

## АНАЛИЗ СХОДИМОСТИ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Мироненко И.В.**

*ГОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск,  
Россия, e-mail: [mirinns@mail.ru](mailto:mirinns@mail.ru)*

Путем численных экспериментов исследуется сходимость генетического алгоритма, предназначенного для оптимального синтеза изгибаемых железобетонных конструкций. Эта итерационная процедура позволяет выполнять оптимальный поиск на дискретных множествах варьируемых параметров, что представляет существенный интерес для реального проектирования строительных конструкций. На результатах расчета трехпролетной балки показано, что данная вычислительная схема имеет высокую скорость сходимости.

Ключевые слова: железобетонные балки, оптимизация, генетические алгоритмы, сходимость алгоритма.

## ANALYSIS OF CONVERGENCE OF THE GENETIC ALGORITHM FOR REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS

**Mironenko I.V.**

*The Bryansk State Academy of Engineering and Technology, Bryansk,  
Russia, Bryansk, e-mail: [mirinns@mail.ru](mailto:mirinns@mail.ru)*

Convergence of the genetic algorithm for optimization of bending concrete constructions is researched by numerical experiments. This iterative procedure performs optimization by discontinuous class of variational parameters. This process is important for design of reinforced concrete constructions in development. Analysis of convergence of the genetic algorithm for three-bay reinforced concrete beam is presented the efficiency of pattern of calculation.

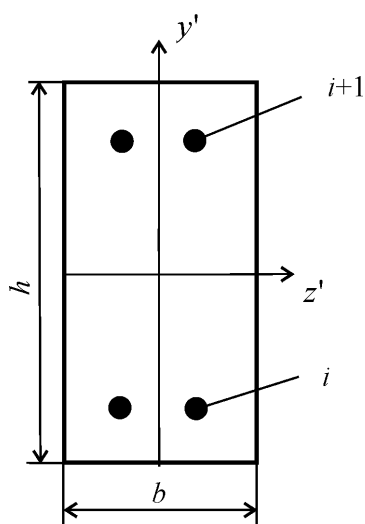
Keywords: concrete, reinforced, beames, optimization, genetic algorithms, convergence history of algorithm.

Проблеме эффективной оптимизации статически неопределимых железобетонных стержневых систем посвящено большое число работ. Задачи такого типа обычно имеют многоэкстремальный характер. Поэтому эффективное использование процедур, ориентированных на нахождение локальных экстремумов, в общем случае представляется проблематичным. Более перспективными здесь являются поисковые методы, и прежде всего методы случайного поиска. Одним из наиболее перспективных подходов к оптимизации несущих систем является использование случайного поиска в виде эволюционного моделирования, иначе называемого генетическими алгоритмами [1-5]. Эволюционное

моделирование позволяет решать экспериментальные задачи на дискретных множествах параметров, что представляет существенный интерес для практических целей. В работе [5] рассмотрен вопрос сочетания генетического алгоритма с многосеточной итерационной процедурой [6-9]. В данной статье выполняется анализ скорости сходимости генетического алгоритма, предложенного в работах [3-5].

Целью исследования является выполнение оптимизации трехпролетной железобетонной балки на основе эволюционного моделирования и анализ характера сходимости генетического алгоритма.

Методы исследования включают процедуру оптимизации железобетонных балок без предварительного напряжения арматуры на основе генетической итерационной схемы [3; 4], численные эксперименты.



**Рис. 1. Сечение балки:**  
 **$i, i+1$  – номера слоев арматуры**

Считается, что балка имеет прямоугольное поперечное сечение. Ставится задача минимизации себестоимости  $C_b$  рамы:

$$C_b(X_b, X_h, X_{dn}, X_{kb}, X_{ks}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $X_b$  – дискретные множества допустимых значений  $b$ ;

$X_h$  – дискретные множества допустимых значений  $h$ ;

$X_{dn}$  – дискретные множества пар  $(d_i, n_i)$  диаметров и чисел стержней арматуры ( $i$  – номер слоя арматуры) (рис. 1);

$X_{kb}$  – дискретные множества классов бетона;

$X_{ks}$  – дискретные множества классов арматуры.

Принимались во внимание следующие основные ограничения.

1. Условия прочности:  $\frac{|\varepsilon_b|}{\psi_b} \leq |\varepsilon_{bu}|, \quad \frac{\varepsilon_S}{\psi_S} \leq \varepsilon_{S,el},$

$|\varepsilon_S| \leq |\varepsilon_{S,pl}|$ , где  $\varepsilon_b, \varepsilon_S$  – средние линейные деформации, возникающие в сжатом бетоне и в арматуре;  $\psi_b, \psi_S$  – коэффициенты, вводимые для учета неравномерности распределения напряжений в сжатом бетоне и растянутой арматуре для сечений, расположенных на участках с трещинами в растянутом бетоне [10];  $\varepsilon_{bu}$  – относительная деформация предельной сжимаемости бетона при неравномерном сжатии;  $\varepsilon_{S,el}$  – относительная деформация удлинения

арматуры при достижении напряжениями расчетного сопротивления  $R_S$ ;  $\varepsilon_{S,pl}$  – максимальная по модулю относительная деформация при сжатии арматуры.

2. Условия по жесткости:  $|f| \leq f_{ult}$ , где  $f$  – максимальный по модулю прогиб ригеля;  $f_{ult}$  – значение предельно допустимого прогиба ригеля.

3. Условия по трещиностойкости:  $a_{crc} \leq a_{crc,ult}$ , где  $a_{crc}$ ,  $a_{crc,ult}$  – расчетная и предельно допустимая ширина раскрытия трещин в бетоне.

С помощью методики, описанной в работе [4] выполнялся оптимальный синтез железобетонной балки (рис. 2), которая находится под воздействием непродолжительных нагрузок  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$  и нагрузки  $q_G$  от веса конструкции. При дискретизации балки вводилось 600 ферменных конечных элементов. Учитывалось по 20 особей в каждом поколении и до 20 особей в базе данных элитных конструкций [3]. Результаты оптимизации представлены в таблице 1.

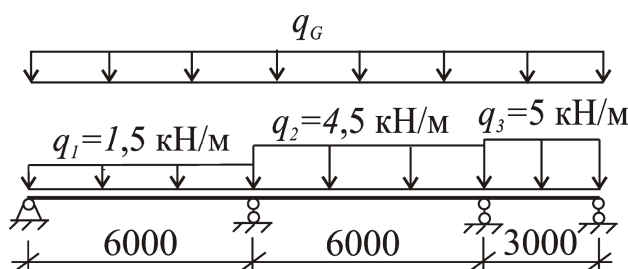


Рис. 2. Железобетонная балка

Таблица 1 – Результаты оптимизации железобетонной балки

№ п/п	Параметры	Допустимые значения варьируемых параметров	Полученные значения
1	$b$ , см	35; 40; 45; 50; 55	35
2	$h$ , см	20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55	50
3	$(d_{i+1}, n_{i+1})$ , (мм, шт)	(12, 5); (12, 6); (14, 5); (16, 4); (14, 6); (18, 4); (22, 3); (16, 6)	(22, 3)
4	$(d_i, n_i)$ , (мм, шт)	(12, 5); (12, 6); (14, 5); (16, 4); (14, 6); (18, 4); (22, 3); (16, 6)	(16, 6)
5	Класс бетона	B20; B25; B30; B35; B40	B25
6	Класс арматуры	A300; A400; A500; A600	A400

Расчеты показали, что одно и то же решение задачи получается во всех запусках программы, реализующей данную итерационную схему. На рисунке 3 проиллюстрирована высокая скорость сходимости данной итерационной схемы на примере выполненных подряд четырех решений поставленной задачи.

### Выводы

1. Результаты оптимизации трехпролетной железобетонной балки продемонстрировали, что алгоритм оптимизации работ [3-5], основанный на генетической итерационной схеме, позволяет получать достаточно стабильные результаты и имеет высокую скорость сходимости итерационного процесса.

2. Рассмотренная вычислительная схема осуществляет операции на дискретных множествах варьируемых параметров, что делает ее эффективной для решения практически значимых архитектурно-строительных задач.

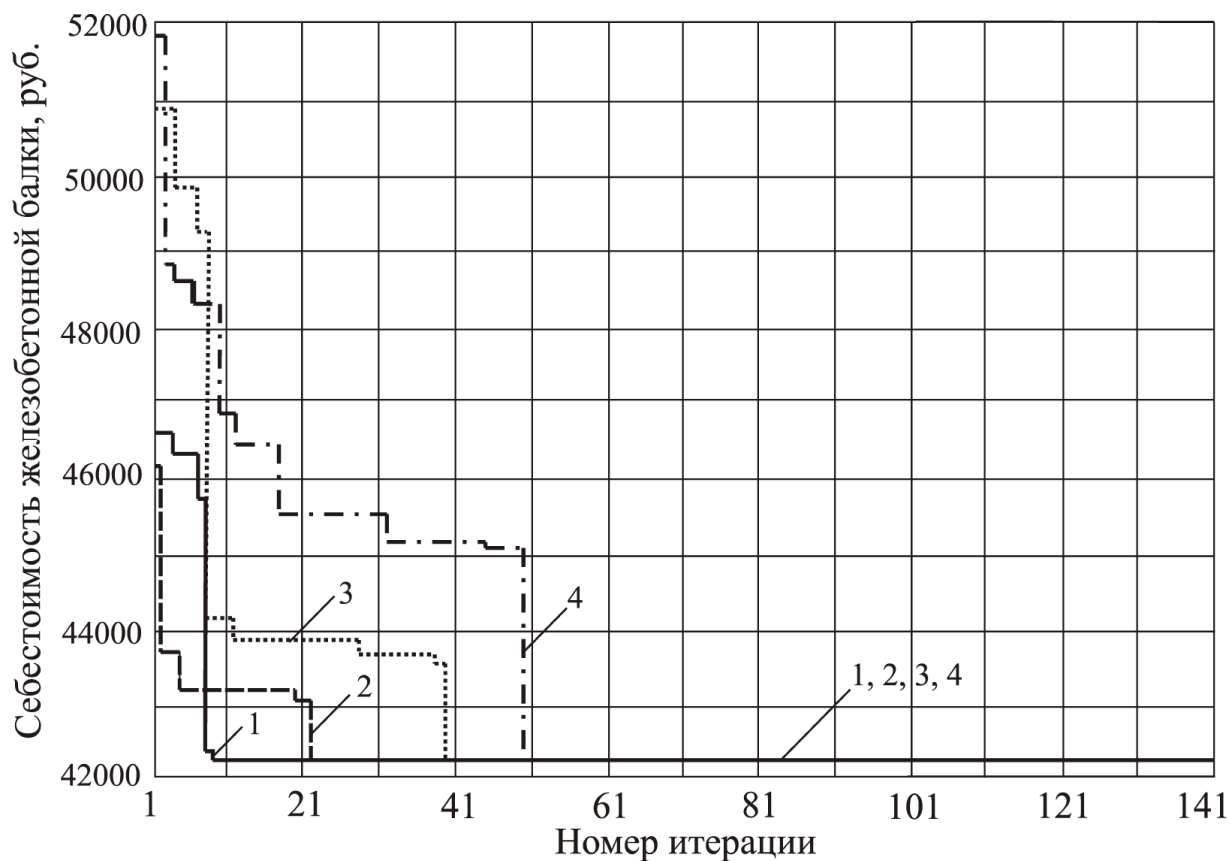


Рис. 3. Характер сходимости генетического алгоритма: 1-4 – номера расчетов

### Список литературы

1. Nanakorn P. An adaptive penalty function in genetic algorithms for structural design optimization / P. Nanakorn, K. Meesomklin // *Computers and Structures*. – 2001. – Vol. 79. – P. 2527–2539.
2. Lee K.S. A new structural optimization method based on the harmony search algorithm / K.S. Lee, Z.W. Geem // *Computers and Structures*. – 2004. – Vol. 82. – P. 781–798.
3. Серпик И.Н. Структурно-параметрическая оптимизация стержневых металлических конструкций на основе эволюционного моделирования / И.Н. Серпик [и др.] // *Известия вузов. Строительство*. – 2005. – № 8. – С. 16–24.
4. Серпик И.Н. Эволюционный синтез статически неопределимых железобетонных балок / И.Н. Серпик, М.И. Смашнева // *Современные проблемы механики строительных конструкций: матер. Междунар. конгресса науки и инновации в строительстве*. – Воронеж, 2008. – Т. 2. – С. 197–202.
5. Серпик И.Н. Современные информационные технологии в параметрической оптимизации несущих систем вагонов / И.Н. Серпик, Ф.Н. Левкович, А.И. Тютюнников // *Современные наукоемкие технологии*. – № 6. – 2004. – С. 43–44.
6. Серпик И.Н. Использование итерационного взаимодействия местных и общих деформаций // *Строительная механика и расчет сооружений*. – 1989. – № 1. – С. 56–59.
7. Серпик И.Н. К построению алгоритма прерывистых разрезов метода чередования основных систем / И.Н. Серпик, Э.Б. Довидович // *Проблемы прочности*. – 1988. – № 1. – С. 102–106.
8. Серпик И.Н. Некоторые вопросы исследования скорости сходимости алгоритма поэтапных аппроксимаций // *Строительная механика и расчет сооружений*. – 1985. – № 5. – С. 14–15.
9. Серпик И.Н. Построение быстросходящегося итерационного процесса решения краевых задач теории упругости по методу граничных элементов / И.Н. Серпик, А.А. Голоян // *Проблемы прочности*. – 1990. – № 6. – С. 73–77.
10. Байков В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М. : Стройиздат, 1991. – 767 с.

#### **Рецензенты:**

Тайц О.Г., д.т.н., профессор кафедры «Энергетика и автоматизация производственных процессов», ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск.

Плотников В.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Строительное производство» ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск.

Сакало В.И. д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Прикладная механика», ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет» Министерства образования и науки РФ, г. Брянск.

**Работа получена 22.09.2011**