



Зависимость окружных напряжений в оболочке микротрещины от флюенса нейтронов

от напряжений взята из работы [3], в которой константа ползучести определена без учета облучения. Характеристики  $UO_2$  взяты из работы [2]. Результаты расчета зависимости тангенциальных напряжений в обо-

лочке микротрещины от флюенса нейтронов приведены на рисунке, где  $\sigma'_{t2}$  и  $\sigma_{t2}$  — тангенциальные напряжения на внешней поверхности оболочки микротрещины;  $\sigma'_{t1}$ ,  $\sigma_{t1}$  — на внутренней поверхности оболочки ( $\sigma'_{t2}$  и  $\sigma'_{t1}$  соответствуют нелинейному закону ползучести;  $\sigma_{t2}$  и  $\sigma_{t1}$  — линейному закону).

Когда пороговые механизмы ползучести не действуют, значения напряжений для линейного и нелинейного законов близки. После начала действия пороговых механизмов ползучести напряжения в оболочке уменьшаются по сравнению с линейным законом ползучести (см. рисунок). При этом давление на оболочку ниже, чем при линейном законе. Расчеты показывают существенное влияние нелинейной (пороговой) ползучести на напряженное состояние микротрещины с металлическим покрытием.

(№ 982/9244. Статья поступила в Редакцию 28.IV.77., аннотация — 21. IV. 78. Полный текст 0,3 а. л., рис. 2, список литературы 16 наименований.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Martin D. «J. Nucl. Mater.», 1973, v. 48, N 1, p. 35.
2. Walther H. «Nucl. Engng and Design», 1972, v. 18, N 1, p. 11.
3. Розенберг В. М. «Физика металлов и металловедение», 1962, т. 14, № 1, с. 114.

УДК 621.039.546.85:621.039.548.539.16

## Внедрение метода и системы КГО стержневых ТВЭЛОВ на реакторе первого блока Белоярской АЭС

широков С. В., СНИТКО Э. И., ШИРЯЕВ В. И.

Описана работа систем контроля герметичности оболочек (КГО) стержневых ТВЭЛОВ опытных пароводяных каналов, установленных в замкнутом циркуляционном контуре, а также опытных пароводяных и пароперегревательных каналов, установленных в условно разомкнутых контурах по теплоносителю и растворенным в нем газам (разомкнутых через испарители или конденсатор). Через запорную арматуру обеспечена возможность отбора проб теплоносителя как с выхода каждого канала при индивидуальном КГО, так и из воздушников испарителей при общем КГО по контуру. Индивидуальные отборные трубки сведены в общий коллектор, из которого теплоноситель поступает в теплообменники, затем в дегазаторы и в дренаж на переработку.

Работа систем КГО основана на выведении газа из теплоносителя в специальных дегазаторах с последующей регистрацией радиоактивных нуклидов в датчике — электроосадителе ионов. Расход теплоносителя в пробоотборных линиях в режиме непрерывного КГО в условно разомкнутых контурах выбран таким образом, что в электроосадителе ионов накапливаются и в последующем подвергаются измерению практически только ионы  $^{88}Rb$  — продукта распада  $^{88}Kr$ . В случае поиска конкретных пароводяных каналов с негерметичными ТВЭлами в замкнутом контуре расход теплоносителя предлагается доводить до величины, при которой преобладающее значение в кон-

тролируемой активности будет приходиться на долю  $^{138}Cs$  — дочернего продукта распада  $^{138}Xe$ . При этом обоснование перехода на контроль короткоживущего радиоактивного  $^{138}Cs$  выполнено расчетным путем по формуле

$$A_{равн}^i = \frac{GA_{уд}^i}{\lambda_i} (1 - e^{-\lambda_i t})$$

с учетом того, что поиск каналов с негерметичными ТВЭлами усложняется из-за равновесного накопления радиоактивных нуклидов в теплоносителе замкнутого контура по соотношению

$$A_{равн}^i \approx 1,44 \frac{G}{V} A_{уд}^i T_{1/2}^i,$$

где  $G$  — расход теплоносителя через канал, л/с;  $V$  — объем замкнутого контура, л;  $T_{1/2}^i$  — период полураспада  $i$ -го нуклида, с;  $A_{уд}^i$  — удельная активность  $i$ -го нуклида в теплоносителе на выходе аварийного канала при разомкнутой схеме, Ки/л.

Показано отличие систем КГО и условий выявления каналов с негерметичными ТВЭлами, работающих в замкнутом контуре и условно разомкнутых по теплоносителю контурах. Описано несколько случаев разгерметизации ТВЭЛОВ пароводяных и пароперегревательных каналов, приведены данные о выходе в тепло-

носитель радиоактивных нуклидов из-под негерметичных защитных оболочек.

Рассматривается относительная «узость» информации, получаемой по системе КГО, неравномерность выхода нуклидов из твэлов и отсутствие однозначной зависимости между показаниями системы КГО и характером и степенью повреждения оболочек твэлов. В работе приведены основные количественные данные, характеризующие удельную активность теплоносителя по основным нуклидам при отсутствии и наличии негерметичных твэлов, а также калибровочные коэффициенты аппаратуры рассматриваемых систем КГО, которые получены с помощью полупроводникового гамма-спектрометра. Приведены также соображения о критериях

выгрузки каналов с негерметичными твэлами, характеризующихся радиационной обстановкой по выбросам в вентиляционную трубу и загрязнению оборудования контуров долгоживущими  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$  и вымываемым топливом. Последнее определяется по  $^{239}\text{Np}$ . Отмечены положительные и отрицательные стороны созданной на реакторе первого блока Белоярской АЭС системы КГО стержневых твэлов.

(№ 976/9483. Статья поступила в Редакцию 11.X.77, в окончательной редакции 9. III. 78, аннотация — 21. IV. 78. Полный текст 0,6 а. л., рис. 4.)

УДК 539.125.52

## О краевых задачах, не допускающих разделения переменных

МАЧИЛЬСКИЙ А. П.

Краевые задачи в нестандартных составных областях [1—3] трудны для решения классическими численными [3] и аналитическими методами [4], но решаются методом последовательного разделения переменных. Для описаний этого метода рассматривается круг  $r \leq R_1$  с вырезом по неконцентричной дуге радиуса  $\rho_1 < R_1$ . В  $\Gamma$ -круге задаются уравнение Гельмгольца

$$\Delta u - a^2 u = -S; \quad a = \text{const}; \quad S = \text{const} \quad (1)$$

и условия

$$\frac{\partial u(\rho_1 \pm 0, \omega)}{\partial \rho} = \pm \gamma u(\rho_1 \pm 0, \omega); \quad \omega \in (-\pi/2, \pi/2);$$

$$\frac{\partial u}{\partial \omega} \Big|_{0, \pi} = \frac{\partial u}{\partial \varphi} \Big|_{0, \pi} = 0; \quad u(R_1, \varphi) = 0; \quad \gamma = \text{const}. \quad (2)$$

Затем дуга выреза достраивается до окружности  $\rho = \rho_1$ . На продолжениях дуги учитываются обычные условия непрерывности [1], которые объединяются с условиями на границах выреза (2), и тем самым вводятся краевые условия четвертого рода [1]:

$$u_1(\rho_1, \omega) = \begin{cases} -\frac{1}{\gamma} \frac{\partial u_1(\rho_1, \omega)}{\partial \rho}; & \omega \in [0, \pi/2]; \\ u_2(\rho_1, \omega); & \omega \in [\pi/2, \pi] \end{cases},$$

$$\frac{\partial u_2(\rho_1, \omega)}{\partial \rho} = \begin{cases} \gamma u_2(\rho_1, \omega); & \omega \in [0, \pi/2]; \\ \frac{\partial u_1(\rho_1, \omega)}{\partial \rho}; & \omega \in [\pi/2, \pi] \end{cases}, \quad (3)$$

которые выполняются в среднем [2]. Неконцентричное кольцо  $\rho \in [\rho_1, R_1]$  расширяется до концентричного  $\rho \in [\rho_1, \rho_2]$ , где  $\rho_2 = \rho_1 + R_1$ . Расширенная область разводится на круг ( $\rho \leq \rho_1$ ) и кольцо ( $\rho \in [\rho_1, \rho_2]$ ), уравнение (1) решается с условиями:

$$|u_1(0, \omega)| < \infty; \quad \frac{\partial u_1(\rho_1, \omega)}{\partial \rho} = q_1(\omega);$$

$$\frac{\partial u_2(\rho_1, \omega)}{\partial \rho} = q_2(\omega); \quad \frac{\partial u_2(\rho_2, \omega)}{\partial \rho} = q_3(\omega), \quad (4)$$

в которых неизвестные граничные функции  $q_j(\omega)$  аппроксимируются полиномами [2] с неизвестными коэффициентами  $a_{jm}$

$$q_j(\omega) = \sum_{m=0}^N a_{jm} [\omega(\pi - \omega)]^{2m} \quad (N < \infty) \quad (5)$$

и задаются рядами Фурье [2]. В результате с точностью до неизвестных постоянных  $a_{jm}$  получается решение поставленной краевой задачи

$$u_i(\rho, \omega) = \sum_{h=0}^{\infty} u_{ih}(\rho) \cos(k\omega) + S/a^2 \quad (i=1, 2), \quad (6)$$

где  $u_{ih}(\rho)$  — линейные комбинации произведений функций Бесселя на  $a_{jm}$ , значения которых находятся из формулы (3) и  $u_2(R_1, \varphi) = 0$ .

Для оценки скорости сходимости метода вычислительных отношений  $u_{ik}(\rho_1)$ ,  $k \neq 0$ ,  $ku_{10}(\rho_1)$  и было выяснено, что для достижения практической точности достаточно сохранить в разложениях (6) 4—5 первых членов. Кроме того, по скорости сходимости метод последовательного разделения переменных сравнился с методом двойных рядов Фурье [5], что обнаружило более быструю сходимость первого.

(№ 977/9485. Статья поступила в Редакцию 11.X.77, аннотация — 27. III. 78. Полный текст 0,5 а. л., рис. 1, табл. 2, список литературы 6 наименований.)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мачильский А. П. «Атомная энергия», 1968, т. 25, вып. 2, с. 148.
2. Мачильский А. П. «Теплофизика высоких температур», 1970, т. 8, № 1, с. 147.
3. Марчук Г. И. Методы расчета атомных реакторов. М., Госатомиздат, 1961.
4. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М., «Наука», 1967.
5. Канторович Л. В., Крылов В. И. Приближенные методы высшего анализа. М., Физматгиз, 1962.