



ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВО ВНУТРИКОРПУСНОЙ ШАХТЕ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

О. В. МАХНЕНКО, Е. А. ВЕЛИКОИВАНЕНКО, И. В. МИРЗОВ

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Выгородка реактора подвержена высоким дозам радиационного облучения, что при эксплуатации приводит к ее распуханию и формоизменению. Давление выгородки на шахту изнутри создает дополнительные напряжения в зоне контакта. Остаточные сварочные напряжения также могут существенно влиять на уровень напряженного состояния стенки шахты, что необходимо учитывать при оценке работоспособности внутрикорпусного устройства при продлении срока эксплуатации реактора ВВЭР-1000. Таким образом, актуальной задачей является оценка напряженного состояния в области ее контакта с выгородкой, особенно если место контакта совпадает с зоной сварного соединения. Целью настоящей работы является изучение напряженного состояния в зоне сварных швов внутрикорпусной шахты реактора ВВЭР-1000 в процессе эксплуатации с учетом радиационного распухания и контактного взаимодействия выгородки и шахты. Задача решена методом конечных элементов в двухмерной постановке с применением современных математических моделей радиационного распухания и изменения механических свойств стали 08X18H10T. Расчеты показывают, что влияние одних лишь температурных деформаций не вызывает высоких напряжений в стенке шахты. Степень перераспределения напряжений в стенке шахты за счет радиационного распухания зависит от остаточных сварочных напряжений. Наибольший вклад в напряженное состояние стенки внутрикорпусной шахты за 60 лет эксплуатации дают окружные и осевые напряжения, обусловленные контактным взаимодействием шахты с выгородкой. Напряжения в сварных швах внутрикорпусной шахты в конце продленного срока эксплуатации (60 лет) близки к значениям предела текучести облученного материала. Остаточные сварочные напряжения могут существенно влиять на уровень напряженного состояния стенки шахты, что следует учитывать при оценке работоспособности внутрикорпусного устройства при продлении срока эксплуатации реактора ВВЭР-1000. Библиогр. 4, табл. 2, рис. 9.

Ключевые слова: внутрикорпусная шахта, реактор ВВЭР-1000, внутрикорпусное устройство, остаточные сварочные напряжения, радиационное облучение, 08X18H10T, продление ресурса

Внутрикорпусная шахта реактора ВВЭР-1000 является сварной конструкцией цилиндрической формы и изготавливается из аустенитной стали 08X18H10T. Расположение шахты в корпусе реактора и ее чертеж приведены на рис. 1. На уровне установки выгородки активной зоны внутрикорпусная шахта имеет внешний радиус 1805 мм и толщину стенки 60 мм.

Выгородка реактора подвержена высоким дозам радиационного облучения, что в процессе эксплуатации приводит к ее распуханию и формоизменению. В исходном состоянии зазор между кольцами выгородки и шахтой составляет 2,5 мм. По результатам расчетов [1] не исключается контакт выгородки и внутрикорпусной шахты в процессе эксплуатации. Давление выгородки на шахту изнутри приводит к возникновению дополнительных напряжений в зоне контакта. Остаточные сварочные напряжения также могут существенно влиять на уровень напряженного состояния стенки шахты, что следует учитывать при оценке работоспособности внутрикорпусного устройства (ВКУ) при продлении срока эксплуатации реактора ВВЭР-1000. Таким образом, актуальной задачей является

оценка напряженного состояния во внутрикорпусной шахте в области ее контакта с выгородкой, особенно если место контакта совпадает с зоной сварного соединения. Стоит заметить, что радиационному распуханию подвержена также стенка

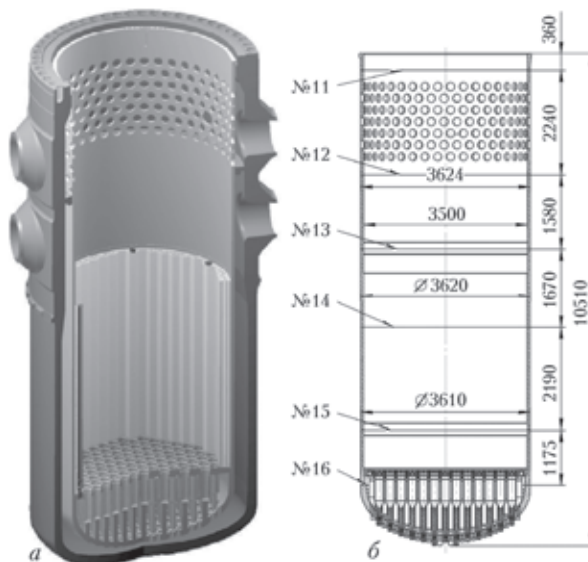


Рис. 1. Расположение внутрикорпусной шахты в устройстве реактора ВВЭР-1000 (а) и ее чертеж (б)



шахты, однако повреждающая доза в ней на порядок ниже, чем в выгородке.

Целью настоящей работы является изучение напряженного состояния в зоне сварных швов внутрикорпусной шахты реактора ВВЭР-1000 в процессе эксплуатации с учетом радиационного распухания и контактного взаимодействия выгородки и шахты.

Первоначально эта проблема была изучена в [2]. В настоящей работе усовершенствованы математические модели радиационного распухания и механических свойств материала ВКУ, уточнены значения объемных тепловыделений и повреждающей дозы в шахте, разработана численная модель расчета напряженно-деформированного состояния при контакте выгородки и шахты, а также смоделированы остаточные сварочные напряжения в сварных швах внутрикорпусной шахты.

Методика исследований. Для достижения поставленной цели был решен ряд задач. Вначале рассмотрена свободная шахта без учета ее контакта с выгородкой, чтобы понять, каким образом на ее напряженное состояние влияют эксплуатационные температурные поля и радиационное распухание. Во второй задаче учитывается контакт с выгородкой. Следующие две задачи аналогичны первым, но в них рассмотрена шахта с остаточными сварочными напряжениями, которые имеют упрощенное распределение.

Решение этих задач дает понимание того, как перераспределяются остаточные сварочные напряжения в шахте и каким образом они суммируются с напряжениями от контактного взаимодействия выгородки и шахты. Последняя задача включает весь опыт предыдущих задач, но в шахте уже рассмотрены реальные поля остаточных сварочных напряжений, полученные в ходе отдельного численного расчета.

Все задачи решены методом конечных элементов в двухмерной постановке в условии обобщенной плоской деформации. Материал ВКУ — сталь 08X18H10T. Использована модель идеальной пластичности. Задача оценки напряженно-деформированного состояния в условиях радиационной ползучести с распуханием решена с пересчетом напряжений и деформаций на каждом шаге прослеживания. При контакте не учтен теплообмен между выгородкой и шахтой, их контактное взаимодействие оказывает влияние на напряженное состояние как шахты, так и выгородки, оба ВКУ моделируются одновременно с начальным зазором 2,5 мм. Внутреннее давление в корпусе реактора 16 МПа.

Торможение тяжелых частиц в металле ВКУ вызывает подогрев материала. Мощность объемных тепловыделений в шахте меняется линейно от 5,0 (на внутренней поверхности) до 0,5 Вт/см³ (на

Таблица 1. Теплофизические свойства стали 08X18H10T [1]

$T, ^\circ\text{C}$	$E, \text{ГПа}$	$\alpha', 10^{-6} \text{K}^{-1}$	$\lambda, \text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$	$c_p, \text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$	$\rho, \text{кг}/\text{м}^3$
20	205	16,2	16,6	478	7900
100	200	16,6	17,2	495	7862
200	190	17,0	18,0	516	7821
300	180	17,4	18,7	537	7778
400	170	17,8	19,4	558	7732
500	165	18,2	20,1	579	7684
600	160	18,5	20,8	600	7634

Таблица 2. Температура теплоносителя и коэффициенты теплопередачи для различных поверхностей шахты [1]

Поверхность шахты	Температура на поверхности, $^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$
Наружная	291,7	15900
Внутренняя	320	39017

внешней). Скорость набора повреждающей дозы в шахте также меняется линейно от 0,2 (на внутренней поверхности) до 0,02 сна/год (на внешней). Теплофизические свойства стали 08X18H10T, приведенные в табл. 1, применимы как для основного металла, так и для металла сварного шва. Коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$.

Механические свойства основного металла стали 08X18H10T и сварных швов зависят от температуры и дозы облучения и описаны в [3]. Ниже приведена модель, описывающая изменение механических свойств стали 08X18H10T в зависимости от температуры и повреждающей дозы.

Предел текучести основного металла

$$\sigma_{0,2}(T, D) = \begin{cases} \sigma_{0,2}^0(T) + \Delta\sigma_{0,2}^T(T, D), & D < D^* \\ \sigma_{0,2}^*(T) + \Delta\sigma_{0,2}^*(D), & D \geq D^* \end{cases}$$

$$\sigma_{0,2}^0(T) = 155 + 239 \exp(-2,22 \cdot 10^{-3}(T + 273)) \text{ (МПа)},$$

$$\Delta\sigma_{0,2}^T(T, D) = (\sigma_{0,2}^*(T) - \sigma_{0,2}^0(T)) \times \frac{\sqrt{1 - \exp(-C_{\sigma_{0,2}} D)}}{\sqrt{1 - \exp(-C_{\sigma_{0,2}} D^*)}}$$

$$\sigma_{0,2}^*(T) = 650 + 1405 \exp(-5,9 \cdot 10^{-3}(T + 273)) \text{ (МПа)},$$

$$\Delta\sigma_{0,2}^*(D) = A_{\sigma_{0,2}} \times \left(\sqrt{1 - \exp(-C_{\sigma_{0,2}} D)} - \sqrt{1 - \exp(-C_{\sigma_{0,2}} D^*)} \right),$$

$$D^* = 7 \text{ сна}, C_{\sigma_{0,2}} = 0,126 \text{ сна}^{-1},$$

$$A_{\sigma_{0,2}} = 621 \text{ МПа}.$$

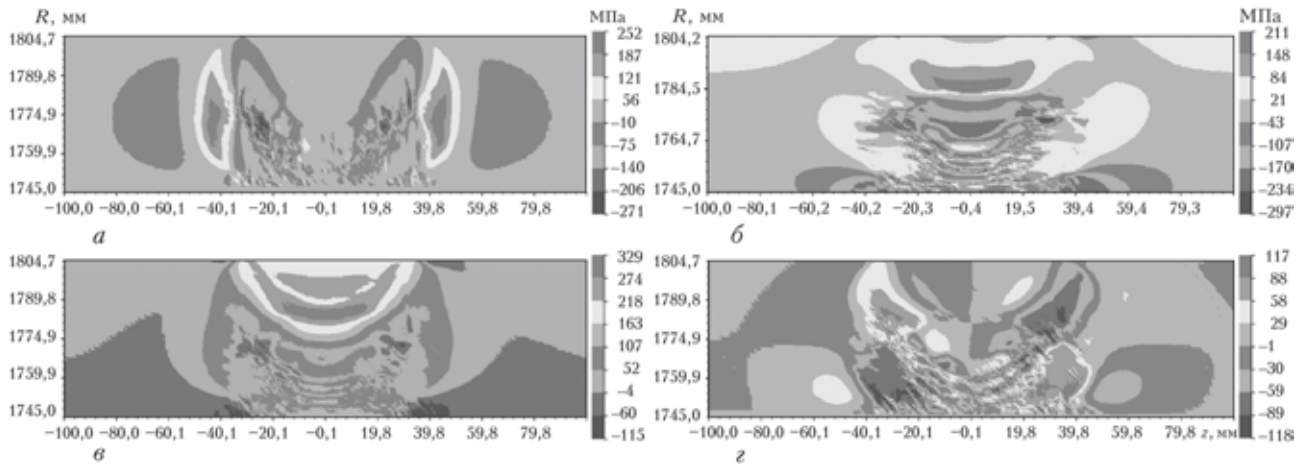


Рис. 2. Остаточные сварочные напряжения в шахте реактора ВВЭР-1000 в цилиндрической системе координат: а — σ_{rr} ; б — $\sigma_{\theta\theta}$; в — σ_{zz} ; г — σ_{rz}

Предел текучести металла сварного шва

$$\sigma_{0,2}(T, D) = \sigma_{0,2}^0(T) + \Delta\sigma_{YG}(D) \text{ (МПа)},$$

$$\sigma_{0,2}^0(T) = 255 + 420 \exp(-2,22 \cdot 10^{-3}(T + 273)) \text{ (МПа)},$$

$$\Delta\sigma_{YG}(D) = 498\sqrt{1 - \exp(-0,3D)} \text{ (МПа)}.$$

Предел прочности основного металла

$$\sigma_B(T, D) = \sigma_B^0(T) + \Delta\sigma_B(D) \text{ (МПа)},$$

$$\sigma_B^0(T) = 350 + 247 \exp(-6,6 \cdot 10^{-3}T) \text{ (МПа)},$$

$$\Delta\sigma_B(D) = 483\sqrt{1 - \exp(-0,11D)} \text{ (МПа)}.$$

Предел прочности металла сварного шва

$$\sigma_B(T, D) = \sigma_B^0(T) + \Delta\sigma_B(D) \text{ (МПа)},$$

$$\sigma_B^0(T) = 439 + 222 \exp(-9,74 \cdot 10^{-3}T) \text{ (МПа)},$$

$$\Delta\sigma_B(D) = 440\sqrt{1 - \exp(-0,25D)} \text{ (МПа)}.$$

Для нахождения стационарной температуры в стенке внутрикорпусной шахты решалась температурная задача с граничными условиями третьего рода. Температура теплоносителя и значения коэффициентов теплопередачи для различных поверхностей шахты приведены в табл. 2.

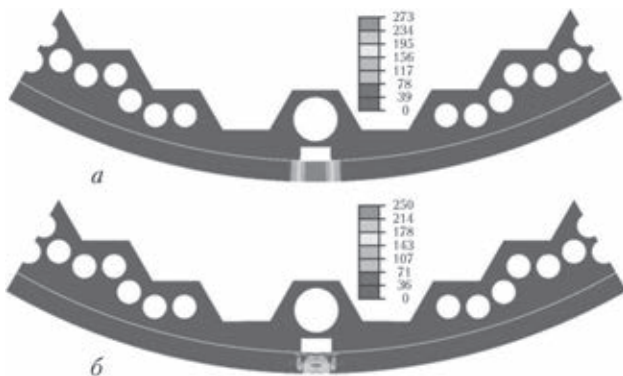


Рис. 3. Интенсивность напряжений (в МПа) в продольном сварном шве в шахте в исходном состоянии: а — упрощенная задача; б — смоделированные остаточные сварочные напряжения

Численный расчет объемных деформаций распухания проводили в соответствии с [4]. Эта математическая модель учитывает зависимость распухания от радиационной дозы, температуры, вида напряженного состояния, значений напряжений и радиационной ползучести. Ниже приведены основные соотношения и параметры этой модели:

$$\frac{d\varepsilon_{eq}^c}{dt} = \left(B_0 \frac{dD}{dt} + \omega \frac{dS}{dt} \right) \sigma_{eq}, d\varepsilon_{eq}^c > 0, \varepsilon_{eq}^c \Big|_{t=0} = 0,$$

$$\frac{dS}{dt} = C_D n D_i^{n-1} f_0(T) f_1(\sigma_m) f_3(\alpha) dD, dS > 0, S \Big|_{t=0} = 0;$$

$$f_0(T) = \exp(-r(T - T_{max})^2),$$

$$f_1(\sigma) = 1 + 8 \cdot 10^{-3} (0,85\sigma_m + 0,15\sigma_{eq}),$$

$$f_3(\alpha) = \exp(-\eta\alpha);$$

$$B_0 = 10^{-6} \text{ сна}^{-1}, \omega = 2,95 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}^{-1},$$

$$C_D = 1,035 \cdot 10^{-4} \text{ сна}^{-n}, n = 1,88,$$

$$r = 1,825 \cdot 10^{-4} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-2},$$

$$T_{max} = 470^\circ\text{C}, P = 4 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}^{-1}, \eta = 8,75,$$

где S — распухание; D — повреждающая доза; σ_m — средние напряжения; α — параметр Одквиста.

Поля остаточных сварочных напряжений в шахте получены расчетным методом с применением пакета WeldPredictions, разработанного сотрудниками ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. Проведено моделирование продольного многопроходного сварного соединения (шесть проходов) цилиндрической обечайки с внутренним диаметром $D_{вн} = 3490$ мм, толщиной $\delta = 60$ мм с разделкой $30^\circ_{вн}$ для следующего режима: $I = 200$ А, $U = 17$ В, $v_{св} = 3$ мм/с (погонная энергия $Q_{п} = 850$ Дж/мм, коэффициент эффективности 0,75). Краевую задачу определения кинетики напряженно-деформированного состояния решали в цилиндрической системе координат методом конечных элементов (размер элемента 1×1 мм) путем последовательного прослеживания



упругопластических деформаций от начала сварки первого прохода до остывания после шестого прохода с учетом условия текучести Мизеса. Результаты расчета полей остаточных напряжений приведены на рис. 2.

В данном исследовании рассмотрен вертикальный сварной шов, находящийся из-за консервативных предположений в области контакта выгородки и шахты (см. рис. 3).

Остаточные сварочные напряжения для упрощенных задач содержат лишь осевую компоненту. Напряжение в шахте падает от 270 до 0 МПа при удалении по окружной координате от центра большого канала выгородки (см. рис. 3, а).

Результаты и обсуждение. Поле объемных деформаций распухания выгородки после 60 лет эксплуатации реактора показано на рис. 4. Вследствие неравномерного распухания выгородка деформируется в радиальном направлении. Радиальные перемещения максимальны в районе большого канала. Эта же область воздействует на внутрикорпусную шахту при ее соприкосновении с выгородкой.

Распределение температуры по толщине стенки шахты в режиме нормальной эксплуатации (НЭ) реактора для задач 1–5 показано на рис. 5. Шахта разогревается за счет торможения тяжелых частиц в металле, внутренняя и наружная поверхности шахты охлаждаются водой, поэтому

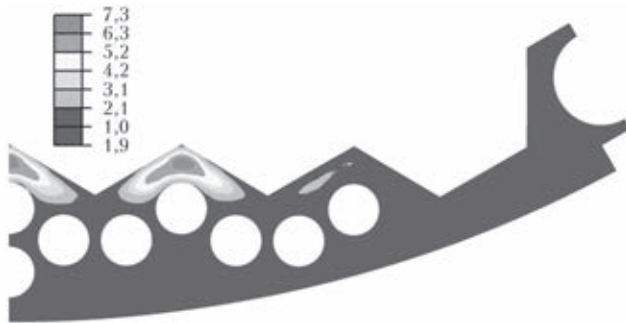


Рис. 4. Поле объемных деформаций распухания выгородки после 60 лет эксплуатации реактора. Расчет проведен с учетом радиационной ползучести [4]

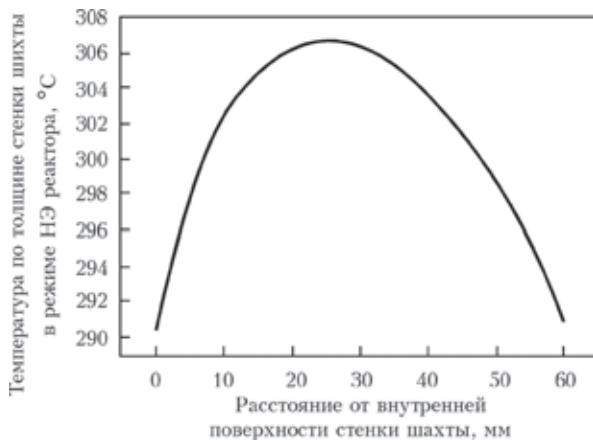


Рис. 5. Распределение температуры по толщине стенки шахты в режиме НЭ реактора

максимум температуры находится внутри стенки и составляет 306 °С. Температура на внутренней и внешней поверхностях примерно одинакова и равна 290 °С. Предел текучести материала сварного шва в шахте под действием радиационного облучения за 60 лет эксплуатации установился на уровне 850 (на внутренней поверхности) и 500 МПа (на внешней) и меняется линейно по толщине. Внутрикорпусная шахта имеет форму цилиндра, поэтому напряженно-деформированное состояние ВКУ рассмотрим в цилиндрической системе координат, ось которой сонаправлена с осью шахты.

1. *Свободная шахта: нагрев, облучение, охлаждение.* Неравномерный прогрев обуславливает возникновение напряжений в стенке шахты. Качественное перераспределение окружных и осевых напряжений похоже, поэтому приведем только осевые напряжения в течение эксплуатации (рис. 6). Радиальные напряжения примерно постоянны по толщине стенки и составляют 16 МПа, что обусловлено внутренним давлением в реакторе.

Так как температура на внутренней и внешней поверхностях стенки шахты ниже, чем во внутренней области, напряжения на поверхностях растягивающие (рис. 6, кривая 2), внутри стенки наблюдается сжатие. Радиационное облучение в процессе эксплуатации реактора вызывает распухание материала на внутренней поверхности стенки шахты (~0,01 %), что снижает растягивающие напряжения в этой области (рис. 6, кривые 3, 4). Из условия равновесия растягивающие напряжения на внешней поверхности незначительно увеличиваются. Остановка реактора в конце срока эксплуатации снимает температурные деформации, однако перераспределение напряжений, вызванных радиационным распуханием материала, остается (рис. 6, кривая 5).

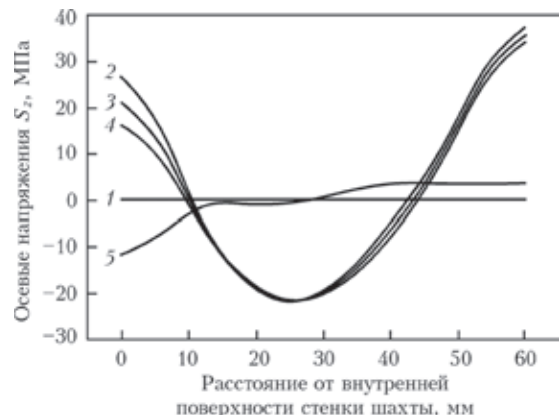


Рис. 6. Перераспределение осевых напряжений по толщине стенки шахты реактора в процессе эксплуатации: здесь и далее 1 — исходное состояние; 2 — выход на режим НЭ; 3, 4 — после 30 и 60 лет облучения соответственно; 5 — остановка реактора после 60 лет

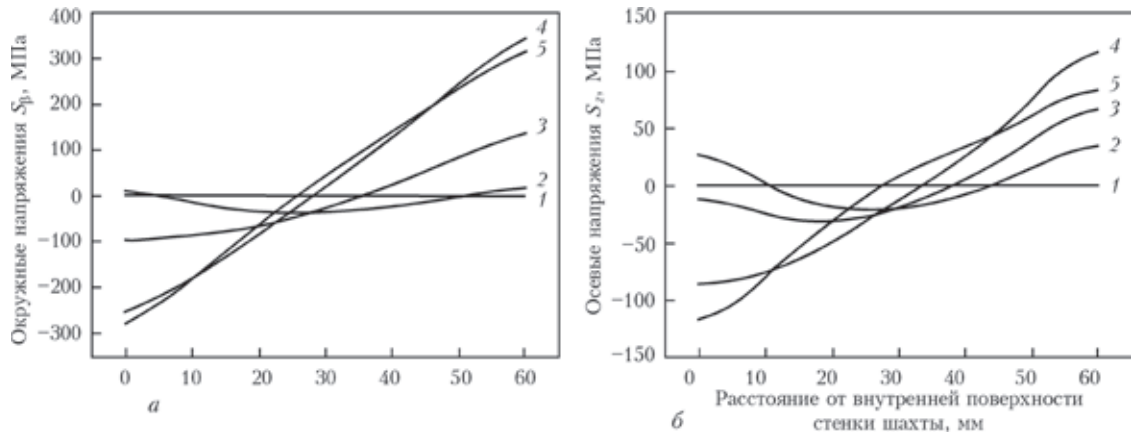


Рис. 7. Перераспределение окружных (а) и осевых (б) напряжений по толщине стенки шахты реактора в процессе эксплуатации с учетом контакта с выгородкой

Таким образом, радиационное распухание материала стенки шахты вызывает снижение напряжений на внутренней поверхности на 10 МПа, что из условия равновесия сопровождается их незначительным ростом на внешней поверхности стенки шахты. Температурные деформации в стенке шахты вызывают напряжения на уровне ± 30 МПа.

2. Контакт шахты с выгородкой: нагрев, облучение, охлаждение. Выгородка под действием радиационного облучения распухает, что приводит к ее формоизменению и контакту с шахтой на 25-м году эксплуатации (в «горячем» состоянии). На рис. 7 показано перераспределение окружных и осевых напряжений в шахте реактора в процессе эксплуатации с учетом контакта с выгородкой. Значения напряжений снимались по толщине стенки шахты в области соприкосновения с выгородкой. Кривые 3–5 на рис. 7 показывают, что давление выгородки на стенку шахты изнутри способствует возникновению сжимающих окружных и осевых напряжений на внутренней поверхности, а также росту растягивающих окружных и осевых напряжений на наружной поверхности шахты.

Давление выгородки на шахту не вызывает значительного роста радиальных напряжений. Сжимающие и растягивающие окружные напряжения

намного больше, чем соответствующие осевые, и после 60 лет эксплуатации реактора достигают -280 МПа (сжатие) на внутренней поверхности шахты и $+340$ МПа (растяжение) — на внешней. В то же время осевые напряжения на внутренней поверхности стенки шахты составляют -110 , на внешней — $+100$ МПа.

3. Упрощенное сварное соединение. Свободная шахта: нагрев, облучение, охлаждение. Чтобы понять, каким образом перераспределяются сжимающие и растягивающие остаточные сварочные напряжения в шахте в процессе эксплуатации реактора, были решены две задачи, в которых остаточные сварочные напряжения в упрощенных швах имели различные знаки. Перераспределение упрощенных остаточных сварочных напряжений в шахте реактора при эксплуатации показано на рис. 8. Снижение (релаксация) растягивающих осевых остаточных сварочных напряжений на рис. 8, а при эксплуатации реактора объясняется радиационным распуханием материала вблизи внутренней поверхности стенки шахты. По этой же причине сжимающие осевые остаточные сварочные напряжения растут по абсолютной величине (рис. 8, б). В этой задаче степень влияния деформаций распухания на напряжения значительно

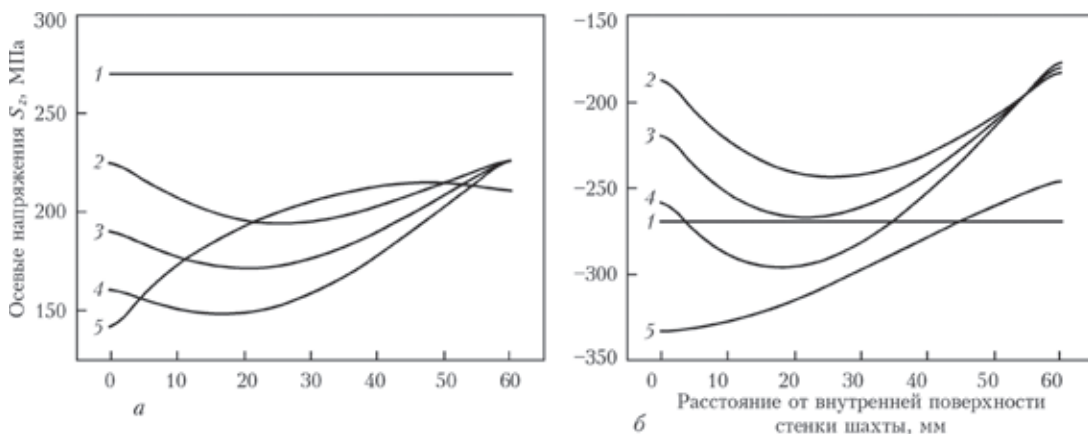


Рис. 8. Перераспределение упрощенных остаточных сварочных напряжений по толщине стенки шахты реактора в процессе эксплуатации: а — растягивающие; б — сжимающие осевые напряжения

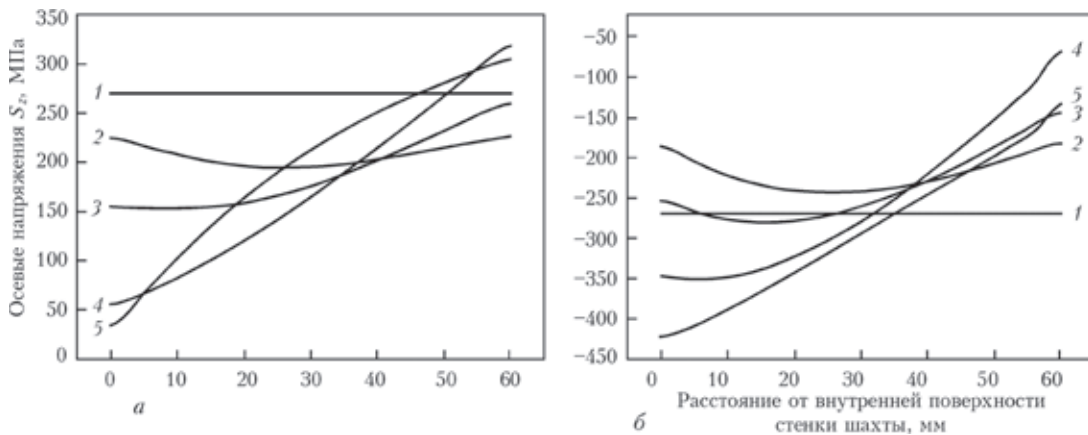


Рис. 9. Перераспределение упрощенных остаточных сварочных напряжений по толщине стенки шахты реактора в процессе эксплуатации с учетом давления выгорodka: *a* — растягивающие; *б* — сжимающие осевые напряжения

выше, чем в случае отсутствия сварного соединения в стенке шахты (задача № 1). Это объясняется зависимостью распухания от напряженного состояния. За 60 лет в стенке шахты растягивающие осевые напряжения снизились на 125 МПа на внутренней и на 60 МПа на внешней поверхности. В то же время сжимающие осевые напряжения выросли на 85 МПа на внутренней поверхности и уменьшились на 20 МПа на внешней поверхности шахты.

4. Упрощенное сварное соединение. Контакт шахты с выгорodka: нагрев, облучение, охлаждение. Как и в задаче № 3, рассмотрим перераспределение растягивающих (рис. 9, *a*) и сжимающих (рис. 9, *б*) упрощенных остаточных сварочных напряжений в шахте при эксплуатации реактора. В этой задаче учитываем контактное взаимодействие внутрикорпусной шахты с выгорodka. Фактически данная задача является суперпозицией задач № 2, 3 и изменение напряженного состояния можно оценить исходя из их решения. На внутренней поверхности растягивающие осевые напряжения (рис. 9, *a*) снижаются в результате радиационного распухания и давления выгорodka на $125 + 110 = 235$ МПа, на внешней поверхности шахты растут на $-60 + 100 = 40$ МПа. На

внутренней поверхности сжимающие осевые напряжения (рис. 9, *б*) увеличиваются из-за радиационного распухания и давления выгорodka на $85 + 110 = 195$ МПа, на внешней поверхности шахты снижаются на $20 + 100 = 120$ МПа.

5. Контакт с выгорodka: нагрев, облучение, охлаждение. Картина напряжений в сварном шве. Перераспределение смоделированных остаточных сварочных окружных и осевых напряжений в шахте реактора в процессе эксплуатации показано на рис. 10. Учтен контакт с выгорodka. После 60 лет эксплуатации реактора максимальные напряжения в сварном шве внутрикорпусной шахты — окружные и осевые, что обусловлено давлением выгорodka. Их распределения приведены на рис. 11.

Как и в задачах № 2 и 4, давление выгорodka на шахту способствует росту сжимающих окружных и осевых напряжений на внутренней поверхности шахты и растягивающих окружных и осевых напряжений — на внешней поверхности (рис. 10).

Окружные напряжения в зоне сварного шва достигают значений (440 МПа, рис. 11, *a*), близких к пределу текучести облученного материала стенки шахты.

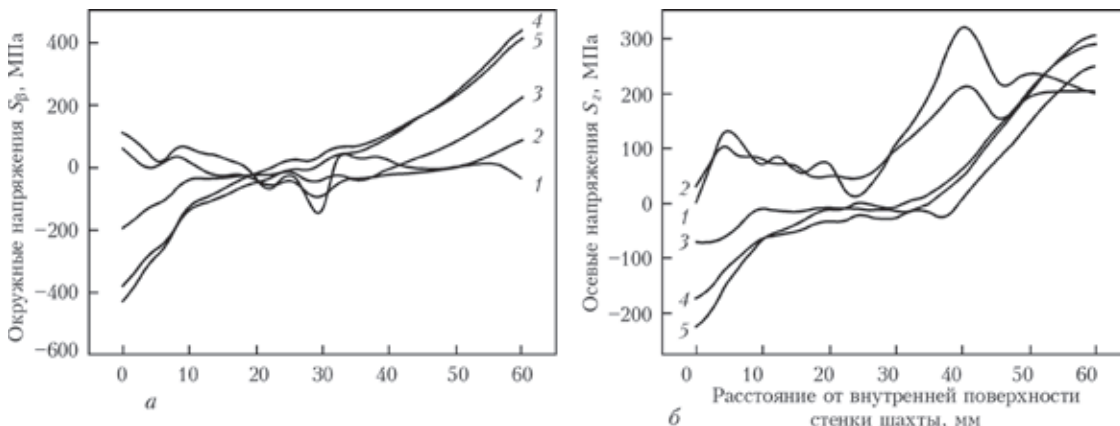


Рис. 10. Перераспределение окружных (*a*) и осевых (*б*) напряжений в зоне упрощенного сварного шва внутрикорпусной шахты реактора в процессе эксплуатации с учетом контакта с выгорodka

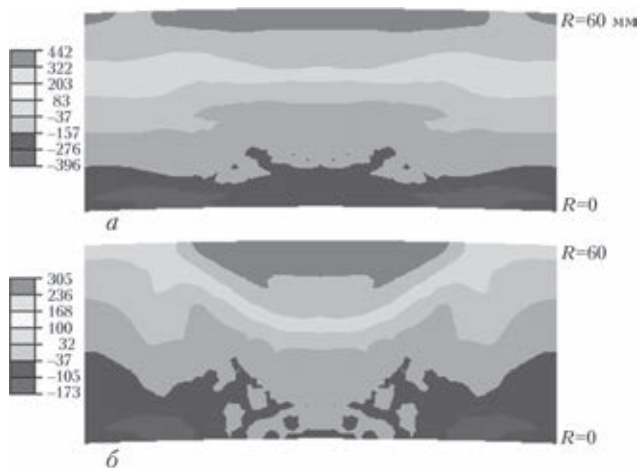


Рис. 11. Распределение окружных (а) и осевых (б) напряжений (в МПа) в зоне сварного шва внутрикорпусной шахты реактора в конце продленного срока эксплуатации (60 лет) с учетом контакта с выгородкой

Выводы

1. При выходе на режим НЭ реактора в результате температурных деформаций в стенке шахты возникают напряжения на уровне ± 30 МПа.
2. Радиационное распухание без учета остаточных сварочных напряжений за 60 лет эксплуатации вызывает изменение напряжений в пределах ± 10 МПа.
3. В зоне сварных соединений стенки шахты перераспределение напряжений за счет радиационного распухания зависит от уровня остаточных сварочных напряжений. Снижение остаточных

растягивающих напряжений может достигать 125 МПа.

4. Наибольший вклад в напряженное состояние стенки внутрикорпусной шахты за 60 лет эксплуатации может вносить контактное взаимодействие шахты с выгородкой (до 340 МПа).

5. Окружные напряжения в зоне сварных швов внутрикорпусной шахты в конце продленного срока эксплуатации (60 лет) с учетом остаточных сварочных напряжений и контакта с выгородкой могут достигать высоких значений (440 МПа), близких к пределу текучести облученного материала.

6. Остаточные сварочные напряжения могут существенно влиять на уровень напряженного состояния стенки шахты, что необходимо учитывать при оценке работоспособности ВКУ при продлении срока эксплуатации реактора ВВЭР-1000.

1. Махненко О. В., Мирзов И. В. Исследование напряженно-деформированного состояния сварных конструкций из аустенитной стали в условиях радиационного облучения // Автомат. сварка. – 2013. – № 1. – С. 7–12.
2. Сварные конструкции из аустенитной стали типа 10X18H10T в условиях радиационного распухания / В. И. Махненко, О. В. Махненко, С. С. Козлитина и др. // Там же. – 2012. – № 2. – С. 7–12.
3. Влияние нейтронного облучения на механические свойства материалов внутрикорпусных устройств реакторов типа ВВЭР / А. А. Сорокин, Б. З. Марголин, И. П. Куревич и др. // Вопр. материаловедения. – 2011. – № 2. – С. 131–151.
4. Марголин Б. З., Мурашова А. И., Неустроев В. С. Анализ влияния вида напряженного состояния на радиационное распухание и радиационную ползучесть аустенитных сталей // Пробл. прочности. – 2012. – № 3. – С. 5–24.

Поступила в редакцию 13.02.2014

15-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕМИНАР «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ»

23–27 февраля 2015

г. Свалява, Карпаты, Украина

Организатор: Всеукраинская общественная организация
Ассоциация технологов-машиностроителей Украины

Тематика семинара

- Современные тенденции развития технологии машиностроения
- Подготовка производства как основа создания конкурентоспособной продукции
- Совершенствование технологий механической и физико-технической обработки в машино- и приборостроении
- Упрочняющие технологии и покрытия
- Современные технологии и оборудование в сборочном и сварочном производстве
- Ремонт и восстановление деталей машин в промышленности и на транспорте, оборудование для изготовления, ремонта и восстановления
- Технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами изделий

04074, г. Киев, ул. Автозаводская, 2. АТМ Украины
Тел./факс +38044 430 85 00, www.atmu.net.ua, www.atmu.org.ua
E-mail: atmu@ism.kiev.ua, kopeykina@voliacable.com