

## Расчет строительных конструкций

### ПОИСК РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТЕРЖНЕВЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МОДЕЛИ

А.В. АЛЕКСЕЙЦЕВ, канд. техн. наук, доцент,

Н.С. КУРЧЕНКО, аспирант

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

241037, г. Брянск, ул. Брянского фронта, д.12, кв. 29. E-mail: [aalexw@mail.ru](mailto:aalexw@mail.ru)

*Разработана итерационная схема оптимизации стержневых металлических конструкций при использовании генетического алгоритма с альтернативными способами формирования популяций и адаптивными операторами мутации, кроссинговера и инверсии. Такой алгоритм позволяет при решении больших задач избежать возникновения «пустых» популяций, имеет относительно невысокую трудоемкость и дает возможность получать новые рациональные решения. Рассмотрены стандартные примеры оптимизации стержневых несущих систем.*

Ключевые слова: параметрическая оптимизация, генетический алгоритм, адаптивные операторы, мутация, кроссинговер, инверсия

Проблеме оптимизации стержневых конструкций с применением генетических алгоритмов в отечественной и зарубежной литературе уделяется все большее внимание [1-5]. Однако применение таких алгоритмов для решения экстремальных задач с большим числом варьируемых параметров часто приводит к попаданию в локальные оптимумы или сопровождается низкой сходимостью алгоритма. Нередко в процессе поиска появляются «пустые» популяции, в которых отсутствуют особи, удовлетворяющие поставленным ограничениям. Многие авторы [4, 5] используют для решения данных проблем штрафные функции, которые допускают включение неработоспособных особей в популяции с учетом накладываемых на эти особи штрафов по критерию оптимизации. Однако такой подход требует анализа штрафных функций, которые могут подбираться индивидуально для каждого типа решаемых задач.

В статье предлагается вариант эволюционной модели, позволяющей в значительной степени решить проблему «пустых» популяций и низкой сходимости алгоритма путем введения в итерационный процесс адаптивных генетических операторов и альтернативных способов формирования популяций в процессе оптимизации.

**Постановка задачи.** Для линейно-деформируемой геометрически неизменяемой стержневой системы целью оптимизации будем считать минимум объема материала, идущего на ее изготовление:

$$\sum_{i=1}^n A_i l_i \Rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $A_i$  – площадь поперечного сечения профиля в  $i$ -м стержне;  $l_i$  – длина стержня;  $n$  – число стержней в конструкции. Оценку напряженного и деформированного состояния выполняем с использованием метода конечных элементов. Учитываем следующие ограничения:

1) условие равновесия стержневой конструкции, дискретизированной согласно методу конечных элементов:

$$[K]\delta_{j0} = R_{j0}, \quad j_0 = 1..m_0,$$

где  $[K]$  – матрица жесткости конечно-элементной модели несущей системы;  $\delta_{j0}$ ,  $R_{j0}$  – векторы перемещений и узловых сил  $j_0$ -го нагружения;  $m_0$  – число вариантов нагружений;

2) условие прочности и устойчивости стержней в соответствии со СНиП П-3-81\* «Стальные конструкции»;

3) конструктивные и технологические ограничения, учитывающие величины габаритных размеров конструкции, предельную гибкость стержней, возможность применения тех или иных сортов сталей и т.п.;

4) общая устойчивость конструкции.

**Генетическая итерационная процедура.** Алгоритм строится путем модификации итерационной схемы, разработанной в статье [3]. Общая схема модифицированной итерационной процедуры показана на рисунке 1. Поясним содержание приведенных на схеме блоков № 2 и № 5. Процедуры, описанные в остальных блоках, подробно рассматриваются в работе [6], а в рамках данного алгоритма не модифицируются.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма оптимизации

**Формирование начальной популяции.** Каждый вариант конструкции представим в виде особи, набор генов которой определяет ее варьируемые параметры. Значения параметров, допускаемых для выбора в процессе оптимизации, подбираются с учетом предварительного расчета конструкции. Особь  $X$  запишем в следующем виде:

$$X : a_{1,1}, a_{1,2}, \dots, a_{i,j}, \dots, a_{n,Ng_i}, i \in [1, 2, \dots, n], j \in [1, 2, \dots, Ng_i],$$

где  $a_{i,j}$  – идентификатор, связанный со значением параметра (ген);  $n$  – число варьируемых параметров;  $i$  – номер параметра;  $j$  – номер значения параметра. Каждый варьируемый параметр представляем в виде  $Ng_i$  кортежей, отсортированных по возрастанию:

$$P_i = \{(a_{i,1}, A_1), (a_{i,2}, A_2), \dots, (a_{i,j}, A_j), \dots, (a_{i,Ng_i}, A_{Ng_i})\},$$

где  $A_1 - A_{Ng_i}$  – значения варьируемых параметров;  $Ng_i$  – число допустимых значений  $i$ -го параметра.

Первоначально задаем число  $q$  особей в популяции, формируемых случайным образом, и генерируем эти особи. Для остальных особей используется процедура, предусматривающая задание всех генов в пределах отдельной особи одинаковыми. Эти гены назначаются в порядке их убывания, начиная с номера, имеющего максимальное значение параметра. Популяцию, состоящую из  $N_p$  особей, представим в виде выражения:

$$\begin{array}{l|l} X_1 : & a_{1,j}, a_{2,j}, \dots, a_{n,j} \\ \dots & \dots \\ X_q : & a_{1,j}, a_{2,j}, \dots, a_{n,j} \\ \hline X_{q+1} : & a_{1,Ng_i}, a_{2,Ng_i}, \dots, a_{n,Ng_i} \\ \dots & \dots \\ X_{N_p} : & a_{1,Ng_i-k}, a_{2,Ng_i-k}, \dots, a_{n,Ng_i-k} \end{array} \quad (2)$$

В выражении (2) индекс  $k = N_p - q$ , индекс  $j$  для каждого параметра случайным образом выбирается на интервале  $[1; Ng_i]$ . Расчеты показывают, что при условии  $Ng_i \geq k$  целесообразно принимать параметр  $q \leq 0,3N_p$ . Проиллюстрируем использование выражения (2). Пусть поколение состоит из 7 особей, каждая из которых содержит 8 варьируемых параметров, каждый параметр может принимать 10 различных значений, а величина  $q = 2$ . Формула примет вид:

$$\begin{array}{l|l} X_1 : & 2, & 3, & 7, & 1, & 6, & 9, & 10, & 1 \\ X_2 : & 4, & 4, & 5, & 2, & 8, & 7, & 9, & 2 \\ X_3 : & 10, & 10, & 10, & 10, & 10, & 10, & 10, & 10 \\ X_4 : & 9, & 9, & 9, & 9, & 9, & 9, & 9, & 9 \\ X_5 : & 8, & 8, & 8, & 8, & 8, & 8, & 8, & 8 \\ X_6 : & 7, & 7, & 7, & 7, & 7, & 7, & 7, & 7 \\ X_7 : & 6, & 6, & 6, & 6, & 6, & 6, & 6, & 6 \end{array}$$

При такой схеме формирования начальной популяции в поколении будет присутствовать, по крайней мере, один вариант конструкции, удовлетворяющий поставленным ограничениям. Например, это особь  $X_3$ , для которой каждый из варьируемых параметров имеет максимальное значение, идентифицируемое номером 10. Описанный способ формирования начальной популяции в большинстве случаев решает проблему «пустых» популяций.

**Формирование следующей популяции.** Разобьем популяцию, состоящую из  $N_p$  особей на две части. Первая часть будет содержать  $K_1$  особей, вторая –  $K_2$  особей. Соотношение величин  $K_1$  и  $K_2$  зависит от чувствительности целевой

функции (1) к изменениям варьируемых параметров. Оптимизационные расчеты конкретных стержневых систем показывают, что для получения экономической итерационной процедуры целесообразно при  $N_p \geq 20$  принимать отношение  $K_1/N_p = 0,6..0,8$ .

Для формирования особей первой части популяции в итерационном процессе применяются адаптивные генетические операторы. При этом в последующее поколение помещаются работоспособные особи предыдущего поколения с наилучшим критерием выживаемости, модифицированные этими операторами. Под критерием выживаемости понимается минимальное значение объема конструкции, вычисляемое по формуле (1). Неработоспособные особи заменяются вариантами из базы данных лучших вариантов объектов [6]. Вторая часть популяции формируется на основе этой базы. Из базы методом рулетки [6] выбираются  $K_2$  особей и копируются в текущую популяцию. Затем для каждой скопированной особи выполняется ряд преобразований:

1) случайным образом на интервале  $[1; \tilde{k} \cdot n]$  выбирается число  $\rho$  генов, подвергающихся изменению. Здесь  $\tilde{k}$  – задаваемое число, зависящее от  $n$ . Установлено, что при оптимизации конструкций с числом варьируемых параметров  $n \in [5; 20]$  целесообразно принимать  $\tilde{k} \in [0,1; 0,4]$ . Значение  $\rho$  округляется до целого;

2) случайно определяются локусы (номера) генов, в которых будут происходить изменения;

3) определяется интервал изменения  $[-m; m]$  для выбранных величин  $a_{i,j}$ . Величина  $m$  – задаваемое целое число,  $m \in [1; n-1]$ ;

4) для выбранных генов выполняются изменения параметров в соответствии с зависимостью:

$$a_{i,j}^* = \begin{cases} a_{i,j} + \chi_1, \chi_1 \in [0; m], \text{ если } j < m; \\ a_{i,j} + \chi_2, \chi_2 \in [-m; m], \text{ если } m < j < (n-m); \\ a_{i,j} + \chi_3, \chi_3 \in [0; m], \text{ если } j > (n-m). \end{cases} \quad (3)$$

Здесь  $a_{i,j}^*$  – идентификатор (ген)  $i$ -го параметра, которому соответствует  $j$ -е значение после изменения;  $\chi_1 - \chi_3$  – случайно выбираемые из своих интервалов целые числа. Приведем пример использования зависимости (3). Рассмотрим особь  $X_1$ , состоящую из 10 генов, каждый параметр может принимать 8 значений, нумеруемых от 1 до 8:

$X_1 : \quad | \quad 8, \quad 2, \quad 4, \quad 4, \quad 5, \quad 6, \quad 1, \quad 2, \quad 2, \quad 3$

Принимаем  $\tilde{k} = 0,4$ . Случайным образом на интервале  $[1; 3]$  выбираем число  $\rho$  генов, подверженных изменению. Пусть выбрано значение  $\rho = 3$ . Полагаем, что для рассматриваемой особи случайно выбраны первый, третий и восьмой гены, в которых будут происходить изменения, и задана величина  $m = 2$ . Тогда особь может принять несколько возможных вариантов (приведем, например, пять из них):

$\tilde{X}_1 :$	7,	2,	<b>2</b> ,	4,	5,	6,	1,	<b>1</b> ,	2,	3
$\tilde{X}_1 :$	<b>6</b> ,	2,	<b>3</b> ,	4,	5,	6,	1,	<b>3</b> ,	2,	3
$\tilde{X}_1 :$	7,	2,	<b>4</b> ,	4,	5,	6,	1,	<b>2</b> ,	2,	3
$\tilde{X}_1 :$	<b>8</b> ,	2,	<b>6</b> ,	4,	5,	6,	1,	<b>1</b> ,	2,	3
$\tilde{X}_1 :$	<b>6</b> ,	2,	<b>5</b> ,	4,	5,	6,	1,	<b>2</b> ,	2,	3

Из всех возможных вариантов сгенерированных таким способом особей в популяцию включаются те, для которых выполняется условие:

$$xV_1 \leq V_2 \leq V_1, \quad (4)$$

где  $V_1$  – объем особи, выбранной методом рулетки из базы данных лучших вариантов объектов;  $V_2$  – объем модифицированной особи  $\tilde{X}$ ,  $x$  – коэффициент, принимаемый равным 0,7-0,9. Для поиска особей, удовлетворяющих неравенству (4), организуется цикл с предусловием вида  $V_2 > V_1 f N$ . Значение функции  $f N$  зависит от номера текущего поколения  $N$ :  $f(N) = 1 + 2/N$ .

**Адаптивные генетические операторы.** Рассмотрим построение оператора *регулируемой мутации*. Известный оператор одноточечной мутации [6] модифицируется следующим образом.

1) Вычисляется параметр  $t$ , определяющий число генов, в которых будут изменены значения параметров:

$$t = \lceil (\zeta - \lg(N)) \rceil, \quad (5)$$

где  $\zeta$  – задаваемый коэффициент, зависящий от  $n$ . Рекомендуется принимать  $\zeta = 2 \dots 5$  при  $n \in [6 \dots 30]$ . Величина  $t$  округляется до целого числа.

2) Случайным образом для особи выбираются гены, которые будут изменяться.

3) Реализуется случайное изменение генов и связанных с ними соответствующих значений параметров.

Проиллюстрируем использование оператора на родительской особи  $X_1$ , состоящей из 8 генов, каждый ген которой может принимать значение от 1 до 5. Зададим  $\zeta = 3$ . С учетом выражения (5) получим:

$X_1$ :	4,	4,	5,	5,	1,	2,	2,	3
$N=10 \quad t=2 \quad \tilde{X}_1$ :	5,	1,	5,	5,	1,	2,	2,	3
$N=100 \quad t=1 \quad \tilde{X}_1$ :	4,	4,	5,	3,	1,	2,	2,	3
$N=1000 \quad t=0 \quad \tilde{X}_1$ :	4,	4,	5,	5,	1,	2,	2,	3

Приведенный пример показывает, что в ходе итерационного процесса количество генов, подвергающихся мутации, изменяется вплоть до отключения мутации. Такая схема использования оператора мутации позволяет на первых итерациях расширять область поиска рациональных решений, а на последующих – сужать эту область.

*Регулируемая инверсия.* Оператор целесообразно использовать для особей при  $n \geq 10$ . Выполняются следующие этапы.

1) Выбор случайным образом  $p$  точек инверсии, делящих особь на части.

2) Инверсия генов в пределах случайно выбираемых таких частей. Параметр  $p$  вычисляется по формуле  $p = 1 + \lg(N)k_0$ , где  $k_0$  – задаваемый коэффициент.

Приведем пример выполнения инверсии генов особи  $X_1$ : на 10-м, 100-м и 1000-м поколениях, задавая  $k_0=1$ .

$X_1$ :	$a,$	$b,$	$c,$	$d,$	$e,$	$f,$	$g,$	$h$
$N=10 \quad p=2 \quad \tilde{X}_1$ :	$a,$	$d,$	$c,$	$b,$	$h,$	$g,$	$f,$	$e$
$N=100 \quad p=3 \quad \tilde{X}_1$ :	$b,$	$a,$	$c,$	$d,$	$e,$	$g,$	$f,$	$h$
$N=1000 \quad p=4 \quad \tilde{X}_1$ :	$b,$	$a,$	$d,$	$c,$	$f,$	$e,$	$h,$	$g$

Здесь при  $p = 2$  и  $p = 3$  случайно выбрано по две части особи, подвергаемые инверсии, при  $p = 4$  – четыре части. Эти части затушеваны серым цветом. Точки инверсии показаны вертикальными линиями. Идентификаторы  $a-h$  введены для упрощения записи результата.

*Регулируемый кроссинговер.* Этот оператор является модификацией известного оператора одноточечного кроссинговера [6]. В ходе итерационного процесса изменяется число точек кроссинговера на основе формулы (5). При  $n \geq 10$  рекомендуется принимать  $\zeta = 3 \dots 6$ .

Проиллюстрируем работу оператора при  $t=2$  и  $t=1$  (рис. 2).

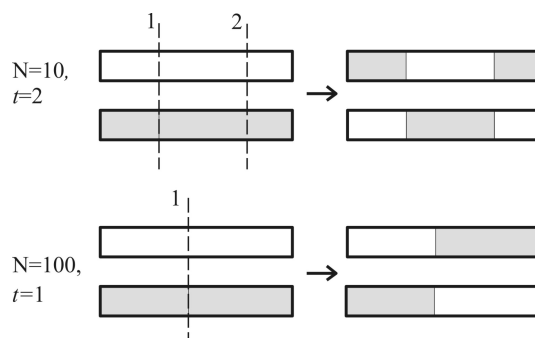


Рис. 2. Работа оператора кроссинговера

При  $t = 0$  обмена параметрами не происходит. Отключение оператора может выполняться, когда в ходе оптимизации получено решение, близкое к глобальному экстремуму. На рисунке 2 цифрами у штриховых линий показаны номера точек кроссинговера и справа результат обмена параметрами.

**Примеры оптимизации стержневых конструкций.** Рассмотрим оптимизацию стандартной 10-стержневой консольной фермы (рисунок 3). Этот пример используется многими авторами [4, 5, 7] для оценки работоспособности алгоритмов оптимизации и скорости их сходимости.

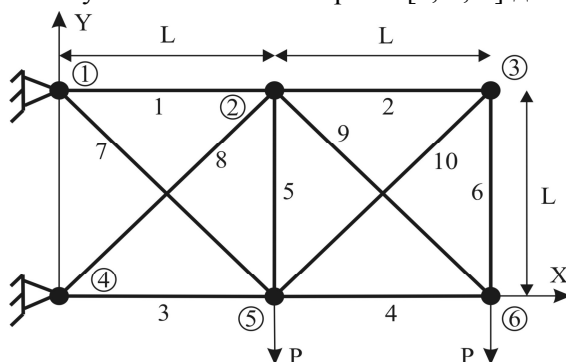


Рисунок 3 – Тестовая ферма

Для удобного сравнения результатов в качестве критерия рациональности конструкции принимаем минимум массы стержней. Использовались следующие исходные данные: плотность материала стержней  $2,76799 \text{ г/см}^3$ , модуль упругости материала  $E = 68947,57 \text{ МПа}$ ,  $P = 444,8222 \text{ кН}$ ,  $L = 9,144 \text{ м}$ . Учитывались ограничения: допускаемые напряжения в стержнях не должны превышать по модулю  $172,368 \text{ МПа}$ , максимальные перемещения  $|\delta|$  каждого из узлов по вертикали и по горизонтали не должны превышать  $5,08 \text{ см}$ . Условие устойчивости стержней не учитывается. Независимо варьировались площади поперечных сечений каждого из стержней. Для каждого варьируемого параметра использовался набор дискретных значений площадей ( $\text{см}^2$ ) из работы [5]:  $A = \{10,451592; 11,61288; 12,838684; 13,741908; 15,354808; 16,903192; 16,967708; 18,580608; 18,903188; 19,935444; 20,193508; 21,806408; 22,387052; 22,90318; 23,419308; 24,774144; 25,032208; 26,967688; 27,225752; 28,967684; 29,612844; 30,96768; 32,064452; 33,032192; 37,032184; 46,580552; 51,419252; 74,1934; 87,0966; 89,67724; 91,61272; 99,9998; 12$

максимальные напряжения в стержнях не должны превышать по модулю  $172,368 \text{ МПа}$ , максимальные перемещения  $|\delta|$  каждого из узлов по вертикали и по горизонтали не должны превышать  $5,08 \text{ см}$ . Условие устойчивости стержней не учитывается. Независимо варьировались площади поперечных сечений каждого из стержней. Для каждого варьируемого параметра использовался набор дискретных значений площадей ( $\text{см}^2$ ) из работы [5]:  $A = \{10,451592; 11,61288; 12,838684; 13,741908; 15,354808; 16,903192; 16,967708; 18,580608; 18,903188; 19,935444; 20,193508; 21,806408; 22,387052; 22,90318; 23,419308; 24,774144; 25,032208; 26,967688; 27,225752; 28,967684; 29,612844; 30,96768; 32,064452; 33,032192; 37,032184; 46,580552; 51,419252; 74,1934; 87,0966; 89,67724; 91,61272; 99,9998; 12$

103,2256; 109,03204; 121,29008; 128,38684; 141,9352; 147,74164; 170,9674; 193,548; 216,1286}. В процессе оптимизации на каждой итерации учитывалось по 20 особей.

Масса найденной рациональной конструкции составила 2490,55 кг, при этом в среднем потребовалось выполнить менее 4600 расчетов конструкции и пройти 230 итераций поиска. Сопоставление результатов оптимизации представлено в табл. 1. Полный перебор вариантов связан с проведением  $1,34 \cdot 10^{16}$  расчетов конструкции. При оптимизации этой фермы с использованием простого генетического алгоритма потребовалось сделать около 60000 расчетов, проходя менее 3000 итераций.

Номер площади	Площади стержней	
	Работа [5]	Данная статья
A <sub>1</sub>	216,1286	216,1286
A <sub>2</sub>	10,45159	10,45159
A <sub>3</sub>	147,7416	147,7416
A <sub>4</sub>	99,9998	91,61272
A <sub>5</sub>	10,45159	10,45159
A <sub>6</sub>	10,45159	10,45159
A <sub>7</sub>	46,58055	51,41925
A <sub>8</sub>	147,7416	147,7416
A <sub>9</sub>	141,9352	141,9352
A <sub>10</sub>	10,45159	10,45159
M, кг	2494,46	2490,55
δ, см	5,0546	5,0769

Рассмотрим другой пример. На рисунке 5 показана двухпорная 15-стержневая ферма. Исходные данные взяты из работ [4, 7]. Модуль упругости материала стержней  $E = 206,84$  МПа, наибольшие напряжения по модулю не должны превышать 344,74 МПа. Задавалось:  $L = 101,6$  см;  $H = 76,2$  см;  $P = 88,964$  кН. Набор дискретных значений варьируемых параметров берем из работы [4] в виде множества площадей поперечных сечений стержней (см<sup>2</sup>):  $A = \{0,64516; 1,29032; 1,93548; 2,58064; 3,2258; 3,87096; 4,51612; 5,16128; 5,80644; 6,4516; 7,09676; 7,74192; 8,38708; 9,03224; 9,6774; 10,32256\}$ , нумеруемых от 1 до 12.

Рассмотрим другой пример. На рисунке 5 показана двухпорная 15-стержневая ферма. Исходные данные взяты из работ [4, 7]. Модуль упругости материала стержней  $E = 206,84$  МПа, наибольшие напряжения по модулю не должны превышать 344,74 МПа. Задавалось:  $L = 101,6$  см;  $H = 76,2$  см;  $P = 88,964$  кН. Набор дискретных значений варьируемых параметров берем из работы [4] в виде множества площадей поперечных сечений стержней (см<sup>2</sup>):  $A = \{0,64516; 1,29032; 1,93548; 2,58064; 3,2258; 3,87096; 4,51612; 5,16128; 5,80644; 6,4516; 7,09676; 7,74192; 8,38708; 9,03224; 9,6774; 10,32256\}$ , нумеруемых от 1 до 12.

Рассмотрим другой пример. На рисунке 5 показана двухпорная 15-стержневая ферма. Исходные данные взяты из работ [4, 7]. Модуль упругости материала стержней  $E = 206,84$  МПа, наибольшие напряжения по модулю не должны превышать 344,74 МПа. Задавалось:  $L = 101,6$  см;  $H = 76,2$  см;  $P = 88,964$  кН. Набор дискретных значений варьируемых параметров берем из работы [4] в виде множества площадей поперечных сечений стержней (см<sup>2</sup>):  $A = \{0,64516; 1,29032; 1,93548; 2,58064; 3,2258; 3,87096; 4,51612; 5,16128; 5,80644; 6,4516; 7,09676; 7,74192; 8,38708; 9,03224; 9,6774; 10,32256\}$ , нумеруемых от 1 до 12.

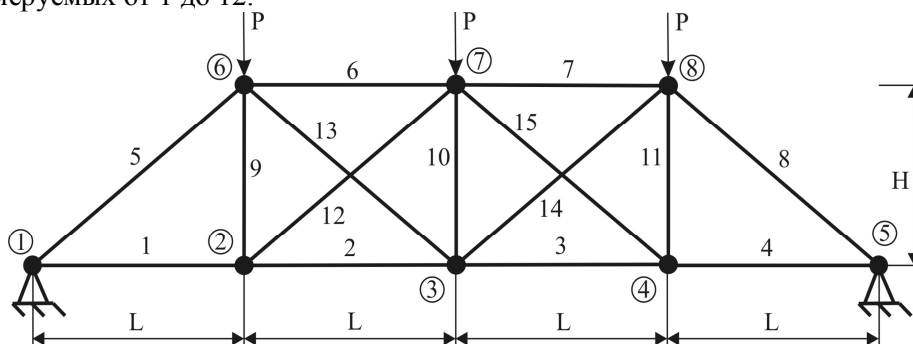


Рис. 5. Конечно-элементная модель фермы

В соответствии с условиями задачи, описанными в работе [4], ограничений по перемещениям узлов фермы не вводится и не используется условием симметрии. В процессе оптимизации на каждой итерации учитывалось по 24 особи. В результате параметрического синтеза была получена симметричная ферма с наименьшим объемом 4161,27 см<sup>3</sup>, показанная на рис. 6.

Процесс поиска решения длился в среднем около 760 поколений, при этом было выполнено 18240 расчетов. Простой генетический алгоритм позволил получить такое же решение в среднем за 4500 итераций, при этом потребовалось выполнить около 108 000 расчетов. Полный перебор вариантов связан с проведением  $1,54 \cdot 10^{16}$  расчетов конструкции.

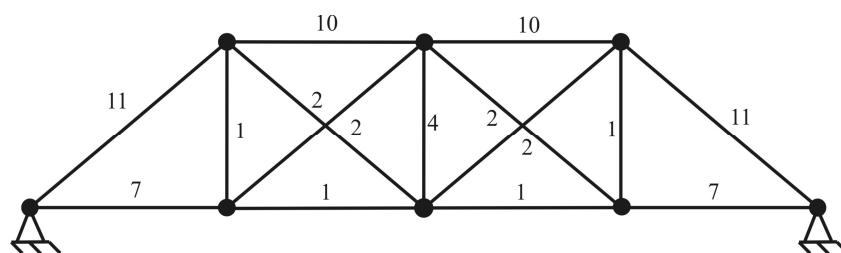


Рис. 6. Результат параметрического синтеза:  
1-11 – номера выбранных из множества  $A$  рациональных площадей

**Вывод.** Разработана итерационная схема параметрической оптимизации стальных стержневых систем на основе эволюционного моделирования с введением адаптивных генетических операторов и альтернативных способов формирования популяций. Реализованы операторы кроссинговера, мутации, инверсии, изменяющие в ходе итерационного процесса свои управляющие параметры. Такой алгоритм позволяет существенно уменьшить трудоемкость оптимизации больших задач и получать новые рациональные решения. Приведенные стандартные примеры показывают работоспособность и достаточно высокую эффективность предлагаемого подхода к оптимизации.

#### Л и т е р а т у р а

1. Юрьев, А.Г. Генетические алгоритмы оптимизации строительных конструкций [Текст] / А.Г. Юрьев, С.В. Ключев // Образование, наука, производство и управление в XXI веке: Матер. Междунар. науч. конф. В 4 т. – Старый Оскол: Изд-во СТИ МИСиС, 2004. – Т. 4. – С. 238-240.
2. Ольков, Я.И. Автоматизированное оптимальное проектирование пространственных металлических стержневых конструкций с использованием алгоритмов структурной оптимизации [Текст] / Я.И. Ольков, А.В. Андроников // Известия вузов. Строительство, 2003. – №12. – С. 8-13.
3. Серпик, И.Н. Структурно-параметрическая оптимизация стержневых металлических конструкций на основе эволюционного моделирования [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексейцев, Ф.Н. Левкович, А.И. Тютюнников // Известия вузов. Строительство. – 2005. – №8. – С. 16-24.
4. Balling, R. Multiple optimum size/shape/topology designs for skeletal structures using a genetic algorithm [Text] / R. Balling, R. Briggs, K. Gillman // Journal of Structural Engineering. ASCE. – 2006. – Vol. 132. – P. 1158 -1165.
5. Nanakorn, P. An adaptive penalty function in genetic algorithms for structural design optimization [Text] / P. Nanakorn, K. Meesomklin // Computers and Structures. – 2001. – Vol. 79. – P 2527–2539.
6. Серпик, И.Н. Генетические алгоритмы оптимизации металлических строительных конструкций: Монография [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексейцев, А.А. Лелетко // Под общ. ред. Серпика И.Н. – Брянск: Изд-во БГИТА, 2010. – 187 с.
7. Su, R. Truss topology optimization using genetic algorithm with individual identification technique [Text] / R. Su, L. Gui, Z. Fan // Proceedings of the World Congress on Engineering. July 1 – 3, London, U.K. – 2009. – Vol. 2. – P. 45-56.

### SEARCHING THE RATIONAL PARAMETERS OF BAR STEEL STRUCTURES BASED ON ADAPTIVE EVOLUTIONARY MODEL

A.V. ALEKSEYTSEV, N.S. KURCHENKO

An iterative optimization scheme of metal beam structures is developed with using a genetic algorithm with alternative ways of forming populations and adaptive mutation operator, crossover and inversion. This algorithm allows solving large problems to avoid occurrence of "empty" populations, has a relatively low complexity and provides opportunity to obtain new rational decisions. The authors consider the standard examples of optimization of beam carrying systems.

KEY WORDS: parametric optimization, genetic algorithm, adaptive operators, mutation, crossover, inversion