

**Проектирование и строительство энергоблоков АЭС**

УДК 624.04

**О МОДЕЛИРОВАНИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНО  
АРМИРОВАННОЙ ОБОЛОЧКИ В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОГО  
ОБЛУЧЕНИЯ****Р.Б. Гарибов***Балаковский инженерно-технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ, Балаково, Саратовская обл.*

Рассматривается задача моделирования поведения армированной бетонной цилиндрической оболочки, подвергающейся радиационному воздействию. Объем рассчитываемой оболочки покрывается дискретной сеткой узлов, в каждом из которых находятся напряжения и деформации и для каждого решается уравнение накопления повреждений.

*Ключевые слова:* армобетонная цилиндрическая оболочки, радиационное облучение, доза облучения, радиационное распухание.

Получены разрешающие уравнения для оболочки, учитывающие совместное действие нагрузки и радиационного облучения. Считается, что механические характеристики бетона и арматуры зависят от дозы облучения. Учитывается также неодинаковая работа бетона на растяжение и сжатие. При выводе используется прием замены дискретного армирования в каждом направлении эквивалентными слоями. Для решения полученных уравнений предложено использовать шаговую по времени методику с нахождением на каждом шаге закона распределения дозы облучения по телу оболочки, деформации распухания, а по ним законов распределения механических характеристик бетона и арматуры с учетом влияния облучения и характера напряженного состояния.

Для построения модели рассмотрен алгоритм, состоящий из четырех шагов.

1) выбор параметров, характеризующих процессы деформирования, разрушения, и внешние воздействия; построение уравнений состояния и кинетических уравнений для этих параметров;

2) рассматриваются эксперименты для проведения идентификации построенных моделей;

3) формулируется краевая задача для рассчитываемой конструкции с учетом внешних воздействий;

4) проводятся численные эксперименты и исследуется поведение конструкции при различных воздействиях. На основе этого подхода построены разрешающие уравнения для оболочки, учитывающие совместное действие нагрузки и радиационного облучения.

При этом дополнительно к параметрам – напряжениям, деформациям, температуре, времени вводятся параметр поврежденности, параметр радиационного распухания и доза облучения. Считается, что механические характеристики бетона и арматуры зависят от дозы облучения. Учитывается также неодинаковая работа бетона на растяжение и сжатие. Считается что бетон работает в условиях плоского напряженного состояния, а арматура в условиях одноосного напряженного состояния в каждом направлении армирования. При получении выражений для усилий и изгибающих моментов в армированной оболочке используется прием замены дискретного армирования в каждом направлении некоторым эквивалентным слоем. В результате получена система двух интегро-дифференциальных уравнений, с соответствующими граничными условиями, описывающих осесимметричную деформацию армированной оболочки в условиях радиационного воздействия.

Для решения полученных уравнений предложено использовать пошаговую (по времени) процедуру, в процессе реализации которой на каждом шаге сначала находится распределение дозы облучения по телу оболочки и деформации распухания, затем находятся законы распределения механических характеристик бетона с учетом влияния облучения и характера напряженного состояния. После этого определяются переменные коэффициенты разрешающих уравнений, а затем численными или вариационными методами решается система интегро-дифференциальных уравнений. Объем рассчитываемой оболочки покрывается дискретной сеткой узлов, в каждом из которых находятся напряжения и деформации и для каждого решается уравнение накопления повреждений. Достижение повреждением предельного значения в какой-либо точке трактуется как разрушение всей оболочки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Филин, А.П.* Прикладная механика твёрдого деформируемого тела. [Текст] / А.П. Филин – Москва : Наука, 1975. – 832 с.
2. *Лихачев, Ю.И., Пупко В.Я.* Прочность тепловыделяющих элементов ядерных реакторов [Текст] / Ю.И. Лихачев, В.Я. Пупко. – Москва : Атомиздат, 1975 – 378 с.
3. *Павлина, В.С.* К вопросу о методологии физико-химической механики материалов [Текст] / В.С. Павлина, В.В. Попович, Г.Г. Максимович // Физико-химическая механика материалов. – 1980. – № 3. – С. 5-14.
4. *Власов, В.З.* Общая теория оболочек и её приложение в технике [Текст] / В.З. Власов. – Москва-Ленинград : Гостехтеориздат, 1949. – 784 с.
5. *Филин, А.П.* Элементы теории оболочек [Текст] / Ленинград : Стройиздат, 1987. – 383 с.
6. *Гарибов, Р.Б. Овчинников И.Г.* Деформирование армированных пластинчатых элементов конструкций, подвергающихся радиационному облучению [Текст] / Р.Б. Гарибов, И.Г. Овчинников // Труды XXI международной конференции по теории оболочек и пластин. Саратов 14 – 16 ноября 2005 г. Саратов. СГТУ, 2005. – С. 64-74.
7. *Гарибов, Р.Б.* Учет влияния радиационных сред на армированные железобетонные оболочки [Текст] / Р.Б. Гарибов // Развитие современных городов и реформа жилищно-коммунального хозяйства. III международная научно-практическая конференция: Москва, 2005 г. – С. 274-278.
8. *Гарибов, Р.Б.* К вопросу влияния различных схем воздействия радиационных сред и нагрузок на армированные пластинчатые элементы конструкций [Текст] / Р.Б. Гарибов // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2017. – № 13 (4). – С. 53-57.
9. *Гарибов, Р.Б.* Моделирование осесимметричного деформирования дискретно армированной оболочки в условиях радиационного облучения [Электронный ресурс] / Р.Б. Гарибов, И.Г. Овчинников // Цифровые средства производства инженерного анализа: Сб. материалов Первой всерос. конф. с междунар. Участием. – Электрон. дан. – Тула : Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л. Н. Толстого, 2017. – С. 49-57 (дата обращения: 4.03.2018).

### **On Modeling of the Deformation of a Discrete Reinforced Shell in the Conditions of Radiation Exposure**

**R.B. Garibov**

*Balakovo Engineering Technical Institute the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Balakovo  
RBGaribov@mephi.ru*

**Abstract** – The problem of modeling the behavior of reinforced concrete cylindrical shell under conditions of radiation exposure is considered. The volume of the calculated shell is covered by a discrete grid of nodes, each of which contains stresses and deformations and for each solves the equation of damage accumulation.

**Keywords:** reinforced concrete cylindrical shell, radiation exposure, dose of radiation, radiation swelling.