

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ ДАРВИНА В ПРОЦЕССЕ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ

**В.А. Ходяков, В.Г. Пастушков**

Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

*Вопрос оптимизации несущих конструкций сегодня актуален как никогда. Первостепенной задачей инженера является обеспечение требуемой несущей способности с минимальными затратами материала и труда на строительство и содержание. При этом существует бесконечное множество конструктивных решений с различными технико-экономическими показателями. Для оптимизации конструкций в пределах конкретной инженерной задачи предлагается использовать метод, в основе которого лежит теория эволюции Ч. Дарвина.*

**Ключевые слова:** эволюция, оптимизация, минимизация, арка, балка, ген, Grasshopper, Galapagos, Karamba.

Для несложных задач с малым количеством параметров можно составлять несколько вариантов конструкций, анализируя и с каждым новым вариантом постепенно приближая их к наилучшим технико-экономическим показателям (ТЭП). Для более сложных задач зачастую существует несколько вариантов оптимальных ТЭП, к которым мы можем прийти методом последовательного приближения. Но нахождение всех этих минимумов подбором – довольно сложная задача.

При использовании модели эволюции Дарвина мы не просто последовательно приближаем задачу оптимизации к решению, но и всегда оставляем шанс на обнаружение того, что данное направление приближения неверно и при принципиально другой комбинации параметров существует другое, лучшее решение – другой минимум ТЭП.

На базе компьютерной программы Rhinoceros существует параметрический плагин Grasshopper (рис. 1), используя который можно довольно удобно механизировать процесс подбора вариантов несущей конструкции. В качестве плагина к Grasshopper существует программа Karamba, которая может анализировать конструкции с использованием метода конечных элементов. Karamba приходится очень кстати, когда требуется оптимизи-

ровать ТЭП несущей конструкции. Вся система моделирования и расчета в Grasshopper построена на использовании узлов (небольших элементарных функций) и построения между ними логических связей.

Главной и наиболее интересной функцией является нод Galapagos, который и позволяет нам моделировать процесс дарвиновской эволюции. У нода существует два логических входа: Genome («Геном») и Fitness («Приспособленность»).

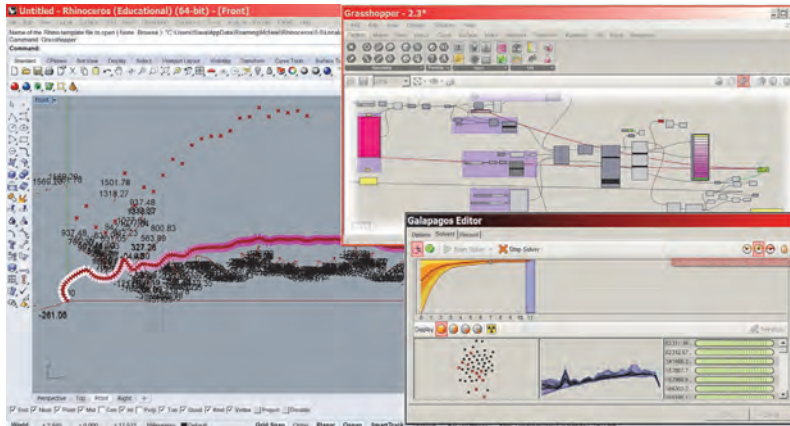


Рис. 1. Окно программного обеспечения

Простым примером совместной работы Galapagos и Karamba является «эволюция» балки в арку. Балка пролетом 50 м оперта на две шарнирно неподвижные опоры и загружена распределенной нагрузкой 100 кН·м. В данном случае геномом являлись координаты контрольных точек по оси  $z$ , по которым строилась арка. В качестве приспособленности была задана минимальная сумма модулей моментов в каждом из конечных элементов. В результате мы получили арку параболической формы, в которой эпюра моментов была практически сведена к нулю (рис. 2).

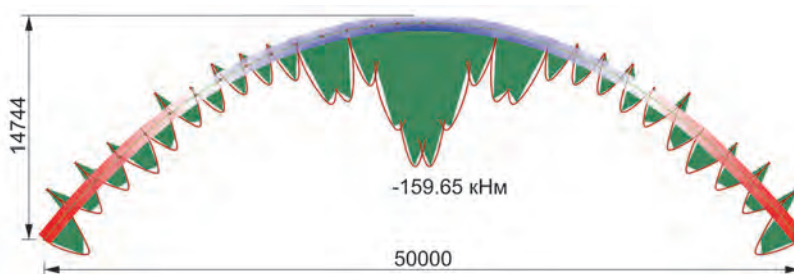


Рис. 2. Арка. Около 10 000 поколений эволюции

Каждая контрольная точка выступает в качестве особи со своим набором генов – геномом. В данном случае ген один – координата по оси z. Механизм «эволюции» балки построен следующим образом:

В каждом поколении «рождается» некоторое количество особей (в данном случае 50). Каждая особь имеет свой набор генов или, как в данном случае, ген, в какой-то степени отличающийся от генов предыдущего поколения. Если особь сильно отдалается от условия приспособленности, то погибает и ген, носителем которого она является, погибает вместе с ней. В результате выживают наиболее приспособленные индивиды – точки.

Важным является то, что если одна особь получила ген, сильно отличающийся от генов абсолютного большинства своих сородичей в лучшую сторону, то она начинает «переманивать» весь процесс эволюции на себя. Таким образом, в очень сложных задачах никогда нельзя быть уверенным, что эволюция пошла в правильном направлении. Всегда может найтись особь, которая «выпрыгнет» из общей массы и «перетянет» весь процесс на себя. Однако процесс оптимизации можно считать завершенным, когда несколько сот поколений не появляется следующая особь с лучшим геном.

Таким образом, балка постепенно «приспособилась» к жизни с минимальными моментами, превратившись в арку.

Было замечено, что моменты на разных участках арки существенно различаются (на вариантах с большей высотой арки это явление пропадает), после чего было добавлено еще одно условие приспособленности: минимальная разница между средним моментом по всем элементам и моментом в каждом элементе. После повторной оптимизации моменты по всей длине арки выровнялись и уменьшились до 50–60 кН·м.

Использование законов эволюции Дарвина открывает большой простор для исследований. Были поставлены эксперименты по оптимизации несимметрично нагруженных арок, главным условием являлась также минимизация изгибающих моментов (рис. 3).

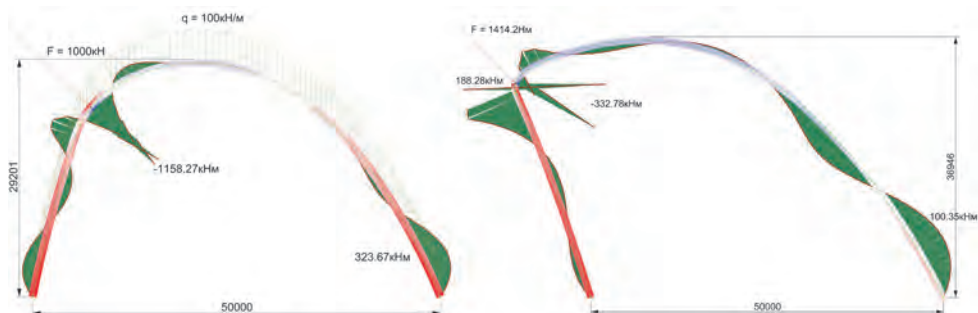


Рис. 3. Эксцентрисно нагруженные арки. Около 20 000 поколений эволюции каждая

Подбор оптимального сечения сборной двутавровой балки с минимальной затратой материалов является относительно сложной задачей. Была смоделирована система, условием приспособленности которой стала минимизация объема материала, при сохранении несущей способности, а в качестве генома, состоящего из четырех генов, выступали геометрические характеристики сечения двутавра: ширина и высота полков и стенки. В результате мы получили максимально экономичные, с точки зрения материалоемкости, сечения (рис. 4). Коэффициент использования сечения в центре пролета балки для напряжений от момента и для касательного напряжения у опор превышает 99,995 % во всех трех случаях.

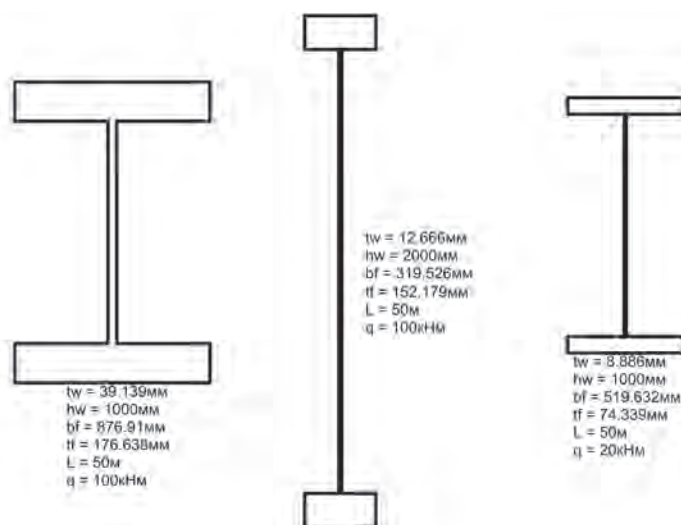


Рис. 4. Варианты двутавровых сечений балок.  
Около 5000 поколений эволюции каждая

Проверка несущей способности производилась только по напряжениям от изгибающих моментов и касательных напряжений без учета коэффициентов. Сталь 10ХСНД, предел текучести 390 МПа.

### Список литературы

1. Хайман Э.В. Новая морфология архитектуры. Зачем гены зданиям? [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.liveinternet.ru/users/alex-boo/post244601238>.

2. Robert Stuart Smith. Видеолекция о формообразовании [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.youtube.com/watch?v=LLlzuVv4cB8>.

3. Technology Entertainment Design: Некоммерческий фонд США, конференции на тему «Биомимикрия» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ted.com/topics/biomimicry>.

4. Барчугов Е.В. Параметризм как направление современной проектной деятельности [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.marhi.ru/АМИТ/2013/4kvart13/barchugova/barchugova.pdf>.

5. Эволюция [Электронный ресурс] // Википедия. – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F>.

6. Grasshopper, algorithmic modeling for rhino // Официальный сайт плагина Grasshopper. – URL: <http://www.grasshopper3d.com>.

7. Karamba. Parametric engineering // Официальный сайт плагина Karamba. – URL: <http://www.numen.eu/home/news>.