DOI:10.22337/2587-9618-2017-13-4-53-57

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИОННЫХ СРЕД И НАГРУЗОК НА АРМИРОВАННЫЕ ПЛАСТИНЧАТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ

Р.Б. Гарибов

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал «Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Балаково, РОССИЯ

Аннотация: В статье рассматривается модель деформирования прямоугольной фибробетонной пластины под воздействием радиационных сред. При расчете пластины рассматривались различные схемы воздействия приложенной внешней нагрузки и радиационной среды.

Ключевые слова: фибробетон, прогиб пластины, внешней нагрузки, фиктивная радиационная нагрузка, неоднородная среда, армированные конструкции

ABOUT INFLUENCE OF DIFFERENT SCHEMES IMPACT RADIATION ENVIRONMENTS AND LOADS ON REINFORCED LAMELLAR STRUCTURAL MEMBERS

Rafail B. Garibov

Balakovo engineering and technological Institute – branch of “National Research Nuclear University “MEPhI”, Balakovo, RUSSIA

Abstract: The article discusses the model of deformation of fiber-reinforced concrete rectangular plate under the influence of radiation environments. In the calculation of the plate was considered different schemes impact of the applied external loads and radiation environments.

Keywords: the fiber-reinforced concrete, the deflection of the plate, external loads, dummy load, radiation, heterogeneous environment, reinforced design

Экспериментальному изучению влияние радиационных полей на металлические, бетонные, полимербетонные, фибробетонные и железобетонные конструкции посвящено определенное количество научных трудов. Однако теоретических исследований, посвященных математическому моделированию поведения этих армированные пластинчатые элементы конструкций в условиях воздействия радиационных сред, недостаточно. Конструктивные элементы, работающие в условиях радиационного влияния выполняются из дисперсно или дискретно армированного бетона в форме либо цилиндрических, либо прямоугольных емкостей. В связи с этим проблема расчета армированных кон-

струкций с учетом воздействия радиационных сред является актуальной [1,2].

В статье рассматривается модель деформирования прямоугольной фибробетонной пластины под воздействием радиационных сред. При расчёте пластины рассматривались различные схемы воздействия приложенной внешней нагрузки и радиационной среды. При построении модели использован феноменологический подход, основывающийся на рассмотрении фибробетона и железобетона как неоднородной среды с использованием традиционной методологии механики твердых деформируемых тел, в данном случае структурных параметров [3].

Разрешающее дифференциальное уравнение изгиба пластины с учётом радиационного облучения:

$$L(W) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(D_1 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(D_2 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(D_6 \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \right) + \frac{\partial^2}{\partial y} \left(D_2 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left(D_1 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) = p(x, y) + q(x, y), \quad (1)$$

где W – прогиб пластины, x, y – координаты в плане, $p(x, y)$ – интенсивность внешней нагрузки, $q(x, y)$ – фиктивная радиационная нагрузка (радиационная «добавка»);

$$q = \frac{\partial^2 \Delta M^*}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \Delta H^*}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \Delta M^*}{\partial y^2}; \quad (2)$$

$D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ – переменные жёсткости, определяющиеся из выражений:

$$\begin{aligned} D_1 &= f_1 J_1^{\phi\phi} + f_2 I_1^{\phi\phi} + J_2^{\phi\phi}; \\ D_2 &= f_2 J_1^{\phi\phi} + f_1 I_1^{\phi\phi} + I_2^{\phi\phi}; \\ D_3 &= f_3 J_1^{\phi\phi} + f_3 I_1^{\phi\phi}; \\ D_4 &= f_4 J_1^{\phi\phi} - f_5 I_1^{\phi\phi}; \\ D_5 &= f_4 I_1^{\phi\phi} - f_5 J_1^{\phi\phi}; \\ D_6 &= 2T_2^{\phi\phi} - 2 \frac{(T_1^{\phi\phi})^2}{T_0^{\phi\phi}}. \end{aligned} \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{I_0^{\phi\phi} I_1^{\phi\phi} - J_0^{\phi\phi} J_1^{\phi\phi}}{(J_0^{\phi\phi})^2 - (I_0^{\phi\phi})^2}; \quad f_2 = \frac{I_0^{\phi\phi} J_1^{\phi\phi} - J_0^{\phi\phi} I_1^{\phi\phi}}{(J_0^{\phi\phi})^2 - (I_0^{\phi\phi})^2}; \\ f_3 &= \frac{I_0^{\phi\phi} J_0^{\phi\phi} - J_0^{\phi\phi} J_1^{\phi\phi}}{(J_0^{\phi\phi})^2 - (I_0^{\phi\phi})^2}; \quad f_4 = \frac{J_0^{\phi\phi}}{(J_0^{\phi\phi})^2 - (I_0^{\phi\phi})^2}; \\ f_5 &= \frac{I_0^{\phi\phi}}{(J_0^{\phi\phi})^2 - (I_0^{\phi\phi})^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Жёсткости, входящие в эти выражения, определяются формулами:

$$J_k^{\phi\phi} = \int_{-h/2}^{z_0} \alpha_j z^k \partial z + \int_{z_0}^{h/2} \alpha_i z^k \partial z$$

при $k = 0, 1, 2$;

$$I_k^{\phi\phi} = \int_{-h/2}^{z_0} \alpha_j \nu_j z^k \partial z + \int_{z_0}^{h/2} \alpha_i \nu_i z^k \partial z \quad (5)$$

при $k = 0, 1, 2$;

$$T_k^{\phi\phi} = \int_{-h/2}^{z_0} \beta_j z^k \partial z + \int_{z_0}^{h/2} \beta_i z^k \partial z$$

при $k = 0, 1, 2$.

$$z_0 = -\frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{\chi_x + \chi_y} + \frac{2(1 - \nu_{cp}^2) \cdot \varepsilon_{\phi}^{\phi\phi}}{\chi_x + \chi_y}, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \alpha_j &= \frac{\Psi_j}{1 - \nu_j^2}; \quad \alpha_i = \frac{\Psi_i}{1 - \nu_i^2}; \\ \beta_j &= \frac{\Psi_j}{2(1 + \nu_j)}; \quad \beta_i = \frac{\Psi_i}{2(1 + \nu_i)}; \\ \nu_{cp} &= (\nu_j + \nu_i) / 2. \end{aligned} \quad (7)$$

где z_0 – уравнение нейтральной поверхности, отделяющей растянутую зону пластины от сжатой; i, j – индексы, характеризующие сжатую и растянутую зоны пластины. При растянутой нижней зоне изгибаемой пластины $j = 1, i = 2$; при растянутой верхней зоне и сжатой нижней $j = 2, i = 1$; h – толщина пластины.

Зависимость, характеризующая распределение дозы облучения флюенса по толщине конструкции (элемента):

$$\psi_j^{\phi\phi} = \begin{cases} (A_j - B_j e_u^2), & \Phi < \Phi_{1nop} \\ (A_j - B_j e_u^2) \cdot f(\Phi), & \Phi \geq \Phi_{1nop} \end{cases}$$

К вопросу влияния различных схем воздействия радиационных сред и нагрузок на армированные пластинчатые элементы конструкций

$$e_u = \frac{\sqrt{2}}{2(1 + \nu_j^{\phi\delta}(e_u, \Phi))} \cdot \sqrt{(e_x - e_y)^2 + e_x^2 + e_y^2 + \frac{2}{3}(e_{xy}^2)}; \quad (8)$$

где

$$f(\Phi) = 1 - \alpha_1 \lg(\beta_1 \cdot \Phi); \quad (9)$$

$$\begin{aligned} e_x &= \varepsilon_x + \chi_x z; & e_y &= \varepsilon_y + \chi_y z; \\ e_{xy} &= \varepsilon_{xy} + 2\chi_{xy} z. \end{aligned} \quad (10)$$

Зависимость, описывающая изменение радиационного распухания:

$$\varepsilon_{\Phi}^{\phi\delta} = \begin{cases} 0, & \Phi < \Phi_{2nor} \\ \delta \cdot \frac{\varepsilon_{\max} [\exp(\nu \cdot (\Phi - \Phi_{2nor})) - 1]}{[\varepsilon_{\max} + \delta \exp(\nu \cdot (\Phi - \Phi_{2nor}))]}, & \Phi \geq \Phi_{2nor} \end{cases} \quad (11)$$

где $\varepsilon_{\max}$ – данного состава максимальное значение радиационных деформаций для бетона; ε_{Φ} – радиационные деформации бетона или радиационное распухание (объемное изменение); δ , ν – эмпирические коэффициенты, зависящие от радиационной деформативности заполнителя и энергетического спектра потока нейтронов; Φ – доза облучения или (флюенс); Φ_{1nor} , Φ_{2nor} – пороговые дозы облучения, по достижению которых начинается изменение механических характеристик и появляется распухание; ε_x , ε_y , ε_{xy} – деформация точек срединной поверхности; χ_x , χ_y , χ_{xy} – кривизны в этих точках; z – координаты рассматриваемых точек, отсчитываемые от срединной поверхности; ν_j – коэффициент поперечной деформации; e_u – интенсивность деформаций точки.

Разработаны методика и программный комплекс, реализованный на базе *Matlab*, позволяющие исследовать данного состава НДС фибробетонной пластины и выполнить её расчёт при совместном действии нагрузки и радиационного облучения при различных схемах и сроках воздействия радиации и внешней приложенной нагрузки. Ниже (таблицы 1, 2) приведены результаты расчёта

фибробетонной пластины при разных схемах воздействия радиации и приложенной нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Андреев В.И.** Некоторые задачи и методы механики неоднородных тел. – М.: АСВ, 2002. – 286 с.
2. **Дубровский В.Б.** Радиационная стойкость строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1977. – 240 с.
3. **Гарибов Р.Б.** Сопротивление железобетонных элементов конструкций воздействиям агрессивных сред. – Саратов: СГТУ, 2003. – 228 с.
4. **Гарибов Р.Б., Овчинников И.Г.** Деформирование армированных пластинчатых элементов конструкций, подвергающихся радиационному облучению // Труды XXI международной конференции по теории оболочек и пластин. Саратов 14 – 16 ноября 2005 г. Саратов. СГТУ. 2005. с. 64 – 74
5. **Гарибов Р.Б., Матора А.В.** Моделирование поведения армированных элементов конструкций с учетом влияния радиационного облучения. // Вестник Самарского гос. Техн. Ун-та. Серия Физ-мат науки, №38, 2005, с. 35-41.
6. **Кабанин В.В., Гарибов Р.Б.** Прочность и долговечность толстостенной цилиндрической оболочки в условиях радиационного облучения // Оценка риска и безопасность строительных конструкций. Первая международная научно-практическая конференция. Воронеж, 2006.
7. **Матора А.В.** Модель поведения толстостенного цилиндрического сосуда (оболочки резервуара) в условиях радиационного воздействия // Новые ормационные технологии в решении проблем производства, коммунального хозяйства, экологии, образования, управления и права / Сб. статей II Российско-Украинского симпозиума. – Пенза, 2002.

Таблица 1. Результаты расчета пластины при однонаправленном действии нагрузки и радиационного облучения.

Схема воздействия внешних факторов
Момент времени, лет	Максимальный прогиб, $\times 10^{-3}$ м	Максимум относительной деформации	Смещение нейтральной поверхности на краю $\times 10^{-3}$ м	Смещение нейтральной поверхности в центре, $\times 10^{-3}$ м	Секущий модуль в зоне растяжения, $\times 10^3$ МПа	Секущий модуль в зоне сжатия, $\times 10^3$ МПа
0	0,579	0,848	2,827	-1,739	23,52	36,18
1	0,578	0,848	2,645	-1,909	23,55	36,18
3	0,575	0,843	2,489	-2,087	23,63	36,19
6	0,618	0,912	4,080	-0,585	18,26	36,17
10	0,710	1,040	5,318	-0,330	13,65	31,94
15	0,811	1,196	6,820	-0,080	9,973	28,07
21	0,923	1,391	8,554	0,202	7,291	24,86
30	1,089	1,686	10,99	0,587	4,890	21,45

Таблица 2. Результаты расчета пластины при разнонаправленном действии нагрузки и радиационного облучения.

Схема воздействия внешних факторов
Момент времени, лет	Максимальный прогиб, $\times 10^{-3}$ м	Максимум относительной деформации	Смещение нейтральной поверхности на краю $\times 10^{-3}$ м	Смещение нейтральной поверхности в центре, $\times 10^{-3}$ м	Секущий модуль в зоне растяжения, $\times 10^3$ МПа	Секущий модуль в зоне сжатия, $\times 10^3$ МПа
0	0,578	0,848	2,827	-1,739	23,32	36,18
1	0,578	0,849	2,985	-1,523	23,32	36,18
3	0,575	0,847	3,135	-1,355	23,36	36,18
6	0,623	0,886	1,867	-2,573	22,64	29,71
10	0,716	0,995	2,053	-3,321	18,17	24,85
15	0,818	1,121	2,396	-4,049	14,21	20,99
21	0,934	1,284	2,992	-4,732	11,01	17,78
30	1,108	1,534	3,989	-5,611	7,984	14,37

REFERENCES

1. **Andreev V.I.** Nekotorye Zzadachi Metody Mehaniki Neodnorodnyh Tel [Some Problems and Methods of Mechanics of Inhomogeneous Bodies]. Moscow, ASV, 2002, 286 pages.
2. **Dubrovsky V.B.** Radiacionnaja Stojkost' Stroitel'nyh Materialov [Radiation Resistance of Construction Materials]. Moscow, Stroyizdat, 1977, 240 pages.
3. **Garibov R.B.** Soprotivlenie Zhelezobetonnym Jelementov Konstrukcij Vozdejstvijam Agressivnyh Sred [Resistance of Reinforced Concrete Structural Members to the Effects of Aggressive Media]. Saratov, SGTU, 2003, 228 pages.
4. **Garibov R.B., Ovchinnikov I.G.** Deformirovanie Armirovannyh Plastinchatyh Jelementov Konstrukcij, Podvergajushihhsja Radiacionnomu Oblucheniju [Deformation of Reinforced Plate Structural Members Subjected to Radiation Irradiation]. // Proceedings of the 21st International Conference on the theory of shells and plates, 14-16 November, 2005, Saratov, SGTU, 2005, pp. 64-74/
5. **Garibov R.B., Matora A.V.** Modelirovanie Povedenija Armirovannyh Jelementov Konstrukcij s Uchetom Vlijanija Radiacionnogo Obluchenija [Modeling the Behavior of Reinforced Structural Members Taking into Account the Effect of Radiation Exposure]. // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo technicheskogo universiteta, Sriya Fiziko-Matematicheskie Nauki, No. 38, 2005, pp. 35-41.
6. **Kabanin V.V., Garibov R.B.** Prochnost' i Dolgovechnost' Tolstostennoj Cilindricheskoj Obolochki v Uslovijah Radiacionnogo Obluchenija [Strength and Durability of a Thick-Walled Cylindrical Shell Under Conditions of Radiation Exposure]. // The First International scientific and practical Conference "Risk Assessment and Safety of Building Structures", Voronezh. 2006.
7. **Matora A.V.** Model' Povedenija Tolstostenno Cilindricheskogo Sosuda (Obolochki Rezervuara) v Uslovijah Radiacionnogo Vozdejstvija [Model Behavior of a Thick-Walled Cylindrical Vessel (Shell of a Reservoir) under Conditions of Radiation Exposure]]. // Proceeding of the Second Russian – Ukrainian Symposium, Penza, 2002.

Гарибов Рафаил Башир Оглы, советник РААСН, профессор, доктор технических наук; и.о. заведующего кафедрой «Промышленное и гражданское строительство», Балаковский инженерно-технологический институт – филиал «Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»; 413853, Россия, Саратовская область, г. Балаково, ул. Чапаева, 140; тел. +7(8453)23-18-94; e-mail: garibovr@mail.ru.

Rafail B. Garibov, Professor, Dr.Sc.; Acting Head of Department of Industrial and Civil Construction, Balakovo engineering and technological Institute – branch of "National Research Nuclear University "MEPhI"; 140, ul. Chapayeva, Balakovo, Saratovskaya Oblast, 413853, Russia; phone +7(8453)23-18-94; e-mail: garibovr@mail.ru.