой выхода из камеры плавления (точки с координатой $z = 0$) в момент 0,031 с (рис. 2, б) и начального участка канала в момент 0,036 с, скорость течения становится одинаковой по всей длине. Длина столбика движущейся жидкости к этому времени увеличивается, достигая 28,4 см. Благодаря противодействию растущих сил трения скорость потока впоследствии стабилизируется

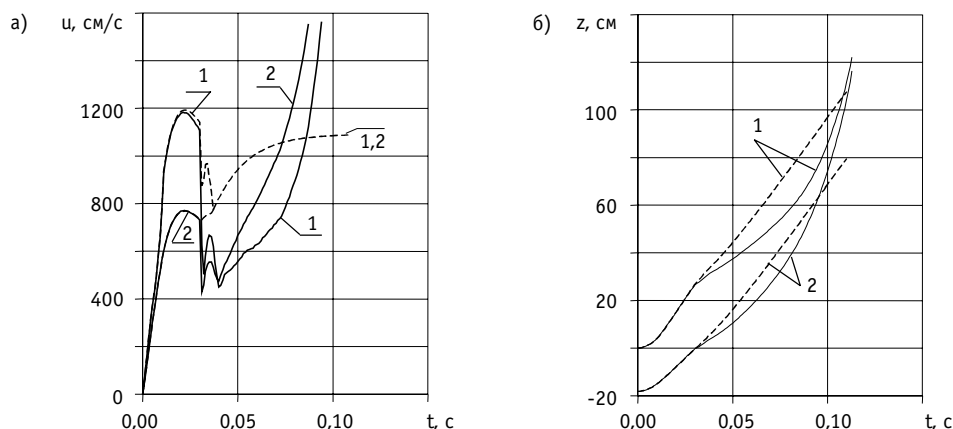


Рис. 2. Скорость перемещения (а) и координата (б) передней (1) и задней (2) кромок расплава диоксида урана в эксперименте TRAN-B1, полученные на первом (пунктирные линии) и втором (сплошные линии) шагах вычислений по программе TRELМ

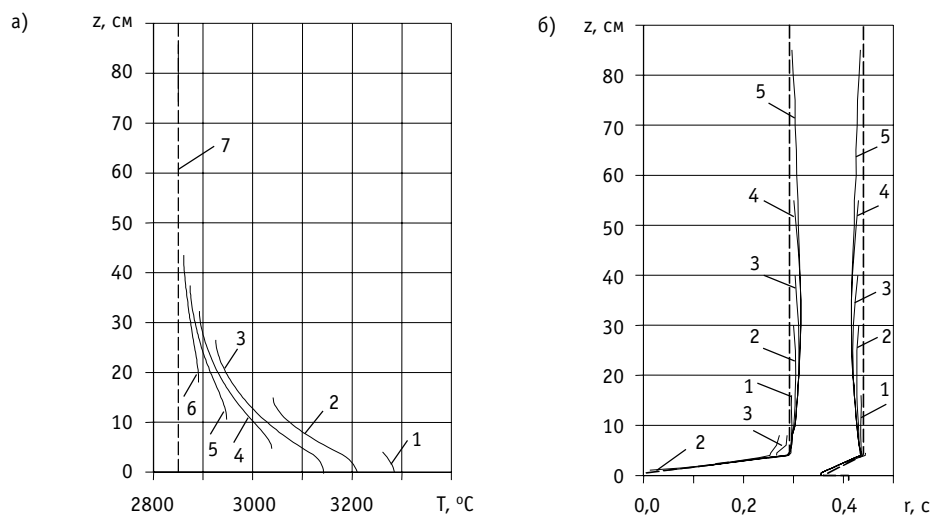


Рис. 3. Температура расплава диоксида урана в эксперименте TRAN-B1 (а), полученная на втором шаге вычислений по программе TRELМ, через $t = 0,01$ с (1), 0,02 с (2), 0,03 с (3), 0,04 с (4), 0,05 с (5), 0,06 с (6), 0,10 с (7) (пунктирная линия – температура затвердевания) и положения фронтов затвердевания расплава на стенках кольцевого канала и расплавления стенок (б), полученные на втором шаге вычислений по программе TRAMS-TWEL, через $t = 0,02$ с (1), 0,04 с (2), 0,06 с (3), 0,08 с (4), 0,10 с (5) (пунктирные линии – внутренний и наружный радиус канала)

на значении 10,9 м/с. К моменту около 0,11 с расчетная масса затвердевшего на стенках материала достигает исходного количества, инжектированного в испытательную секцию (рис. 4). К этому времени, принимаемому в соответствии с простой моделью теплопроводности за момент окончания движения, передняя кромка столбика расплава достигает высоты 108 см. На таком расстоянии от точки входа откладывается расплав в твердой корке на стенках канала.

На втором шаге вычислений с учетом сужения проходного сечения канала за счет затвердевающего на стенках расплава его движение некоторое время после прохождения задней кромкой начального переходного участка получено более медленным, чем на первом шаге вычислений (рис. 2). При этом скорость передней кромки становится ниже, чем задней, имеющей из-за корки меньшее проходное сечение. Поскольку часть затвердевшего материала остается за задней кромкой, длина столбика жидкости в процессе продвижения в канале сокращается, что является причиной последующего ускоренного движения (рис. 2). К моменту 0,113 с скорость передней кромки достигает 38 м/с, а передняя кромка достигает расстояния 122,1 см, после чего она заходит за границу расчетной длины канала ($z = 125$ см) и вычисления прекращаются.

Образование твердой корки начинается от точки входа в канал на внутренних стенках трубы, а затем и на центральном стержне, начиная с его конусообразного кончика. Потом часть корок у входа быстро обратно расплавляется благодаря теплоотдаче от расплава, имеющего у входа высокую температуру (рис. 3, а). Но, начиная с точки $z > 5$ см, корка на выпуклой поверхности, а с точки $z < 0$ см – на вогнутой, остается и после прохождения вперед задней кромки расплава, после чего остающаяся корка уже не плавится (рис. 3, б). На входном переходном участке остается всего лишь 0,4 г (0,5% инжектированного материала), т.е. в кольцевую секцию проходит практически весь инжектированный материал. В данном случае расплавляется часть материала обеих стенок канала на его начальном участке (рис. 3, б) длиной до 8 мм на глубину максимально до 0,38 мм на выпуклой стенке и до 0,05 мм на вогнутой. Расчетная толщина корки затвердевшего материала в кольцевой секции достигает мак-

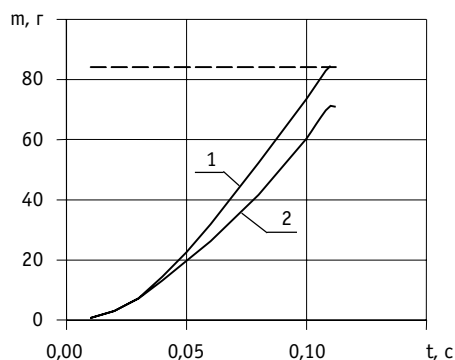


Рис. 4. Расчетная масса затвердевшего диоксида урана на стенках кольцевого канала в условиях эксперимента TRAN-B1, полученная на первом (1) и втором (2) шаге вычислений по программе TRAMS-TWEL (пунктирная линия – масса инжестрированного расплава)

симально 0,23 мм на внутренней выпуклой стенке и 0,24 мм на внешней вогнутой стенке кольцевого канала в точке $z = 30-35$ см. Указанные размеры практически совпадают с экспериментальными данными, согласно которым толщина корки на стенках в опыте B1 составила 0,20-0,25 мм [6]. На участке корки, находящемся на расстоянии 40 см от точки входа в канал, остается 30,6 г (36% инжестрированного материала), на участке длиной 80 см от входа – 59,1 г (71%). В вышенаходящихся областях из-за крайне малого времени нахождения там перемещающегося остатка расплавленного материала, расчетная толщина остающейся корки постепенно сокращается до крайне малых значений. Так, на высоте $z = 80$ см толщина корок составляет 0,1-0,11 мм, а на высоте $z = 100$ см – всего лишь 0,05 мм. При этом суммарная масса затвердевшего на стенках материала ко времени прохождения расплавом такой высоты уже не увеличивается (см. рис. 2, б и 4). Следовательно, согласно вычислениям с помощью разработанной методики, после высоты 80-100 см твердая корка практически отсутствует, что соответствует экспериментальным данным, согласно которым длина корки составила около 80 см. В твердой корке длиной около 110 см находится 71,0 г (85% инжестрированного материала), остальное количество должно быть унесено в сбросной резервуар.

Таким образом, численные результаты разработанной расчетной методики, полученные по схеме с ограниченным количеством расплава, удовлетворительно согласуются с данными экспериментов TRAN с диоксидом урана в кольцевом экспериментальном канале. Расчетные данные согласуются с экспериментальными по характеру процесса, в котором часть материала застывает в твердых корках на стенках кольцевой секции, а остальной материал, не блокируя полностью проходное сечение, уносится в сбросной резервуар. При этом вычисленные значения толщины твердых корок, равные максимально 0,23 и 0,24 мм на выпуклой и вогнутой соответственно стенках канала, совпадают с экспериментальными данными. Основное количество затвердевшего материала сосредоточено на длине до 80-100 см, что удовлетворительно соответствует экспериментальным данным, согласно которым длина твердой корки составила 80 см.

Данная работа выполнена при частичной финансовой поддержке в виде Гранта Министерства образования Российской Федерации.

Литература

1. Власичев Г.Н. Модель перемещения и затвердевания расплавленного топлива в каналах под активной зоной при тяжелой аварии быстрого реактора//Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2000. – № 2. – С.57-66.
2. Гинзбург И.П. Прикладная гидрогазодинамика. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1958.
3. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы)/Под общей ред. П.Л. Кириллова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 296 с.
4. Benuzzi A., Biasi L. Sensitivity of Penetration Lengths of Molten Aluminium in Quartz-Glass Tubes // Science and Technology of FAST REACTOR SAFETY: Proc. of an international conference held in Guernsey on 12-16 May 1986. – BNES, London, 1987. – V. 2. – P. 329-333.
5. In-pile Fuel Freezing and Penetration Experiments – the ACRR TRAN Experiments / R.O. Gauntt, P.S. Pickard, J. Berthier et al. – Science and Technology of FAST REACTOR SAFETY: Proc. of an international conference held in Guernsey on 12-16 May 1986. – BNES, London, 1987. – V. 2. – P. 433-438.
6. Peppler W., Kaiser A., Will H. Freezing of a Thermite Melt Injected into an Annular Channel. Experiments and Recalculations // Exper. Thermal and Fluid Science. – 1988. – V. 1. – №. 4. – P. 335-346.
7. Уолтер А., Рейнольдс А. Реакторы-размножители на быстрых нейтронах/ Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 624 с.

Поступила в редакцию 20.11.2003

Calculation research has been done to substantiate accumulation of ^{242m}Am from ^{241}Am target in BN-600 reactor

Experience of breeding the isotopes (such as ^{60}Co , ^{37}Ar) with the special irradiating channels has been stored at BN-600 reactor. The channels with different moderators – ZrH_2 , Be, $^{11}\text{B}_4\text{C}$ and with different filters – Cd, Gd, ^{155}Gd , ^{157}Gd have been considered in the noted research. It is demonstrated that the special designed irradiating channels allow to increase amount of ^{242m}Am in irradiated sample up to 14 % for irradiation period less than two years. Under irradiation in neutron spectrum at the fast reactor with no irradiating channel it is possible to obtain ^{242m}Am in amount not more than 6 % for approximately 12 years.

УДК 621.039.564

Development and Implementation of the Device for Measurement of Spent Fuel Assemblies Burn-up For the VVER-400 Reactor (FAMOS-III) \S.A. Andrushechko, S.N. Goloshapov, V.F. Ukraintsev, B.Yu. Vasiliev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 11 pages, 3 tables. – References 4 titles.

Because of use of a new NPP fuel with higher enrichment, there was a necessity in development of a special device and technique for a measurement of burn-up of spent fuel in a real NPP conditions.

The device, which realized this technique of burn-up measurement, is FAMOS-III. It was developed under technical requirements, developed on the Kola NPP, and then was established on it.

The FAMOS-III represents the multifunctional detector, it allows to carry out measurements directly on a nominal place of fuel storage – in the spent fuel pool. The complex of methodical measurements was carried out to develop the procedures of a background subtraction, creation of calibration curves for different measurement conditions and for result corrections (on a modification of separate channels effectiveness, background measurements, correction on miscounts, boron acid concentration etc.). The components of measurement errors and resulting error were analyzed and adjusted.

As a result, the FAMOS-III device was certificated by the commission of methods and tools of nuclear safety parameter control of the Atomic Ministry of Russian Federation. It is recommended for application on the Kola NPP. The technique of measurements a VVER-440 spent fuel burn-up by FAMOS -III is certificated by State Standards Committee of Russian Federation.

УДК 621.039.54

MCNP-based Nuclear Fuel Burn-up Calculations \M.Yu. Volkov, V.V. Kolesov, V.F. Ukraintsev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 13 pages, 7 illustration, 6 tables. – References 5 titles.

The program system for nuclear fuel burn-up calculations is described. This program system is based on the MCNP-code for neutron transport calculations. Also some results of applying this system to existing benchmark calculations of high conversion light water reactor cell with tighter pitch lattice are presented.

УДК 621.039.586: 536.42

Calculation analysis of relocation and freezing of uranium dioxide melt in the ring channel in conditions of experiment TRAN/G.N. Vlasichev, G.B. Usynin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 8 pages, 4 illustrations. – References, 7 titles.

The numerical model of relocation and freezing of molten fuel in channels for pass of coolant in axial blanket of BN reactor at heavy accident with core meltdown is used for the calculation analysis of experiment TRAN-B1 with pure uranium dioxide ejected upwards in the ring channel. The developed numerical model is a combination of models of conduction and volumetric freezing – takes into account narrowing the channel and increase of driven melt viscosity. The results of the techniques received on the calculation scheme with limited amount of melt, will satisfactorily be coordinated to the experiment data. The calculation data will be coordinated with experimental on character of process, in which the part of a material freezes in frozen crusts on ring section walls, and other material, not blocking completely through passage section, is carried away in the waste tank. Thus the calculated values of frozen crusts thickness equal maximum 0,23 mm and 0,24 mm on convex and concave accordingly walls of the channel, coincide with experimental data. The basic amount of the

hardened material is concentrated on length up to 80-100 cm, that satisfactorily corresponds to experimental

УДК 532.582

Derivation and generalization of the form-factors for quasi-one-dimension models of wall friction, heat- and mass transfer coefficients in non-homogeneous coolant flow. Pin bundles\Yu.N. Kornienko; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 10 pages, 2 illustration, 2 tables. – References 13 titles.

The method of derivation and construction of generalized closure relationships based on form-factor notion for wall friction, heat- and mass transfer coefficients [1,2] is extend on description of non-homogeneous coolant flow in the pin bundle geometry. A generalized closure relationship between friction, heat- and mass transfer coefficients for each of the pin wall with their total bundle value is presented. The obtained form-factors descriptions generalize Lyon-type integral relationships for friction, heat- and mass transfer coefficients not only for thermophysical properties and generalized body forces distributions, but also pin bundle geometry.

УДК 626.039.553.34

Mathematical Modeling of High-Temperature Heat Pipes Operation in Heat Transfer Units of Modern Nuclear Power Plants\G.V. Kuznetsov, S.F. Sandu; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 8 pages, 4 illustration. – 10 References titles.

The work is devoted to mathematical modeling of heat and mass transfer processes, proceeding in heat transfer units of nuclear power plants, manufactured on the basis of high-temperature heat pipes. The statement of a task about a temperature field of a typical high-temperature heat pipe, working on a principle of closed vaporization and condensation cycle is realized. The comparison of calculation results of a probable working area, a maximal heat transfer, and a steam temperature lengthwise distribution with known experimental data is held. On the basis of the developed mathematical model the forecasting modeling of operation of the heat-transfer system, intended for an experimental research of heat rejection from an active zone of a power reactor facility, is carried out. The results of prognostic simulation of operation of "turned" heat pipe are considered.

The analysis of results of numerical research has allowed to make a conclusion that the mathematical modeling of heat and mass transfer processes, proceeding in heat transfer units of modern nuclear power plants, gives the information adequately interpreting processes, proceeding in researched devices, and allowing to predict as normal, and dangerous modes of their operation.

УДК 65.015.3:621.039

System Approach to Staff Assessment\G.A. Reimarov, R.K. Gritsuk; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 8 pages, 3 illustration. – References 3 titles.

A formulation of personnel performance assessment problem from stands of systems analysis is given in the paper. A technique of personnel evaluation by experts is described. Outcomes obtained from use of system of staff assessment "Persona" at nuclear and conventional power plants are given.

УДК 519.7:539.1.03

Simulation of Transition Radiation for Charged Particles Moving in Heterogeneous Media\V.A. Galkin, D.A. Ryzhikov, V.I. Saveliev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 8 pages, 6 illustration. – References 10 titles.

The work is presented the mathematical simulation of the transition radiation for the charged particle moving in a heterogeneous media with variation of dielectric properties. Detail study of radiation processes, effects of propagation of the transition in heterogeneous media is based on the algorithms and simulation programs. Results are presented the simulated spectrums of the transition radiation for periodic heterogeneous structures and influence of media parameters.