

МЕТОДИКА И ПРОГРАММА РАСЧЕТА СТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В СИСТЕМЕ МНОГОЗОННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТВЭЛОВ

В.А. Старков, Н.Ю. Марихин
ОАО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград



Предложены методика и аналитическое решение стационарной задачи теплопроводности для системы многозонных цилиндрических тел. На их основе разработан алгоритм и написана инженерная ФОРТРАН-программа ТГРК для расчета температурного поля, плотности теплового потока в тепловыделяющей сборке с многозонными кольцевыми твэлами, температуры начала поверхностного кипения на твэлах, критических потоков и соответствующих теплотехнических запасов. В тепловыделяющей сборке предусмотрены две схемы циркуляции теплоносителя: прямоточная и схема Фильда. Проведено сравнение результатов расчета по программе ТГРК с программой-аналогом. Показано согласие результатов расчета и преимущества программы ТГРК по потребительским качествам.

Ключевые слова: твэл, плотность теплового потока, температура, кризис теплообмена, температура начала поверхностного кипения, теплотехнические запасы.
Key words: fuel element, thermal flux density, temperature, heat exchange crisis, surface boiling onset temperature, thermotechnical margins.

При планировании экспериментов по облучению образцов материалов, макетов изделий, реакторных испытаний твэлов и полномасштабных выделяющих сборок возникает потребность в проведении большого количества вариантных расчетов для предварительного выбора конструкции облучательного устройства, определения температурных режимов облучения. При длительных испытаниях необходимо учитывать влияние на температурные условия облучения таких факторов, как наличие отложений на теплогенерирующих поверхностях, появление коррозионной пленки. Наличие зазора или, наоборот, диффузионного слоя между сердечником и оболочкой, который имеет отличную от них теплопроводность, тоже должно учитываться при расчете. Это определяет потребность в инженерной программе, которая решала бы эти задачи и в то же время обеспечивала минимальные погрешности в результатах расчета, обусловленные выбранным методом решения уравнений теплопроводности. Программа должна также определять такие важнейшие при проведении испытаний параметры как запас до начала поверхностного кипения теплоносителя и запас до кризиса теплообмена. Имеющиеся в общественном пользовании программы такого класса, основанные на численных и итерационных методах решения стационарной задачи теплопроводности

© В.А. Старков, Н.Ю. Марихин, 2013

ти, как правило, рассчитывают твэлы с числом физических зон не более двух (сердечник и две оболочки из одинакового материала), что недостаточно, но не рассчитывают теплотехнические запасы.

Программа ТГРК (теплогидравлический расчет канала) реализует аналитическое решение задачи определения стационарного температурного поля и тепловых потоков в тепловыделяющей сборке (кассете), состоящей из произвольного количества цилиндрических твэлов (труб) M , охлаждаемых водяным теплоносителем (рис. 1).

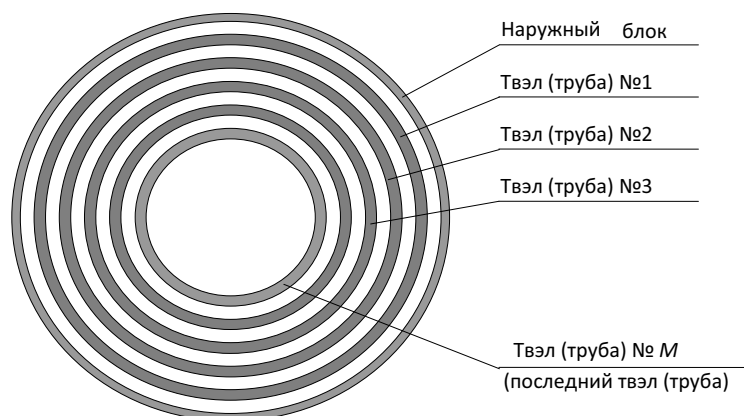


Рис. 1. Схема канала

На всех внешних границах твэлов (труб), кроме внутренней границы последнего твэла, задаются условия третьего рода. На внутренней границе последнего твэла по выбору могут быть заданы условия третьего или второго рода, если внутренний радиус твэла не равен нулю. Если внутренний радиус равен нулю (твэл (труба) представляет собой сплошной цилиндр без центрального отверстия), то в центре последнего твэла программой ставится условие равенства нулю плотности теплового потока в радиальном направлении. Предусмотренный выбор граничных условий на внутренней границе последнего твэла позволяет проводить расчет стержневых многозонных цилиндрических твэлов.

В межкассетном пространстве может находиться либо вода, либо твердый замедлитель (наружный блок). Первый твэл (труба) может являться корпусом рабочего канала (нумерация твэлов (труб) ведется снаружи). В замедлителе (наружном блоке) может быть учтено наличие энерговыделения заданием значения плотности теплового потока с поверхности наружного блока в первый зазор.

Методика расчета температурного поля в твэле строится на предположении, что толщина твэла (или диаметр, если твэл сплошной) значительно меньше его длины. Твэл может состоять из произвольного числа зон N , для каждой из которых задаются размеры, коэффициент теплопроводности и удельное энерговыделение.

Рассмотрим многозонную цилиндрическую область (рис. 2)

На рисунке приняты обозначения:

k – номер зоны; $k = 1, \dots, N$;

$q_k = \text{const}$, $\lambda_k = \text{const}$ – удельное энерговыделение и теплопроводность для k -ой зоны соответственно;

b_{k-1} , b_k – внутренний и наружный радиусы k -ой зоны соответственно;

$Q_{sk \text{ вн}}$, $Q_{sk \text{ нар}}$ – плотность теплового потока на внутренней и внешней границах k -ой зоны соответственно;

T_{k-1} , T_k – температура на внутренней и внешней границах k -ой зоны соответственно.

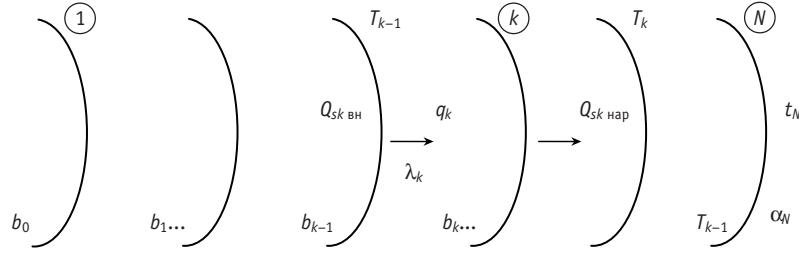


Рис. 2. Схема обозначений параметров сечения многозонного цилиндрического твэла

Наружная поверхность твэла охлаждается теплоносителем, температура которого t_N , коэффициент теплоотдачи α_N .

Уравнение теплопроводности для k -ой зоны (обозначения общепринятые)

$$t_k''(r) + \frac{1}{r} t_k'(r) = -\frac{q_k}{\lambda_k}, \quad k = 1 \dots N \quad (1)$$

и его решение

$$t_k(r) = A_k \ln \frac{r}{b_k} + T_k + \frac{q_k}{4\lambda_k} (b_k^2 - r^2), \quad (2)$$

$$q_{sk}(r) = -\lambda_k t_k'(r) = \frac{q_k r}{2} - \lambda_k \frac{A_k}{r}. \quad (3)$$

Граничное условие на границах между зонами для плотности теплового потока.

$$q_{sk}(b_k) = Q_{sk \text{ нар}} = q_{s_{k+1}}(b_k) = Q_{s_{k+1} \text{ вн}}. \quad (4)$$

С учетом соотношения (3) из условия (4) имеем

$$\frac{q_k b_k}{2} - \frac{\lambda_k}{b_k} A_k = \frac{q_{k+1} b_k}{2} - \frac{\lambda_{k+1}}{b_k} A_{k+1} \quad \text{или}$$

$$\lambda_{k+1} A_{k+1} - \lambda_k A_k = \frac{q_{k+1} b_k^2}{2} - \frac{q_k b_k^2}{2} = \frac{b_k^2}{2} (q_{k+1} - q_k), \quad k = 1 \dots N-1. \quad (5)$$

Из граничного условия для температуры

$$t_k(b_k) = t_{k+1}(b_k), \quad k = 1 \dots N-1$$

с учетом выражения (2) получим

$$T_k = A_{k+1} \ln \frac{b_k}{b_{k+1}} + T_{k+1} + \frac{q_{k+1}}{4\lambda_{k+1}} (b_{k+1}^2 - b_k^2), \quad k = 1 \dots N-1. \quad (6)$$

Просуммируем равенство (6) по k от 1 до $N-1$ и после несложных преобразований получим

$$T_1 - T_N + \sum_{k=1}^{N-1} A_{k+1} \ln \frac{b_{k+1}}{b_k} = \frac{1}{4} \sum_{k=1}^{N-1} \frac{q_{k+1}}{\lambda_{k+1}} (b_{k+1}^2 - b_k^2). \quad (7)$$

Запишем условие на внешней границе:

$$\alpha_N (T_N - t_N) = Q_{sN}^{\text{нар}} = \frac{q_N b_N}{2} - \lambda_N \frac{A_N}{b_N} \quad \text{или}$$

$$T_N + \frac{\lambda_N}{b_N \alpha_N} A_N = t_N + \frac{q_N b_N}{2\alpha_N}. \quad (8)$$

Рассмотрим граничные условия на внутренней границе при $r = b_0$.

Случай А. Граничные условия третьего рода.

$$\alpha_0 (T_0 - t_0) = -Q_{s1}^{\text{вн}} = -q_{s1}(b_0) = \frac{\lambda_1 A_1}{b_0} - \frac{q_1 b_0}{2} \quad \text{или}$$

$$T_0 - \frac{\lambda_1 A_1}{b_0 \alpha_0} = t_0 - \frac{q_1 b_0}{2\alpha_0}. \quad (9)$$

Поскольку $T_0 = t_1(b_0)$, то с учетом соотношения (2) из выражения (9) получим

$$T_1 - A_1 \left(\ln \frac{b_1}{b_0} + \frac{\lambda_1}{\alpha_0 b_0} \right) = t_0 - \frac{q_1 b_0}{2\alpha_0} - \frac{q_1}{4\lambda_1} (b_1^2 - b_0^2). \quad (10)$$

Сложим (7) и (8) и вычтем равенство (10):

$$\begin{aligned} A_1 \left(\ln \frac{b_1}{b_0} + \frac{\lambda_1}{\alpha_0 b_0} \right) + \sum_{k=2}^{N-1} A_k \ln \frac{b_k}{b_{k-1}} + A_N \left(\ln \frac{b_N}{b_{N-1}} + \frac{\lambda_N}{\alpha_N b_N} \right) = \\ = t_N - t_0 + \frac{q_N b_N}{2\alpha_N} + \frac{q_1 b_0}{2\alpha_0} + \frac{1}{4} \sum_{k=1}^N \frac{q_k}{\lambda_k} (b_k^2 - b_{k-1}^2). \end{aligned} \quad (11)$$

Введем обозначения:

$$\begin{aligned} \gamma_1 = \ln \frac{b_1}{b_0} + \frac{\lambda_1}{\alpha_0 b_0}; \quad \gamma_k = \ln \frac{b_k}{b_{k-1}}, \quad k = 2 \dots N-1; \quad \gamma_N = \ln \frac{b_N}{b_{N-1}} + \frac{\lambda_N}{\alpha_N b_N}; \\ p_1 = \frac{q_1 b_0}{2\alpha_0} + \frac{q_1}{4\lambda_1} (b_1^2 - b_0^2) - t_0; \quad p_k = \frac{q_k}{4\lambda_k} (b_k^2 - b_{k-1}^2), \quad k = 2 \dots N-1; \\ p_N = \frac{q_N b_N}{2\alpha_N} + \frac{q_N}{4\lambda_N} (b_N^2 - b_{N-1}^2) + t_N. \end{aligned} \quad (12)$$

Соотношение (11) перепишем в виде

$$\sum_{k=1}^N \gamma_k A_k = \sum_{k=1}^N p_k. \quad (13)$$

Обратимся к граничным условиям (5) и просуммируем их по k от 1 до $p-1$ ($2 \leq p \leq N$):

$$\lambda_p A_p - \lambda_1 A_1 = \sum_{k=1}^{p-1} \frac{1}{2} b_k^2 (q_{k+1} - q_k), \quad p = 2 \dots N. \quad (14)$$

Представим выражение (14) в виде

$$A_k = \frac{\lambda_1}{\lambda_k} A_1 + \frac{1}{\lambda_k} \sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{2} b_i^2 (q_{i+1} - q_i), \quad k = 2 \dots N. \quad (15)$$

Умножим уравнение (15) на γ_k и просуммируем по k от 2 до N

$$\sum_{k=2}^N \gamma_k A_k = A_1 \sum_{k=2}^N \gamma_k \frac{\lambda_1}{\lambda_k} + \sum_{k=2}^N \frac{\gamma_k}{\lambda_k} \sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{2} b_i^2 (q_{i+1} - q_i). \quad (16)$$

Подставим соотношение (16) в равенство (13) и найдем A_1 :

$$A_1 = \left\{ \sum_{k=1}^N p_k - \sum_{k=2}^N \frac{\gamma_k}{\lambda_k} \sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{2} b_i^2 (q_{i+1} - q_i) \right\} / \sum_{k=1}^N \gamma_k \frac{\lambda_1}{\lambda_k}.$$

Алгоритм решения задачи следующий.

1. С помощью соотношений (5) или (15) находим A_k , $k = 2, \dots, N$.
2. Определяем температуры внутренней и наружной поверхностей твэла с помощью соотношений (8) и (9). Если $N \geq 2$, то температуры на границах внутри твэла находятся с помощью соотношения (6).
3. Распределение температуры внутри зоны k определяется с помощью соотношения (2);

4. Находятся плотности потоков на внутренней и внешней границах твэла:

$$Q_{s1}^{BH} = -\alpha_0(T_0 - t_0) \text{ и } Q_{sN}^{HAP} = \alpha_N(T_N - t_N).$$

Если $N \geq 2$, то плотности потоков на границах внутри твэла находятся с помощью соотношения $Q_{sN}^{HAP} = \frac{q_k b_k}{2} - \lambda_k \frac{A_k}{b_k}, k = 1, \dots, N - 1$.

5. Распределение плотности потока внутри зоны k находится с помощью соотношения (3).

Случай Б. Рассмотрим граничное условие при $r = b_0$, когда $b_0 = 0$ и $Q_{s1}^{BH} = 0$. Из соотношения (3) следует, что $A_1 = 0$, тогда из формулы (15)

$$A_k = \frac{1}{\lambda_k} \sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{2} b_i^2 (q_{i+1} - q_i), \quad k = 2 \dots N.$$

Алгоритм дальнейшего решения следующий.

1. Температура наружной поверхности твэла находится с помощью соотношения (8). На внутренней и на границах внутри твэла – с помощью (7):

$$T_{k-1} = \begin{cases} A_k \ln \frac{b_{k-1}}{b_k} + T_k + \frac{q_k}{4\lambda_k} (b_k^2 - b_{k-1}^2), & k = 2, \dots, N \\ T_1 + \frac{q_1}{4\lambda_1} b_1^2, & \text{где } k = 1. \end{cases}$$

2. Распределение температуры внутри зон определяется с помощью соотношения (2):

$$t_k(r) = \begin{cases} A_k \ln \frac{r}{b_k} + T_k + \frac{q_k}{4\lambda_k} (b_k^2 - r^2), & k = 2, \dots, N \\ T_1 + \frac{q_1}{4\lambda_1} (b_1^2 - r^2), & \text{где } k = 1. \end{cases}$$

3. Плотность теплового потока на границах находится из соотношения (3):

$$Q_{sk}^{HAP} = \frac{q_k b_k}{2} - \lambda_k \frac{A_k}{b_k}, \quad k = 2, \dots, N;$$

$$\text{для } k = 1 \quad Q_{s1}^{BH} = \begin{cases} \frac{q_1 b_0}{2} - \lambda_1 \frac{A_1}{b_0}, & \text{если } A_1 \neq 0 \\ \frac{q_1 b_0}{2}, & \text{если } A_1 = 0. \end{cases}$$

4. Распределение плотности теплового потока

$$q_{sk}(r) = \frac{q_k r}{2} - \lambda_k \frac{A_k}{r}, \quad k = 2, \dots, N;$$

$$\text{для } k = 1 \quad q_{s1}(r) = \begin{cases} \frac{q_1 r}{2} - \lambda_1 \frac{A_1}{r}, & \text{если } A_1 \neq 0 \\ \frac{q_1 r}{2}, & \text{если } A_1 = 0. \end{cases}$$

Случай В. Рассмотрим граничное условие при $r = b_0 \neq 0$ второго рода $Q_{s_1}^{\text{BH}} = Q_{s_0}$. Из соотношения (3) для $r = b_0$ следует

$$A_1 = \frac{q_1 b_0^2}{2\lambda_1} - \frac{Q_{s_0} b_0}{\lambda_1},$$

и в соответствии с выражением (15)

$$A_k = \frac{\lambda_1}{\lambda_k} A_1 + \frac{1}{\lambda_k} \sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{2} b_i^2 (q_{i+1} - q_i).$$

Путь решения такой же, как для случая Б.

Алгоритм расчета строится на последовательном аналитическом определении температурного поля и плотности теплового потока в каждом сечении канала по высоте и последующем расчете подогрева теплоносителя на следующем шаге по высоте (см. рис. 3).

В каждой расчетной точке на поверхности твэлов проводится расчет температуры начала кипения теплоносителя по двум корреляциям.

Формула Берглиса-Розенау предназначена для воды с растворенным в ней воздухом и воздухом с насыщенным паром, которая характеризует температуру наружной поверхности твэла к моменту образования на ней первых пузырей [1]:

$$T_b = T_s + 0,555 \cdot \left[\frac{Q}{1,053 \cdot P^{1,156}} \right]^{\frac{p^{0,0234}}{2,17}},$$

где Q – плотность теплового потока, кВт/м²; P – давление, бар; T_s – температура насыщения теплоносителя, °C:

$$T_s = 99,278 + 0,09617 \cdot P + 27,7567 \cdot \ln(P) + 2,5346 \cdot \ln^2(P) + 0,2065 \cdot \ln^3(P).$$

Формула Форстера-Грейфа дает менее консервативную оценку температуры поверхности твэла к моменту стабилизации поверхностного паровыделения [2]:

$$T_b = T_s + 2,041 \cdot Q^{0,35} \cdot P^{-0,23}$$

Коэффициент запаса до начала поверхностного кипения теплоносителя определяется по зависимости

$$K = \frac{(T_b - T_w)}{(T_{cl} - T_w)},$$

где T_w – температура теплоносителя, °C; T_{cl} – температура наружной стенки твэла, °C.

Критическое значение плотности теплового потока определяется по консервативной корреляции Миршака [3]:

$$Q_{cr} = 1510 \cdot (1 + 0,1198 \cdot W) \cdot (1 + 0,00914 \cdot \Delta T_{out}) \cdot (1 + 0,19 \cdot P),$$

где Q_{cr} – критическая плотность теплового потока, кВт/м²; W – скорость теплоносителя, м/с; ΔT_{out} – недогрев теплоносителя до температуры насыщения на выходе из зазора, °C; P – давление, бар.

Запас до кризиса теплообмена рассчитывается по формуле

$$K_{кр} = \frac{Q_{cr}}{Q_{cl}},$$

где Q_{cl} – плотность теплового потока с поверхности твэла, кВт/м².

Формулы для определения гидравлических параметров и критериальных зависимостей общеприняты и взяты из [4, 5].

Рассмотренный алгоритм был реализован в программе ТГРК, написанной на языке Fortran. При расчете система по высоте разбивается на равные интервалы, количество которых задается пользователем.

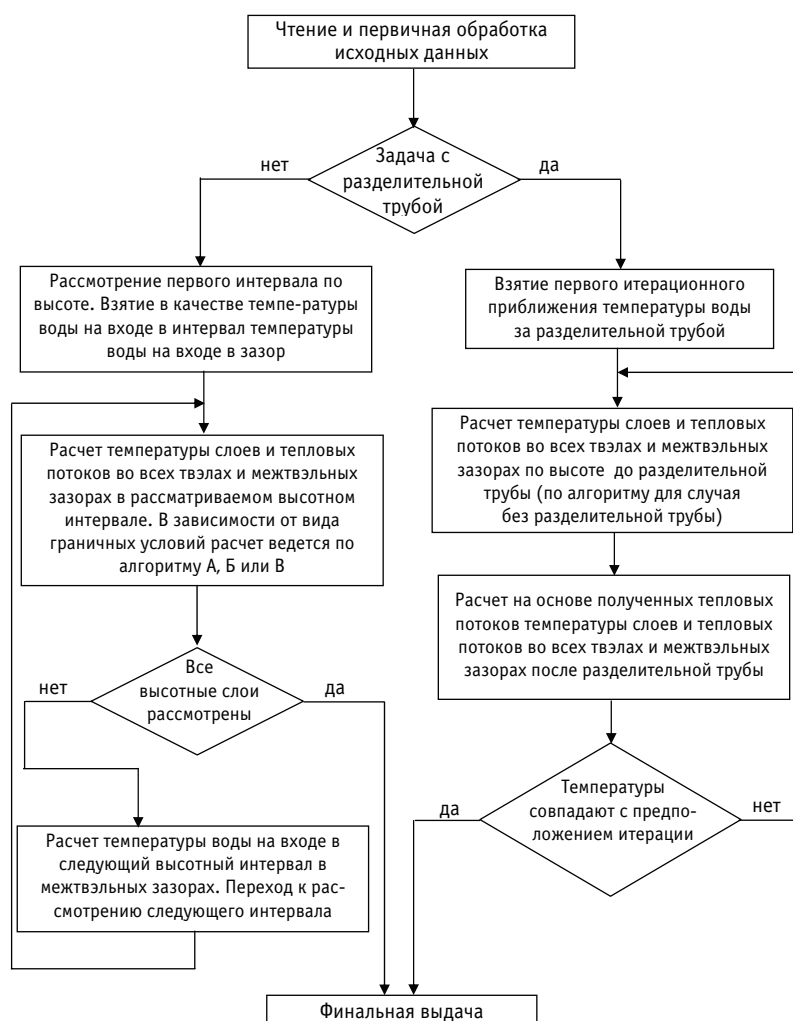


Рис. 3. Блок-схема работы программы ТГРК

В программе предусмотрены две схемы циркуляции теплоносителя:

- прямоточная, когда теплоноситель, омывающий твэл, циркулирует во всех зазорах в одном направлении и имеет одинаковую входную температуру;
- Фильда, когда в одном направлении теплоноситель циркулирует только в части наружных зазоров с одной входной температурой, а во внутренних зазорах движется в противоположном направлении с другой входной температурой. В этом случае задается местоположение твэла (трубы) – разделителя потока.

Необходимо отметить, что если первая труба является корпусом канала (а не твэлом), то входная температура теплоносителя в первом зазоре задается отдельно и может отличаться от таковой для остальных зазоров. Таким образом, в программе предусмотрено, что охлаждение кладки замедлителя в отличие от твэлов может осуществляться водой другого контура.

В задаче без разделительной трубы сначала рассчитываются тепловые потоки с поверхности твэлов в первом интервале (вход теплоносителя в кассету), на их основе находится температура воды и из нее – тепловые потоки во втором высотном интервале и так далее.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

№/п	Параметр	Значение
1	Мощность ТВС, Мвт	3,2
2	Массовая скорость теплоносителя, кг/(м ² с)	7636,3
3	Температура на входе, °С	40
4	Толщина, мм	
	- сердечника	0,94
	- оболочки	0,53
	- твэла	2,0
5	Теплопроводность, Вт/(м град.)	
	- сердечника	91,2
	- оболочки	170

Задача с разделительной трубой решается методом последовательных итераций. Задается начальное распределение температуры теплоносителя по высоте за разделительной трубой (начальная итерация). На его основе вычисляются тепловые потоки с поверхности твэлов до разделительной трубы и температура воды на повороте разделительной трубы. Используя температуру воды на развороте как новую температуру на входе твэлов, вычисляются тепловые потоки и распределение температуры воды по высоте в зазорах между твэлами. Сравнивается полученное новое распределение температуры теплоносителя по высоте с предполагаемым распределением в начале шага итерации. Если отклонение не превышает заданного значения погрешности, то полученные значения объявляются конечным решением, иначе итерация продолжается, пока не будет достигнуто согласие.

Исходные данные для программы задаются в текстовом виде в файле исходных данных, позволяющем рассчитывать произвольное количество твэлов. В каждом твэле задается количество слоев материала с различной теплопроводностью и тепловыделением в объеме. Еще в файле задаются входная температура и скорость теплоносителя в зазорах между твэлами, граничные условия на поверхности наружной стенки системы и внутренней стенке последнего твэла (трубы), а также наличие и положение (если есть) разделительной трубы, после которой направление движения теплоносителя меняется на противоположное.

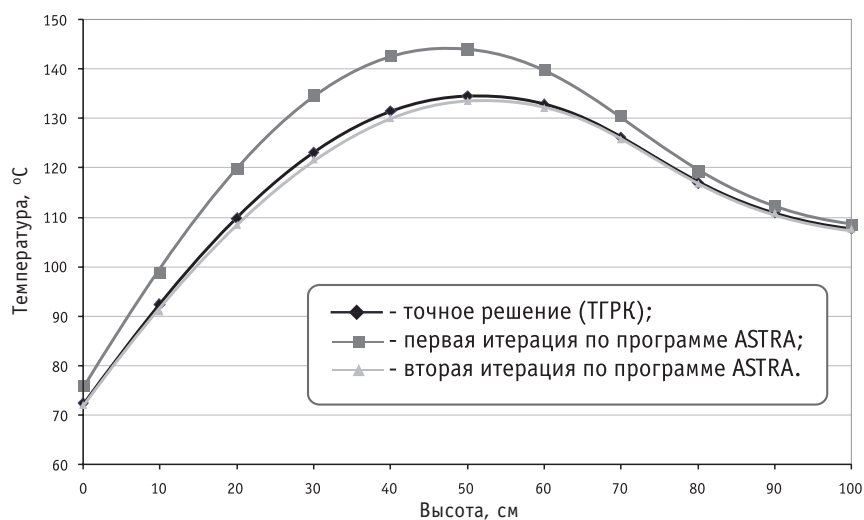


Рис. 4. Распределение максимальной температуры сердечника по высоте твэла

Сравнительные характеристики программ ТГРК и ASTRA

N№/п	Характеристика	ТГРК	ASTRA
1	Способ решения системы уравнений теплопроводности	Аналитический	Итерационный
2	Число физических зон в твэле	Произвольное	2 (сердечник, оболочка)
3	Число расчетных зон в твэле	Произвольное	3 (сердечник, две оболочки)
4	Максимальное число твэлов	Произвольное	Произвольное (необходимо изменять текст программы)
5	Возможность расчета многозонного стержневого твэла	есть	нет
6	Расчет температуры начала поверхностного кипения и запаса до начала кипения	есть	нет
7	Расчет критической плотности теплового потока и запаса до кризиса теплообмена	есть	нет

В качестве аналога программы для сравнения выбран код ASTRA [5], который реализует итерационный метод при расчете тепловыделяющей сборки с трехслойными цилиндрическими твэлами и сходной схемы циркуляции теплоносителя.

В таблице 1 представлены исходные данные, а на рис. 4 – сравнительные результаты расчета шеститрубной тепловыделяющей сборки реактора МИР.М1.

Из представленных данных следует, что при задании погрешности итерационного решения в программе ASTRA меньше 0,05°C результаты расчета по двум программам совпадают. В таблице 2 приведены сравнительные потребительские характеристики программ, которые показывают определенные достоинства программы ТГРК: неограниченное число физических зон дает возможность рассчитывать многослойные твэлы и мишени, учитывать при расчете наличие диффузионного слоя между сердечником и оболочкой, окисной пленки, отложений на поверхности твэлов и т.д., выделяя их в отдельные расчетные зоны, а также проводить расчет стержневых твэлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена методика и получено аналитическое решение системы уравнений теплопроводности для многозонного кольцевого твэла. Методика реализована в виде программы ТГРК. Программа написанная на языке ФОРТРАН, позволяет рассчитывать поле температур в многозонном цилиндрическом твэле и сборке, состоящей из концентрических многозонных цилиндрических твэлов. Предусмотрены две схемы циркуляции теплоносителя в ТВС: прямоточная и схема Фильда. Проводятся оценки запасов до начала поверхностного кипения и кризиса теплообмена.

Литература

1. Bergles A.E., Rohsenow W.M. The determination of forced convection surface boiling heat transfer. Transactions ASME 86//Journal of Heat Transfer. Series C. – 1964. – P. 365-371.
2. Fabrega S. Le calcul thermique des reacteurs de recherche refroidis par eau/Rapport CEA-R-4114, 1971.
3. Mirshak S., Durant W.D., Towell R.H. Heat Flux at Burnout. DuPont, DP-335, February, 1959.
4. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Атомиздат, 1974. – 396 с.
5. Емельянов М.К., Талиев А.В. Программа ASTRA для расчета теплового режима ТВС с трубчатыми коаксиальными твэлами/Препринт ИАЭ-4114/4. – М., 1985. – 17 с.

Поступила в редакцию 16.08.2012

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