

СВЕРХНЕЯВНАЯ СХЕМА НЕПОЛНОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ РАЗНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ТИПА

Н.М. Троянова*, В.П. Гинкин**

**Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва*

***ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск*



Предложена сверхневная схема метода неполной факторизации (МНФ) для решения систем линейных разностных алгебраических уравнений, аппроксимирующих уравнения переноса нейтронов в многогрупповом диффузионном приближении, и вариант комбинированной схемы МНФ, в котором на четных итерациях используется периферийная компенсация итерировуемых членов, а на нечетных она отсутствует. На численных примерах показана высокая эффективность разработанных схем МНФ. Исследованные схемы реализованы в программах-решателях и использованы в практических задачах нейтронной кинетики – в комплексе программ пространственно-временного расчета реакторов на быстрых нейтронах GVA [1, 2] и в комплексе программ расчета кампаний реакторов ВВЭР-1000 WIMS-ВОЛНА [3, 4].

Ключевые слова: нейтронная кинетика, итерационные методы, метод неполной факторизации, система линейных уравнений, комплексы программ.

Key words: neutron kinetics, iteration methods, incomplete factorization method, systems of linear algebraic equations, program codes

ВВЕДЕНИЕ

Системы линейных разностных уравнений, аппроксимирующих уравнение эллиптического типа, обычно записываются и решаются в сеточном виде. Номер узла разностной сетки в таком случае однозначно определяется набором значений индексов, определяющих номера линий сетки по каждой из координат. Но это не всегда удобно. Используются и другие способы нумерации узлов разностной сетки, например, такой, когда узлы нумеруются по спирали, начиная от одного узла в центре области. Можно предположить, что нумерация узлов сетки произвольна. В этом случае необходимо введение нового инструмента для описания как самих систем сеточных уравнений, так и методов решения этих систем. В данной работе предложен именно такой новый формализм для описания исходных систем сеточных уравнений и различных итерационных схем метода неполной факторизации для их решения. Для этого вводится понятие матриц связности, устанавливающих однозначное соответствие номеру каждого узла разностной сетки номеру узлов-соседей.

В работе предложены и численно исследованы новые сверхневная схема метода неполной факторизации для решения девятиточечных систем разностных уравнений, основанная на использовании так называемой периферийной компенсации итерлируемых членов, и новая комбинированная схема, в которой периферийная компенсация применяется не на каждой итерации, а через одну. Идея такой комбинированной схемы заключается в том, чтобы на одной итерации добиться эффективного сглаживания исходной функции ошибки, а на следующей итерации с использованием периферийной компенсации итерлируемых членов добиться эффективного подавления гладкой составляющей функции ошибки.

Предложенный метод был использован в качестве решателя в комплексе программ GVA, написанном для расчета пространственной динамики реакторов на быстрых нейтронах [1, 2] и в комплексе программ WIMS-ВОЛНА, написанном для расчета кампаний реакторов ВВЭР-1000 [3, 4].

ОПИСАНИЕ МЕТОДА НЕПОЛНОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЦ СВЯЗНОСТИ

Пусть требуется решить уравнение диффузии в некоторой области с заданными граничными условиями на ее границе. Для определенности рассмотрим уравнение переноса нейтронов в многогрупповом диффузионном приближении в (*hex-z*)-геометрии.

$$-\nabla D^{(g)} \nabla \varphi^{(g)} + \Sigma_{yB}^{(g)} \varphi^{(g)} - \sum_{l=1}^{g-1} \Sigma^{(l \rightarrow g)} \varphi^{(l)} = \chi^{(g)} Q,$$

где g – номер группы нейтронов; остальные обозначения общеприняты.

Введем разностную сетку и перенумеруем узлы в произвольном порядке. Используя девятиточечный разностный шаблон, построим разностный аналог исходного уравнения. Чтобы определить номера узлов соседей для центрального узла шаблона, введем понятие матрицы связности $MS(j, i)$, элементы которой для каждого расчетного узла $i, i = 1, \dots, N_0$, определяют J_0 номеров узлов-соседей, соответствующих остальным узлам шаблона, $j = 1, \dots, J_0$. При этом трехмерной (*hex-z*)-геометрии соответствует девятиточечный шаблон с $J_0 = 9, j = 9$ – центральный узел, $j = 1, \dots, 6$ – узлы гексагональной решетки в сечении $z, j = 7, 8$ соответствуют предыдущему ($j = 7$) и последующему ($j = 8$) сечению по координате z .

Исходное разностное уравнение в (*hex-z*)-геометрии при использовании введенного формализма примет вид

$$A\varphi = a^9 \varphi - \sum_{j=1}^8 a^j \varphi_{MS(j)} = f.$$

Для решения этого уравнения используем итерационный метод неполной факторизации (МНФ):

$$(DA + B)\varphi^m = Df + B\varphi^{m-1}, \quad m = 1, 2, \dots$$

с такими операторами D и B , чтобы $(DA + B)$ мог быть легко факторизован:

$$(DA + B) = MN.$$

Обозначив $N\varphi = \psi$, запишем МНФ в виде системы двух уравнений, которая решается методом последовательных приближений с итерлируемым оператором B :

$$\begin{aligned} M\psi &= Df + B\varphi^{m-1}, \\ N\varphi^m &= \psi. \end{aligned}$$

СВЕРХНЕЯВНАЯ СХЕМА НЕПОЛНОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ

Вариант метода неполной факторизации определяется конкретным видом операторов M , N и D . Выберем оператор D диагональным, а M и N – двухточечным и восьмиточечным соответственно:

$$D = \text{diag}(\gamma),$$

$$M\psi = \psi - \alpha^7 \psi_{MS(7)},$$

$$N\varphi = \varphi - \sum_{j=1, j \neq 7}^8 \alpha^j \varphi_{MS(j)}.$$

Полученная схема является не просто неявной, а сверхнеявной, так как для решения последнего уравнения, определенного на восьмиточечном шаблоне, нельзя применить прямой экономичный метод с использованием только простых неявных схем типа одномерных прогонок, приходится применять итерационный метод. Мы используем для этих целей схему неполной факторизации Шнайдера-Зедана [5], в которой с целью ускорения сходимости введена периферийная компенсация итерировуемых членов по типу h -факторизации [6] с итерационным параметром компенсации, меняющимся от нуля до 1.

В оператор B входят дополнительные по отношению к исходному шаблону узлы с номерами $MS(7)$, $MS(j)$, $j = 1, \dots, 6$, появившиеся при факторизации трехмерных уравнений от перемножения операторов M и N . Эти узлы образуют дополнительный шаблон по отношению к исходному разностному шаблону.

Вклад в оператор B дополнительных узлов можно компенсировать комбинацией членов, взятых в узлах основного шаблона. Пусть $B = R + S$, оператор R определен на дополнительном шаблоне

$$R\varphi = \alpha^7 \sum_{j=1}^6 \alpha^j \varphi_{MS(7), MS(j)},$$

$$S\varphi = \alpha^7 \sum_{j=1}^6 \alpha^j \sum_{\mu=1}^9 \theta_j^\mu k_j^\mu \varphi_{MS(\mu)},$$

где θ_j^μ и k_j^μ – параметры и матрица коэффициентов компенсации. Положим $\theta_j^\mu = \text{const} = \theta$ и определим компенсирующий оператор S по типу h -факторизации:

$$B\varphi = \alpha^7 \sum_{j=1}^6 \alpha^j \left[\varphi_{MS(7), MS(j)} + \theta (\varphi - \varphi_{MS(7)} - \varphi_{MS(j)}) \right].$$

МОДИФИЦИРОВАННАЯ СХЕМА ШНАЙДЕРА-ЗЕДАНА

Как уже отмечалось выше, в сверхнеявной схеме двухточечный оператор M обращается простым пересчетом в сторону возрастания координаты z ; обращение же оператора N ведется в сторону уменьшения координаты z , причем для каждого фиксированного z необходимо обратить двумерный семиточечный оператор вида

$$A'\varphi' = \varphi' - \sum_{j=1}^6 \alpha^j \varphi'_{MS(j)} = f$$

размерностью M_0 , где M_0 – количество узлов в hex -плоскости.

Для этого выбрана и модифицирована введением параметрической периферийной компенсации по типу h -факторизации схема Шнайдера-Зедана.

Схема метода неполной факторизации для этого случая выглядит так:

$$D' = \text{diag}(\gamma'),$$

$$M'u = u - \sum_{j=1,3,5} \beta^j u_{MS(j)} = \gamma' f' + B' \varphi^{n-1}, \quad n = 1, 2, \dots$$

$$N' \varphi^n = \varphi - \sum_{j=2,4,6} \beta^j \varphi_{MS(j)} = u,$$

где n – номер текущей итерации; β^j с нечетными j – коэффициенты оператора M' , с четными j – коэффициенты оператора N' , причем M' и N' имеют единичные диагонали. Оператор B' будет содержать элементы в дополнительных узлах $MS(1, MS(4))$ и $MS(5, MS(2))$, вклад которых можно компенсировать комбинацией членов, взятых в узлах основного шаблона. Выберем

$$M' = (R_1 + S_1) + (R_2 + S_2),$$

где R_1 и R_2 – операторы, определяющие итерлируемые члены $R_1 \varphi = \beta^1 \beta_{MS(1)}^4 \varphi_{MS(1, MS(4))}$ и $R_2 \varphi = \beta^5 \beta_{MS(5)}^2 \varphi_{MS(5, MS(2))}$; а S_1 и S_2 – компенсирующие операторы, определенные в узлах основного шаблона:

$$S_i \varphi = a_i \sum_{\mu=1}^9 \eta_i^\mu k_i^\mu \varphi_{MS(\mu)},$$

η_i^μ и k_i^μ – параметры и матрица коэффициентов компенсации.

Компенсирующие операторы выбираются по типу h -факторизации, и оператор B' имеет вид

$$B' \varphi = \beta^1 \beta_{MS(1)}^4 \left[\varphi_{MS(1, MS(4))} + \eta_1 (\varphi - \varphi_{MS(1)} - \varphi_{MS(4)}) \right] +$$

$$+ \beta^5 \beta_{MS(5)}^2 \left[\varphi_{MS(2, MS(5))} + \eta_2 (\varphi - \varphi_{MS(2)} - \varphi_{MS(5)}) \right].$$

Определив по рекуррентным формулам коэффициенты β^j , при $\eta_1 = \eta_2 = 0$ получаем схему Шнайдера-Зедана без компенсации, при $\eta_1 = \eta_2 = 1$ – получаем модифицированную схему Шнайдера-Зедана с периферийной компенсацией по типу h -факторизации, в которой первые члены разложения $B\varphi$ в ряд Тейлора в центральном узле шаблона равны нулю.

Кроме исследования сверхневной схемы МНФ с постоянным параметром компенсации θ сформулирован и исследован комбинированный МНФ, в котором значение параметра компенсации θ^m зависит от m – номера итерации.

Алгоритмы выбора параметра компенсации θ^m могут быть различными, например, простое чередование, циклический перебор и другие. Достаточно эффективной и экономной по памяти с точки зрения необходимости пересчета и (или) хранения коэффициентов операторов M и N для каждого θ^m оказалась комбинированная схема, получившая название схемы МНФ с мерцающим параметром (МНФ-МП), в которой для каждой нечетной итерации используется параметр компенсации, равный нулю, а для каждой четной итерации – единице.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изложенный метод неполной факторизации был испытан на модельных неоднородных задачах Дирихле и Неймана с правой частью $f = 1$, точное решение которых равно единице во всей расчетной области, и начальном приближении (НП) двух типов – гладкой начальной функцией (ГНП)

$$\varphi_0^\Gamma = \cos(\pi i / N_1) \cdot \cos(\pi l / N_2) \cdot \cos(\pi k / N_3)$$

и негладкой начальной функцией (ННП)

$$\varphi_0^H = (-1)^{i+l+k} \cdot 200 \cdot \cos(\pi i / N_1) \cdot \cos(\pi l / N_2) \cdot \cos(\pi k / N_3) + \varphi_{AB},$$

где ступенчатая функция равна пяти в первой половине ($i = 1, \dots, N_0/2$) и 300 в второй половине ($i = N_0/2+1, \dots, N_0$) расчетной области с $N_0 = N_1 \cdot N_2 \cdot N_3$ узлами; $M_0 = N_1 \cdot N_2$ – количество узлов в каждой из N_3 плоскостей по z .

Коэффициенты разностных аналогов операторов A для модельных задач имеют вид

$$a^j = 1, j = 1, \dots, J_0, a^9 = \sum_{j=1}^8 a^j + \sigma,$$

где σ – величина диагонального преобладания для внутренних узлов расчетной области. Для задачи Дирихле $\sigma = 0$, для задачи Неймана $\sigma = \text{const} \neq 0$.

Описание типов модельных задач приведено в табл. 1.

Таблица 1

Типы модельных задач

Геометрия	<i>(hex-z), J₀ = 9</i>	
Тип задачи	Задача Дирихле	Задача Неймана
	Вид НП	
ГНП	9D1	9N1
ННП	9D2	9N2

Решение модельных задач для установления сходимости и исследования скорости сходимости итерационных процессов с разными параметрами компенсации θ , η_1 и η_2 сравнивалось по количеству итераций и затратам процессорного времени с решением методом верхней точечной релаксации (ВТР) с экспериментально подбираемым и близким к оптимальному итерационным параметром [7].

Внутренний итерационный процесс по модифицированному методу Шнайдера-Зедана считался законченным, если абсолютная величина максимума по всем M_0 узлам локальной относительной погрешности становилась меньше заданной $\epsilon_1 = 10^{-6}$; внешний итерационный процесс в сверхявной схеме МНФ контроли-

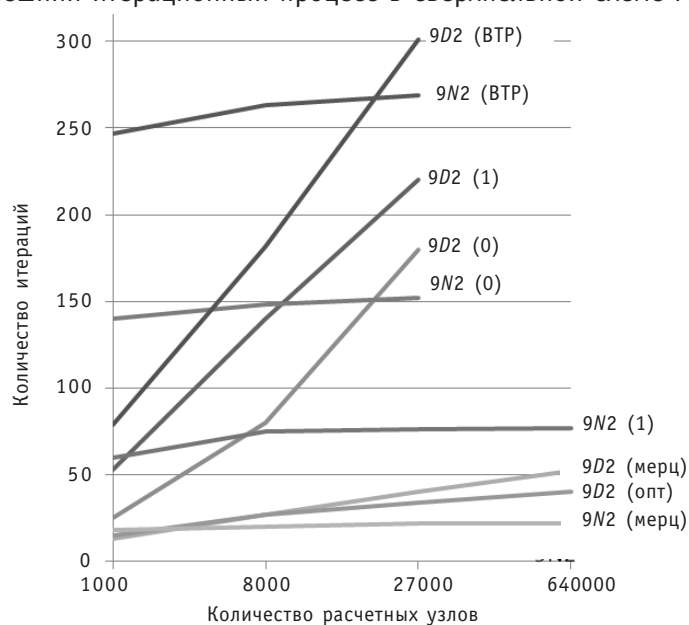


Рис. 1. Зависимость количества итераций $K_{ит}$ от числа расчетных узлов

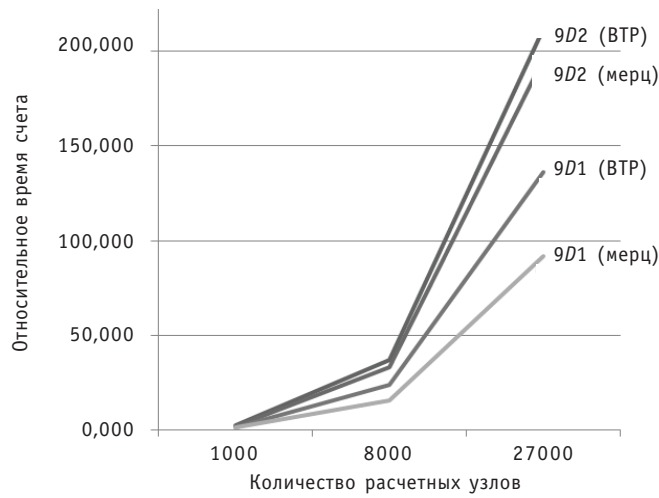


Рис. 2. Зависимость относительного времени решения задачи Дирихле от числа расчетных узлов

ровался максимумом ϵ_{\max} по всем N_0 узлам абсолютного отклонения m -ого приближения от точного решения, равного единице, и заканчивался при условии $\epsilon_{\max} \leq \epsilon \leq 10^{-3}$.

На рисунке 1 показаны зависимости количества итераций $K_{\text{ит}}$ от числа расчетных узлов для достижения точности 10^{-3} при решении задач 9D2 и 9N2 с $\sigma = 0,05$ тремя методами МНФ: при $\theta = 0$, $\theta = 1$ и МНФ-МП с мерцающим параметром.

Здесь же приведена зависимость числа итераций от N_0 для задачи Дирихле при оптимальном экспериментально подобранном параметре θ . Оказалось, что она близка к зависимости $K_{\text{ит}}$ от N_0 для МНФ-МП. Видно, что количество итераций $K_{\text{ит}}$ в зависимости от N_0 изменяется по закону, близкому к линейному, в задаче 9D2 и слабо зависит от N_0 в задаче 9N2. Очевидна эффективность МНФ-МП по сравнению как с МНФ с параметром компенсации, равным как нулю, так и единице, вне зависимости от типа граничных условий и дифференциальной задачи.

На рисунках 2 и 3 приведено относительное время, затраченное на решение разных тестовых задач (нормировка выполнена на наименьшее время, полученное в задачах 9D1 и 9N1 соответственно), а на рис. 4 – относительное время, зат-

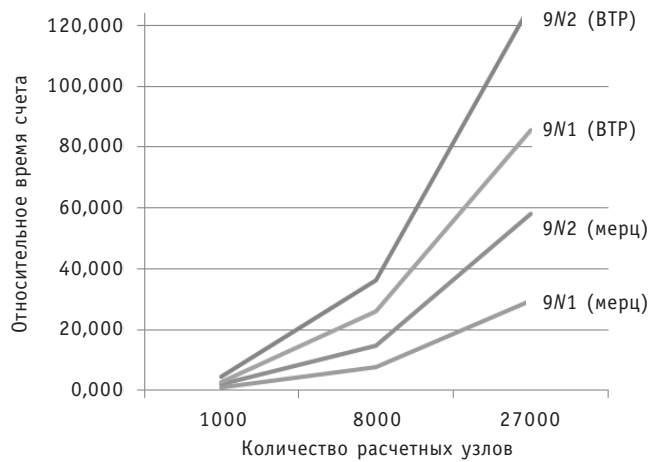


Рис. 3. Зависимость относительного времени решения задачи Неймана (диагональное преобладание равно 0,05) от числа расчетных узлов

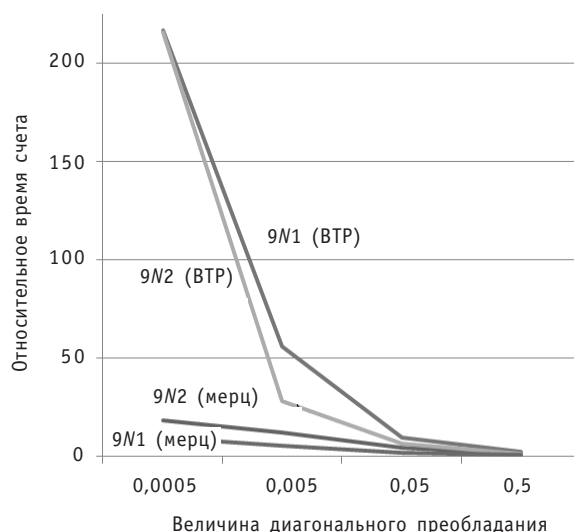


Рис. 4. Зависимость относительного времени решения задачи Неймана (количество расчетных узлов – 1000) методом верхней точечной релаксации и методом неполной факторизации с мерцающим параметром от величины диагонального преобладания

раченное на решение задачи Неймана с разным диагональным преобладанием (нормировка выполнена на наименьшее время, полученное в задаче 9N1). На этих рисунках буквами ВТР обозначен метод верхней точечной релаксации с оптимальным итерационным параметром.

Результаты численных исследований позволяют сделать вывод о том, что наиболее высокой скоростью сходимости из исследованных схем обладает схема с мерцающим параметром МНФ-МП. Эффект от чередования значений параметра компенсации (0 и 1) на каждой итерации оказался весьма высоким (зависимость числа итераций от числа узлов в схеме МНФ-МП при решении тестовых задач оказалась близкой к зависимости при оптимальном экспериментально подобранном параметре θ) и объясняется тем, что при параметре, равном нулю, эффективно гасятся высокочастотные, а единице – гладкие компоненты ошибки. Хотя эта схема требует расчета и хранения двух наборов коэффициентов в отличие от схемы МНФ с постоянным параметром компенсации q , этот перерасход памяти и времени оправдывается увеличением скорости сходимости итерационного процесса и снижением общих временных затрат на решение задачи. Аналогичный эффект усиления сходимости наблюдался в двумерной комбинированной схеме HFPP [6, 8]. Предложенный алгоритм чередования значений параметра не требует подбора оптимального значения параметра компенсации и особенно эффективен при решении плохообусловленных задач.

Литература

1. Гинкин В.П., Ваньков К.А., Троянова Н.М. ВОЛНА – программа трехмерного нестационарного расчета реактора в квазистатическом групповом приближении/Препринт ФЭИ-2360. – Обнинск, 1994.
2. Безбородов А.А., Волков А.В., Ганина С.М., Гинкин В.П., Кузнецов И.А., Троянова Н.М., Швецов Ю.Е. Программа совместного решения уравнения пространственно-временного переноса нейтронов и теплогидравлических нестационарных и аварийных процессов в быстрых реакторах/Препринт ФЭИ-2637. – Обнинск, 1997.
3. Гинкин В.П., Троянова Н.М. Использование метода неполной факторизации в трехмерной задаче нейтронно-физического расчета реакторов типа ВВЭР/Препринт ФЭИ-2104. – Обнинск, 1990. – 15 с.

4. *Troyanov V.M., Likhachev Y.I., Folomeev V.I., Demishonkov A.A., Troyanova N.M., Tutnov Al.A, Tutnov An.A, Kiselev A.S., Kiselev Al.S, Alekseev E.E., Ivanova O.I., Ulyanov A.I.* Numerical and analytical investigation of WWER-1000 fuel assembly and reactor core thermal mechanics/ Proceedings of a technical meeting held in Cadarache, France, 22- 26 November 2004, IAEA-TECDOC-1454, 2005. – P. 113-128.
5. *Schneider G.E., Zedan M.* A modified strongly implicit procedure for the numerical solution of field problems// Numerical Heat Transfer. – 1981. – Vol. 4. – P.1-19.
6. Гинкин В.П. Метод h-факторизации для решения двумерных уравнений эллиптического типа/ Доклад на IV Всесоюзном совещании по вычислительным методам линейной алгебры/ Вычислительные методы линейной алгебры. – Новосибирск: ВЦ СОАН СССР, 1977. – С.123-132
7. *Самарский А.А., Николаев Е.С.* Методы решения сеточных уравнений. – М.: Наука, 1978.
8. *Гинкин В.П.* Метод параболических прогонок для решения двумерных уравнений эллиптического типа/Препринт ФЭИ-1153. – Обнинск, 1981. – 13 с.

Поступила в редакцию 25.12.2012

fresnoite and perovskite, chemical durability of produced glasses was very high level, since equilibrium leach rate of Eu was $3 \cdot 10^{-6}$ g/m²·day and of U was $4 \cdot 10^{-6}$ g/m²·day.

УДК 546.212:541.12.012.3+534-14

Use of Generation of Acoustic Vibrations in Chemical Reaction and Properties of the Bubble Medium in Liquid to Reveal through Defects in Claddings of Slugs with Sodium \ Titarenko N.N., Dvornikov P.A., Kovtun S.N., Polionov V.P.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 8 pages, 5 illustrations. – References, 23 titles.

An opportunity to use the acoustic emission method to control micro-defects in the equipment is considered. In particular, for the first time it is shown experimentally that while sodium is interacting with water, the acoustic emission parameters are determined by the size of the interacting area for reacting components of the reaction. It is assumed that the major source of acoustic emission in the reaction of sodium interacting with water is generation of acoustic vibrations caused by phase transitions of sodium hydroxide. The obtained data make it possible to design a high-efficient system to control through defects in claddings of slugs with sodium.

УДК 621.039.534

The Investigation of the Acoustic Level Limit Switch of Coolant in the Integrated Stand of the KV-2 \ V.I. Melnikov, V.V. Ivanov, Yu.A. Kiselev, A.A. Kiselev, K.M. Miriasov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 5 pages, 3 illustrations. – References, 4 titles.

The results of the level switch based on 24 point acoustic probes which monitored process into the testing integrated unit KV-2 three-year operation was generalized. It has been estimated that the developed level switch worked satisfactorily. They make possible monitoring the thermohydraulic processes associated with vapor phase formation died to the increase of liquid level and steam condensation into reactor.

УДК 004.42.001.5

Coolant Forecasting of Nuclear Reactors \ Malovik K.N., Nikishin V.V.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 6 pages, 7 illustrations. – References, 15 titles.

The article considers analytic forecasting of coolant and its limit condition. Shown experimental data of physical modeling of volumetric steam content via improvement of machine vision system. Proposed using theory of dynamic trends for coolant forecasting of nuclear reactor.

УДК 621.039.517

Technique and Software to Calculate Temperature Field in the System of Layered Cylindrical Fuel Elements \ Starkov V.A., Marikhin N.Yu.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 9 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References, 5 titles.

A technique has been proposed and thermal conductivity problem has been solved analytically for the system of layered cylindrical fuel elements. Based on the results, an algorithm and FORTRAN software for the thermo-hydraulic calculation of a channel (THCC) have been developed to calculate the temperature field and thermal flux density in a fuel assembly with layered cylindrical fuel elements. The software also provides the calculation of the surface boiling onset temperatures on the fuel elements, critical fluxes and corresponding thermotechnical margins. Two coolant circulation schemes are provided for a fuel assembly: straight flow and Field tube. The results of the THCC calculations were compared with the analogous ones. A correlation between the calculation results is shown as well as the advantages of the THCC software performance.

УДК 519.6:621.039.5

The Overimplicit Scheme of Incomplete Factorization Method for Solving the Three-dimensional Difference Equations of Elliptic Type \ N.M. Troyanova, V.P. Ginkin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 8 pages, 1 tables, 4 illustrations. – References, 8 titles.

The over-implicit scheme of the incomplete factorization method (IFM) is proposed for solving the systems of linear algebraic equations that approximate the equations for neutron transport in the multigroup diffusion approximation, and the variant of combined IFM schemes is proposed, in which the peripheral

compensation is used in the even iterations and is absent in uneven iterations. The numerical tests demonstrate high efficiency of developed IFM schemes. Proposed schemes are implemented into several 3D codes of neutron kinetics and are used in the practical calculation by the fast neutron reactor code GVA and by the code WIMS-ВОЛНА for the VVER-1000 reactor life-time calculation.

УДК 629.76:629.78

On the Conversion of Thermal Energy of Nuclear Reactor into Directional Flow Energy of Electromagnetic Radiation in Nuclear-Photon Engine \ A.V. Gulevich, O.F. Kukharchuk, N.I. Loginov, A.S. Mikheev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 9 pages, 2 tables, 5 illustrations. – References, 4 titles.

Questions of direct conversion of thermal energy of the nuclear-photon engine into the energy of directional flow light radiation have been discussed. Possible design options of this converter differing in their irradiators geometrical forms have been highlighted, with comparative analysis of these options

УДК 621.039.534.6

Calculation of Mass Exchangers for Providing Specific Oxygen Regime in Heavy Liquid Metal Coolant \ A.Yu. Legkikh, P.N. Martynov, R.Sh. Askhadyllin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 12 pages, 1 tables, 5 illustrations. – References, 5 titles.

Technical implementation of solid-phase method for adjustment of oxygen content in lead alloys coolants, developed by IPPE, is realized by means of specially designed devices – mass exchangers which are a significant component of heavy liquid-metal coolant technology. On the design stage of mass exchanger it is necessary to calculate major features of mass exchanger. At this paper the calculation method of mass exchangers with solid-phase oxygen source (lead oxide) is described which allows to estimate the major features of apparatus and to predict it changes in depend on operating time.

УДК 532.526.4:621.039.533.34

The Modeling of Subheated Coolant Influence on Temperature Measurement at the Exit of Fuel Rod Assamly in WWER-1000 reactor \ Belozarov V.I., Varseev E.V., Kolesov V.V.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 9 pages, 1 tables, 3 illustrations. – References, 15 titles.

Errors in measurement of bulk temperature at the core exit of WWER-1000 reactor depends on the flow of relatively cold coolant through the control rod guide thimble tube in the fuel assemblies – so called “absorber” effect. The problem of temperature field modeling at the exit from WWER-1000 reactor core was solved in order to predict influence of such effect on thermocouple registrations along reactor radius at reactor measurements. The problem was solved in two stages. Energy release within the core elements of serial WWER-1000 reactor was calculated using the neutron transport code MCNP. The temperature field was calculated by using the OpenFOAM CFD package and heat release distribution, obtained at first stage of calculations. The results, obtained with developed methodology, are in good agreement with the reactor measurements results and researches of other authors. Obtained data allowed evaluating influence of the “absorber” effect at measurements in different position along core radius of WWER-1000 reactor.

УДК 621.039.546

Numerical and Experimental Investigation of the Model Steam Generator Reactor Facility BREST-OD-300 \ V.A. Grabezhnaya, A.S. Mikheev, Yu.Yu. Stein, A.A. Semchenkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 9 pages, 3 tables, 6 illustrations. – References, 5 titles.

The paper presents the results of testing the 3-tubes model of steam generator reactor facility BREST-OD-300, heated by liquid lead, at subcritical (18 MPa) and supercritical (25 MPa) pressure of the water at a flowrate – 80, 100 and 120% of the nominal value. The experimental data are compared with numerical simulation using the code RELAP5/mod 3.2.

УДК 621.039.51

Assessment of the Increasing in ⁹⁹Mo Production for Different WWR-c Reactor Core Compositions \ O.Yu. Kochnov, V.V. Kolesov, R.V. Fomin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 6 pages, 3 tables, 6 illustrations. –