

Плоская деформация элементов цилиндрических конструкций под действием физических полей

Б. М. Языев, С. В. Литвинов, Ю. Ф. Козельский

Под воздействием внешних полей, таких как радиационное излучение, тепловое воздействие и т.д., физико-механические характеристики материала тела могут изменяться.

Исследованию влияния температурных и радиационных полей по отдельности на изменение модуля упругости материала, посвящены работы [1-10]. Однако практически нет работ, где вышеуказанные воздействия рассматривались бы одновременно [11].

В данной статье рассматривается влияние радиационного излучения и температурного поля на изменение модуля упругости материала как по отдельности, так и совместно. Изменение физико-механических параметров приводит так же к перераспределению напряжённо-деформированного состояния всего цилиндрического тела. В дальнейшем рассматривается бетонное цилиндрическое тело в плоской осесимметричной постановке (плоское деформированное состояние).

Основные выкладки приводятся в [11], ограничимся только главными моментами.

Дифференциальное уравнение, описывающее распределение радиальных напряжений вдоль радиуса цилиндра:

$$\frac{d^2\sigma_r}{dr^2} + \phi(r)\frac{d\sigma_r}{dr} + \psi(r)\sigma_r = f(r), \quad (1)$$

Как было сказано выше, модуль Юнга зависит от температурной и радиационной нагрузок, т.е. $E = E(T, \Phi)$. Изменение модуля Юнга в результате температурного и радиационного воздействий определяется по формуле:

$$E = E_0 k_1 k_2,$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, соответствующие изменению модуля Юнга в выражениях (2) и (3).

Зависимость модуля Юнга от температуры может быть аппроксимирована полиномом:

$$E(T) = E_0 \beta(T) = E_0 \sum_n^N \beta_n T^n, \quad (2)$$

а от флюенса нейтронов описывается уравнением:

$$E = E_0 [\gamma_1 - \alpha_1 \lg(\beta_1 \Phi)]. \quad (3)$$

Распределение температуры по толщине цилиндра описывается уравнением теплопроводности Фурье:

$$\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = 0, \quad (4)$$

Распределение флюенса нейтронов Φ вдоль стенки цилиндра определяется уравнением Пуассона:

$$\frac{d^2 \Phi}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\Phi}{dr} - \frac{\Phi}{L^2} = 0. \quad (5)$$

В результате воздействия температурного и радиационного полей, в толще тела возникают вынужденные деформации, которые складываются из температурных, в результате расширения-сжатия тела, и радиационных:

$$\varepsilon_B = \varepsilon_T + \varepsilon_\Phi.$$

Здесь: ε_B – вынужденная деформация; $\varepsilon_T = \alpha \Delta T$ – температурная деформация; ε_Φ – деформация в результате радиационного воздействия; α – коэффициент линейного расширения материала цилиндра.

Зависимость радиационных деформаций от дозы облучения для разных описывается эмпирической формулой:

$$\varepsilon_\Phi = \frac{\alpha \varepsilon_{\max} [\exp(\beta \Phi - 1)]}{\varepsilon_{\max} + \alpha \exp(\beta \Phi)}.$$

Решена задача со следующими параметрами: $r_a=3.3$ м; $r_b=3.8$ м; $T_a=300^\circ\text{C}$; $T_b=0^\circ\text{C}$, $E_0=2 \cdot 10^4$ МПа; $L=0.16$ м; $\alpha=1$; $\beta=3 \cdot 10^{-24}$ м²/нейтр.; ν

$\varepsilon_{\max}=0.16$; $\varepsilon_{\max}=0.01$; $\alpha_1=0.7$; $\beta_1=10^{-24}$ м²/нейтр.; $\gamma_1=0.8$. Для решения задачи был использован метод конечных разностей (МКР).

На рис. 1 представлено распределение температура в толще цилиндра в соответствии с (4). В следствие малости толщины цилиндра график выглядит прямолинейным.

На рис. 2 показано распределение потока флюенса нейтронов в толще цилиндра в соответствии с (5). В результате сильного ослабления потока материалов, хорошо прослеживается спад излучения с толщиной.

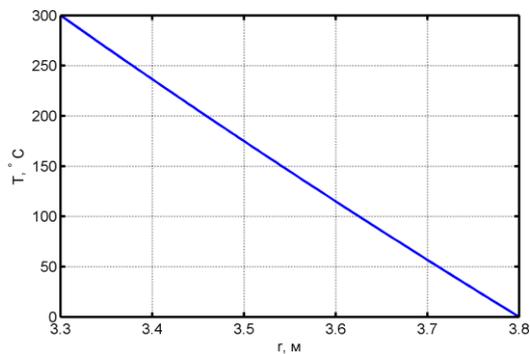


Рис. 1. Распределение температуры в толще цилиндра

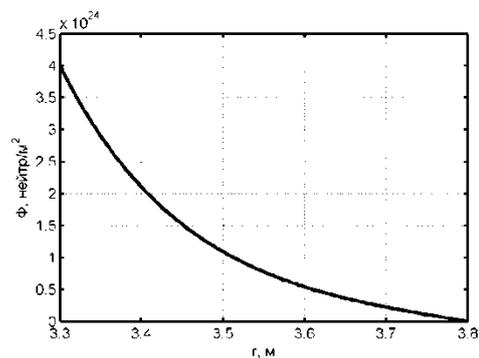


Рис. 2. Распределение потока флюенса нейтронов в толще цилиндра

На рис. 3 показано изменение модуля упругости материала тела. Как отмечается в работах [1, 6], изменение физико-механических параметров происходит от радиационного излучения происходит только при достижении потоком флюенса нейтронов определенного «критического» значения. Это хорошо видно на графике при $r \approx 3.6$ м. График распределения модуля упругости от температуры при этом очень прямолинеен.

На рис. 4 представлены составляющие вынужденных деформаций в теле: температурной и радиационной. Как видно из графика, радиационная составляющая преобладает только на внутренней поверхности тела; температурная – равномерно распределяется по всей толщине.

На рис. 5 и 6 представлены графики распределения напряжений: радиального и окружного. Из анализа графиков следует, что распределение напряжений в толще цилиндра не является суммой напряжений отдельных составляющих. Таким образом, для определения напряженно-

деформированного состояния цилиндрического тела, необходимо учитывать совместное влияние и температурного поля, и радиационного излучения.

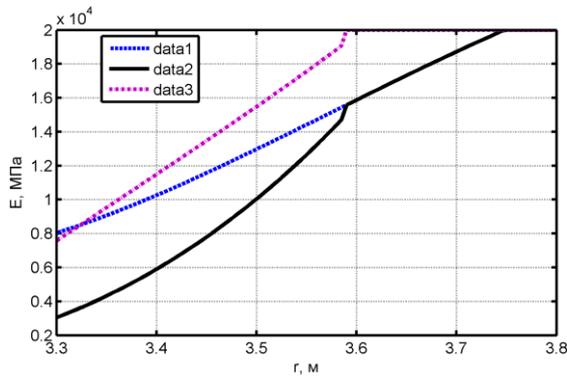


Рис. 3. Изменение модуля упругости в материале тела

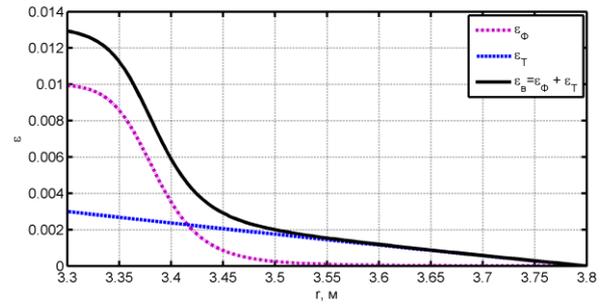


Рис. 4. Развитие вынужденных деформаций в толще тела

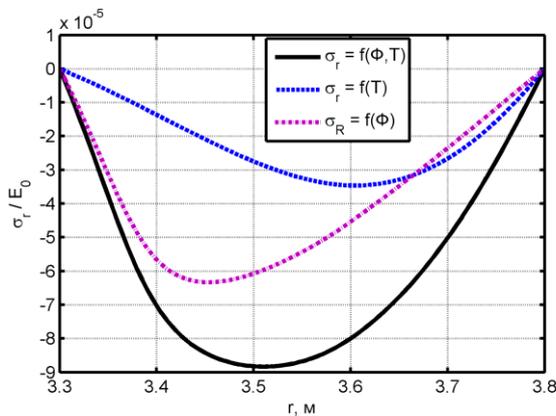


Рис. 5. Изменение радиальных напряжений в толще цилиндра

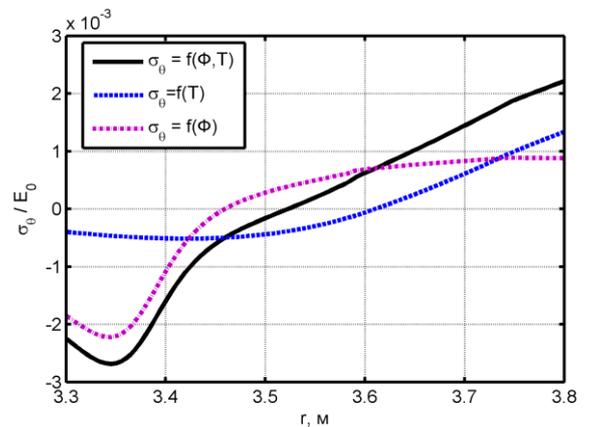


Рис. 6. Изменение окружных напряжений в толще цилиндра

Литература:

1. Андреев В.И. Некоторые задачи и методы механики неоднородных тел: Монография – М.: Издательство АСВ, 2002. – 288 стр.
2. Андреев В.И., Дубровский А.В. Учёт неоднородности материала при расчете сухой защиты реактора // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Проектирование и строительство. – М., 1982. – Вып. 3(13). – С. 3-8.
3. Андреев В.И., Смоллов А.В. К вопросу расчета двухслойных корпусов высокого давления с учетом неоднородности материала // Сопротивление материалов и теория сооружений. – Киев: Будивельник, 1985, - Вып. 47. – С. 48- 52.

4. Смолов А.В. Напряжённо-деформированное состояние неоднородных упругих цилиндров под действием силовых и температурных нагрузок. Дисс. ... канд. техн. наук. – М.: 1987. – 161 с.

5. Возведение специальных защитных конструкций АЭС / Б.К. Пергаменщик, В.И. Теличенко. Р.Р. Темишев; под общ.ред. д.т.н., проф. В.И. Теличенко – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 240 [2] с.: ил.

6. Строительство атомных электростанций: Учебник для вузов / В.Б. Дубровский, А.П. Кириллов, В.С. Конвиз и др.; Под ред. В.Б. Дубровского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.: ил.

7. СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 54 с.

8. Zhenhai Guo, Xudong Shi. Experiment and Calculation of Reinforced Concrete at Elevated Temperatures [English]. Publisher: Butterworth-Heinemann. у.2011. 226 p.

9. Bin Yang, Jinhua Huang, Chunjiao Lin, Xinkun Wen. Temperature Effects and Calculation Method of Closure Temperatures for Concrete-filled Steel Tube Arch Rib of Dumbbell-shape Section [Электронный ресурс] // «The Open Civil Engineering Journal», 2011, №5, p. 179-189. – Режим доступа: <http://www.benthamscience.com/open/tociej/articles/V005/179TOCIEJ.pdf> – Яз. англ.

10. Языев С.Б., Языев Б.М., Литвинов С.В. Реология соляного массива со сферической полостью [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1322> (доступ свободный). – Яз. рус.

11. Литвинов С.В., Козельский Ю.Ф., Языев Б.М. Расчёт цилиндрических тел при воздействии теплового и радиационного нагружений [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №3.

– Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/954> (доступ свободный). – Яз. рус.