

ОПТИМАЛЬНЫЙ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ УСИЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРМ

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

Брянская государственная инженерно-технологическая академия,
241037, г. Брянск, ул. Красноармейская, д.115, кв. 79. E-mail: aalexw@mail.ru

Разработана методика эволюционного поиска рациональных параметров и структур систем усиления металлических ферм. Рассматривается усиление путем увеличения сечений стержней и при изменении конструктивной схемы объекта. Формирование топологии выполняется на основе исключения элементов из некоторой избыточной структуры и варьирования положений узлов конструктивной системы. При увеличении сечений элементы усиления моделируются путем введения в расчетную схему конечных элементов на жестких консолях. Оптимизация ведется по критерию минимума стоимости конструкции усиления. Приведены примеры рационального усиления фермы при оборудовании здания подвесными кранами и увеличении эксплуатационной нагрузки на покрытие.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: генетический алгоритм, синтез размера и формы, упрочнение фермы.

При реконструкции гражданских и промышленных зданий часто возникают задачи проектирования систем усиления стальных ферм. При этом рассматриваются два следующих подхода. Первый основан на увеличении сечений наиболее нагруженных стержней, второй – на изменении конструктивных схем объектов. В каждом конкретном случае можно предложить несколько вариантов проектов усиления. Когда объемы реконструкции значительны, имеет место задача минимизации затрат на реализацию таких проектов. Решение данной задачи сопряжено с выбором типоразмеров диаметров канатов, профилей стержней, толщин пластинок и других параметров на заданных дискретных множествах. Поэтому для поиска решения целесообразно использовать подход, связанный с эволюционным моделированием, называемым еще генетическими алгоритмами. Генетические алгоритмы получили распространение при решении задач оптимального проектирования ферм, рам, структурных плит, арок и других конструкций как в отечественной [1-6], так и в зарубежной литературе [7-11], однако задаче поиска рациональных параметров в системах усиления ферм уделялось недостаточно внимания. В данной статье развивается предложенная в работах [1, 2] методика эволюционного синтеза несущих конструкций применительно к вопросам усиления ферм при реконструкции зданий.

Постановка задачи. Будем выполнять усиление существующей конструкции стальной фермы для обеспечения восприятия дополнительных нагрузок, связанных с особенностями реконструкции или технического перевооружения здания. Представим ферму как деформируемый объект, дискретизированный по схеме метода конечных элементов. В соответствии с основными подходами к усилению ставим следующие экстремальные задачи.

1. Рассматривается стержневая система, для которой с помощью алгоритма эволюционного моделирования проектируется усиление путем только увеличения сечений ряда конструктивных элементов. В качестве целевой функции выступает минимум условной стоимости материала, идущего на изготовление системы усиления:

$$M_U(\{P_1\} \dots \{P_i\}) \cdot C \rightarrow \min, \quad (1)$$

где M_U – масса системы усиления, $\{P_1\} \dots \{P_i\}$ – множества варьируемых параметров, i – число параметров, C – стоимость единицы массы материала «в деле». Предусматривается параметрическая оптимизация, при которой варьируются интегральные геометрические характеристики стержней, подлежащих усилению.

2. Усиление фермы путем изменения ее конструктивной схемы. Увеличение сечений стержней не допускается. Проводится оптимальный структурно-параметрический синтез дополнительной стержневой конструкции усиления. При этом минимизируется функция стоимости

$$M_D(\{Y\}, \{P_Y\}) \cdot C \rightarrow \min, \quad (2)$$

где M_D – масса дополнительных элементов, требуемых для обеспечения несущей способности конструкции; Y , P_Y – множество возможных вариантов топологии и параметров сечений стержней системы усиления.

Ограничения. Для первой постановочной задачи сформулируем следующие условия, рассматриваемые как активные ограничения:

1. Прочность и устойчивость стержней усиленной конструкции. Для стальных ферм эти условия регламентируются актуализированной редакцией норм [12] и практикой проектирования. Для растянутых стержней учитываем равенства:

$$\sigma \leq R_y \gamma_c, \lambda_{np} \leq 400, \quad (3)$$

где σ – нормальные напряжения, R_y – расчетное сопротивление стали, γ_c – коэффициент условий работы, λ_{np} – предельная гибкость стержня. Для сжатых стержней

$$|\sigma| \leq \varphi R_y \gamma_c, \lambda_{np} \leq 120, \quad (4)$$

где φ – коэффициент продольного изгиба стержня.

2. Жесткость усиленной конструкции.

$$|f| \leq [f], \quad (5)$$

где f , $[f]$ – расчетное и допускаемое по нормативам [13] значение максимального прогиба от увеличенной нагрузки.

3. Симметрия конструкции и унификация по параметрам. Для фермы назначаются группы конструктивных элементов, в которых значения параметров при варьировании полагается одинаковым для каждого из членов группы. Если ферма имеет сложную структуру, то целесообразно унифицировать ее конструктивные элементы для минимизации числа используемых типоразмеров профилей. Унификация в ряде случаев позволяет упростить технологию изготовления конструкции, а следовательно, и стоимость фермы «в деле».

В качестве пассивных ограничений (выносимых за рамки итерационной процедуры оптимизации) принимаем условия обеспечения общей устойчивости конструкций и прочности их узловых соединений стержней. Особенности технологии производства при реализации проекта усиления, связанные с обеспечением прочности и устойчивости нагруженных стержней при выполнении на них сварных работ не рассматриваем.

Для второй поставленной задачи в качестве активных ограничений учитываются следующие:

1. Геометрическая неизменяемость каждого сформированного варианта конструкции, снабженной системой усиления. Это свойство можно обеспечить путем задания геометрически неизменяемой избыточной структуры, из которой при оптимизации могут исключаться «лишние» элементы. Далее путем оценки значений определителя и числа обусловленности глобальной матрицы жесткости конечно-элементной модели объекта делается вывод о геометрической неизменяемости конструкции.

2. Проверка прочности и устойчивости стержней при условиях выполнения неравенств (3) и (4).

3. Условие жесткости на основе зависимости (5).

4. Условия симметрии и унификации.

Пассивными ограничениями выступают те же, что и в первой постановочной задаче.

Генетическая итерационная процедура. Данная схема оптимизации применяется в технике для решения различных Np -задач (раскройка материала, логистические задачи, экспертные системы и др.) и базируется на схеме эволюции видов в живой природе. Для рассматриваемой нами задачи поясним применяемую терминологию. Каждый вариант проектируемой системы усиления будем рассматривать как особь. Особь в общем случае состоит из набора параметров Π , называемых генами и записываемых в виде множества

$$X = \left\{ \left\{ \Pi_{1(1)} \dots \Pi_{n(1)} \right\}, \left\{ \Pi_{1(2)} \dots \Pi_{m(2)} \right\}, \left\{ \Pi_{1(3)} \dots \Pi_{k(3)} \right\} \right\}, \quad (6)$$

где (1)-(3) – номер типа параметра, n, m, k – числа параметров соответствующего типа. Значения параметров варьируются в процессе поиска решения. Рассмотрим используемые нами типы варьируемых параметров.

Тип 1. «Новый конструктивный элемент системы усиления». Параметр описывает интегральные характеристики сечений, допускаемых для выбора в процессе структурно-параметрического синтеза.

$$\Pi_{(1)} = \left\{ \{A\}, \{J_x\}, \{J_y\}, \{e\}, \{h_1\}, \{h_2\}, \{h_3\}, \{h_4\}, \{b_1\}, \{b_2\}, \{b_3\}, \{b_4\} \right\}, \quad (7)$$

где $\{A\} = \{A_1, A_2 \dots A_q\}$ – дискретное множество значений площадей, выбираемых для стержня, связанного с рассматриваемым параметром; q – число варьируемых значений интегральной характеристики; $\{J_x\} = \{J_{x1}, J_{x2} \dots J_{xq}\}$, $\{J_y\} = \{J_{y1}, J_{y2} \dots J_{yq}\}$ – множества значений центральных моментов инерции относительно декартовой системы осей сечения; $\{e\} = \{e_1, e_2 \dots e_q\}$ – множество векторов, определяющих ориентацию формируемого сечения в общей системе координат; $\{h_1\} = \{h_{11}, h_{12} \dots h_{1q}\}$, $\{h_2\}$, $\{h_3\}$, $\{h_4\}$, $\{b_1\} - \{b_4\}$ – дискретные множества координат четырех опасных точек сечений, в которых вычисляются напряжения.

Тип 2. «Усиленный конструктивный элемент». Параметр используется при синтезе стержней усиления, необходимых для повышения несущей способности существующих стержней. При моделировании используется известный прием, заключающийся во введении конечных элементов с жесткими вставками (консолями). Жесткие вставки определяют положение элементов усиления относительно существующего стержня. Для сечения, содержащего p элементов усиления, параметр имеет вид:

$$\Pi_2 = \left\{ \tilde{\Pi}_1, \tilde{\Pi}_2, \dots, \tilde{\Pi}_p \right\}^T, \quad (8)$$

где $\tilde{\Pi}_1 - \tilde{\Pi}_p$ – матрицы-строки, содержащие интегральные характеристики вводимых стержней. Пример описания составного сечения приведен на рис.1, где на схеме «б» изображены два конечных элемента, присоединенные к основному элементу на жестких вставках, выделенных жирными линиями. Длины вставок определяются проекциями $e_{y2}, e_{y3}, e_{z2}, e_{z3}$, вычисленными в глобальной системе координат $Oxuz$. Для конструктивного элемента, изображенного на рис. 1, параметр второго типа имеет вид:

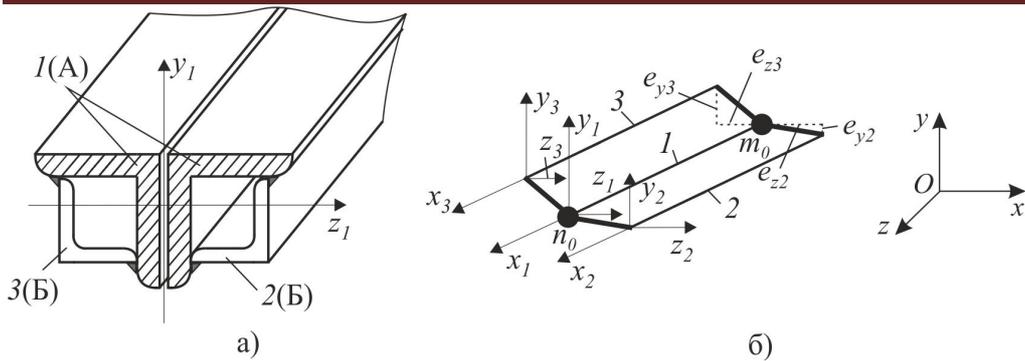


Рис. 1. Моделирование конструктивного элемента, подлежащего усилению: а – фрагмент элемента: А – существующий профиль, Б – элементы усиления; 1-3 – номера конечных элементов; б) схема конечно-элементного моделирования конструктивного элемента: n_0, m_0 – узлы конечного элемента

$$\Pi_2 = \left\{ \begin{array}{l} \{A\}_1, \{J_x\}_1, \{J_y\}_1, \{e\}_1, \{h_1\}_1, \{h_2\}_1, \{h_3\}_1, \{h_4\}_1, \{b_1\}_1, \{b_2\}_1, \{b_3\}_1, \{b_4\}_1 \\ \{A\}_2, \{J_x\}_2, \{J_y\}_2, \{e\}_2, \{h_1\}_2, \{h_2\}_2, \{h_3\}_2, \{h_4\}_2, \{b_1\}_2, \{b_2\}_2, \{b_3\}_2, \{b_4\}_2 \end{array} \right\} \quad (9)$$

Здесь индексы 1 и 2 множеств соответствуют номерам 2 и 3 элементов усиления, векторы $\{e\}_1, \{e\}_2$ определяют смещение центров тяжести этих элементов относительно узлов n_0, m_0 .

Тип 3. «Положение узла». Параметр может задаваться множествами:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi_{(3)x} \vee \Pi_{(3)}; \Pi_{(3)x} = \{x_1, x_2, \dots, x_d\}, \Pi_{(3)y} = \{y_1, y_2, \dots, y_e\}, \\ \Pi_{(3)y} \end{array} \right. \quad (10)$$

$$\Pi_{(3)} = \{\{x\}, \{y\}\}.$$

Здесь величины $\Pi_{(3)x}, \Pi_{(3)y}$ используются для независимого варьирования координат x, y узлов системы усиления в некоторой области, а $\Pi_{(3)}$ – для предварительного позиционирования узлов; d, e – числа возможных положений узла.

Итерационный процесс организуем по схеме смены популяций, предполагающей улучшение популяции в каждом поколении. Под популяцией будем понимать заданное число вариантов конструкции, а под поколением – текущую итерацию вычислительной схемы. Текущая популяция считается лучше предыдущей, если хотя бы для одной из особей в ней выживаемость является более высокой. В рассматриваемых нами задачах под критерием выживаемости подразумевается меньшее значение целевой функции, вычисляемой по зависимости (1) или (2) при жестком удовлетворении всех ограничений. Если хотя бы одно ограничение не удовлетворено, то особь исключается из рассмотрения.

Сначала формируем первое поколение. Сортируем значения генов по возрастанию. Для первой особи присваиваем каждому параметру максимальное из допустимых значений, второй – следующее по величине значение и т.д. При достижении минимальных значений параметров процесс повторяется. Дискретные множества задаем таким образом, чтобы для максимальных и близких к ним значениях параметров все ограничения, накладываемые на особь, выполнялись. Поясним эту процедуру на следующем примере. Пусть требуется сформировать начальное поколение, состоящее из пяти особей, каждая особь содержит 3 гена (параметра) $X = \{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3\}$. Каждый из параметров может принимать

следующие значения: $\Pi_1 = \{4, 3, 2\}$, $\Pi_2 = \{6, 4, 3\}$, $\Pi_3 = \{5, 3, 1\}$. Тогда популяция первого поколения будет иметь вид: $X_1 = \{4, 6, 5\}$; $X_2 = \{3, 4, 3\}$; $X_3 = \{2, 3, 1\}$; $X_4 = \{4, 6, 5\}$; $X_5 = \{3, 4, 3\}$. В этой популяции ограничения будут удовлетворяться, по крайней мере, для особей X_1, X_4 с максимальными значениями параметров, поэтому данные особи будут гарантированно рассматриваться в следующем поколении. Такой прием выполняется во избежание проблемы возникновения в следующем поколении «пустой» популяции.

Далее начинается итерационная процедура, содержащая следующие этапы:

1. Анализ работоспособности конструкций. Каждый дискретизированный по схеме метода конечных элементов вариант конструкции (особь) подвергается расчету, в ходе которого проверяется выполнение активных ограничений. Если все ограничения удовлетворены, то вычисляется условная стоимость конструкции, используемая для оценки выживаемости.

2. Редактирование элитной популяции объектов (ЭПО), создаваемой для сохранения лучшего решения. Рассмотренные на этапе 1 особи могут быть включены в ЭПО. Для этого проверяется два условия. Первое условие, необходимое для включения – отсутствие в ЭПО такого же варианта (клона) конструкции. Второе – значение функции цели объекта должно быть меньше максимального значения для объекта, уже присутствующего в ЭПО.

3. Формирование следующей популяции. Новая популяция состоит из двух лучших вариантов конструкций, берущихся из ЭПО, а остальные варианты формируются на основе генетических операторов [5].

Итерационный процесс прекращается, когда на протяжении 200-300 поколений в ЭПО не происходит никаких изменений. Тогда варианты конструкции, находящиеся в ЭПО проверяются на выполнение пассивных ограничений. Если эти ограничения удовлетворены, то считаем, что нами получено решение задачи. Если же нет – формируем с учетом полученных данных новые дискретные множества параметров и возвращаемся к формированию начального поколения.

Рассмотрим используемые в данном алгоритме генетические операторы.

Мутация. Для варианта конструкции может измениться один или несколько значений параметров, выбираемых случайным образом. В задачах оптимизации при варьировании относительно небольшого числа параметров показал свою эффективность классический оператор одноточечной мутации, иллюстрация работы которого для особи $X = \{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3\}$ приведена на рис. 2.

Родительская особь	Дочерняя особь после мутации
$X = \{4, 6, 5\}$	$\tilde{X} = \{4, 3, 5\}$

Рис. 2. Схема работы одноточечной мутации

На рис. 2 показано, что при получении дочерней особи \tilde{X} для изменения случайно был выбран параметр Π_2 и далее случайно выбрано одно из значений этого параметра, равное 3. Остальные гены были скопированы из родительской особи. При наличии у особи 10 и более генов (параметров) применение такого оператора может оказаться неэффективным. Поэтому нами используется оператор многоточечной регулируемой мутации, схема работы которого изложена в статье [4]. Суть работы данного оператора в том, что на первых итерациях (поколениях) изменению подлежат несколько параметров, но по мере приближения к оптимальному решению, оператор сводится к одноточечному.

Кроссовер. Данный оператор служит для обмена группами параметров между особями. Работа простейшего одноточечного оператора подробно описа-

на в книге [6]. Нами используется многоточечный регулируемый оператор, функционирующий аналогично регулируемому оператору многоточечной мутации, описанный подробно в работе [5].

Селекция. Оператор позволяет выбирать особи с лучшими значениями функции цели для получения из них новых дочерних особей. Используется упрощенная схема, согласно которой для родительских особей случайно выбираются особи из первых шести объектов в ЭПО с лучшими значениями функции цели. За критерий остановки движения по поколениям (остановки итераций) принимаем условие неизменности вариантов проектов в ЭПО по крайней мере в течение 200 поколений.

Пример 1. В результате оборудования здания подвесными кранами, пути которых соединены с фермой в узлах нижнего пояса средних панелей, эксплуатационная нагрузка на конструкцию увеличилась. Необходимо выполнить усиление для обеспечения восприятия фермой дополнительной нагрузки $P_k = 50$ кН. При этом изменение структуры несущей конструкции не допускается. Расчетная схема представлена на рис. 3.

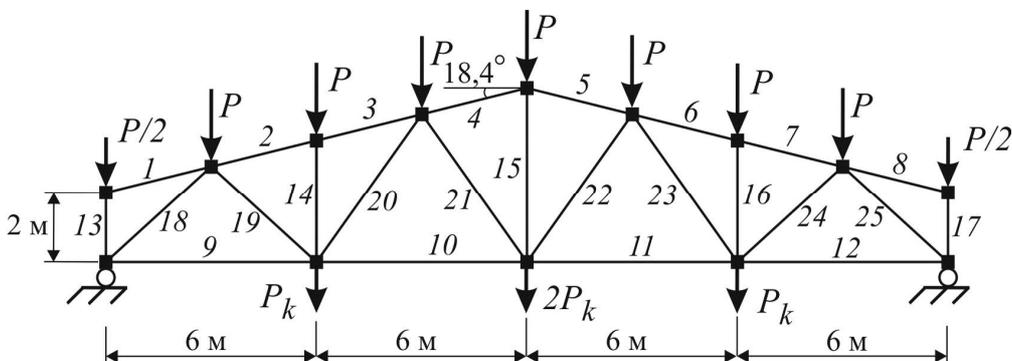


Рис. 3. Ферма, подлежащая усилению: 1-25 – номера конструктивных элементов

Объект изготовлен из стали С255 с модулем упругости $2 \cdot 10^5$ МПа и воспринимает узловую нагрузку $P = 108$ кН. Конструкция имеет сечения стержней в виде спаренных угловых профилей, типоразмеры которых представлены в таблице 1. Максимальный прогиб удовлетворяет нормативному значению и составляет 21,1 мм.

Первоначально необходимо определить конструктивные элементы фермы, подлежащие усилению. Для этого выполняем статический расчет при действии эксплуатационных нагрузок и дополнительных сил P_k , по результатам которого определяем коэффициенты запаса прочности и устойчивости стержней. Те элементы, в которых изменение этих коэффициентов оказалось максимальным, включаем в схему усиления. В соответствии с данным принципом для рассматриваемой фермы имеем схему, представленную на рис. 4,а.

Таблица 1. Характеристика фермы до усиления

Номера стержней	Тип конструктивного элемента	Типоразмер сечения: парный уголок по ГОСТ 8509-93
1,8	Верхний пояс	90×6
2-4,5-7		125×9
9,12	Нижний пояс	180×11
10,11		140×9
13,17	Стойки	56×4
14,16		90×6
15		110×7

18,25	Раскосы	125×12
19,24		110×7
20-23		140×9

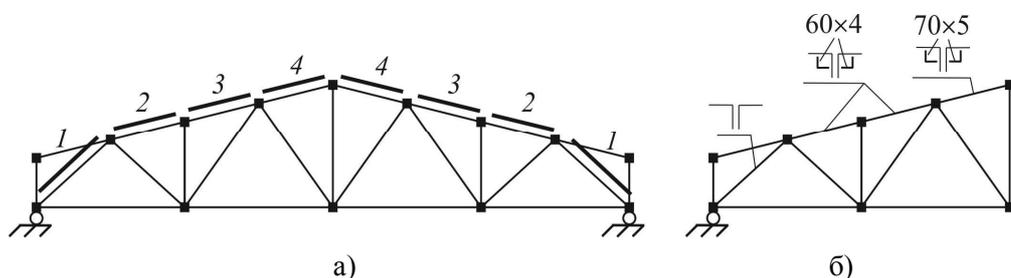


Рис. 4. Варьируемые параметры (а) и результаты решения задачи (б):
1-4 – номера независимо варьируемых профилей, связанных с конструктивными элементами.

Для решения задачи будем использовать параметры второго типа, характеристика которых представлена в табл. 2.

Таблица 2. Характеристика варьируемых параметров

№ параметра, описание, тип	Типоразмеры и значения, допускаемые для выбора
1-4; сечение стержня; (2)	1) «nil»; 2) 2L20 × 3; 3) 2L30 × 3; 4) 2L40 × 3; 5) 2L50 × 4; 6) 2L60 × 4; 7) 2L70 × 5; 8) 2L80 × 6. 9) 2L100 × 7

В таблице 2 «nil» означает отсутствие элемента усиления. Для имитации отсутствия элементов вводятся малые (на 2-3 порядка меньше минимального ненулевого значения) значения геометрических характеристик профилей. Параметры группировались с учетом симметрии относительно средней стойки фермы. Задавалось две наиболее невыгодные комбинации нагружений, учитывающие наличие двух или четырех тельферов в пролете фермы.

В генетической итерационной схеме в каждом поколении рассматривалась популяция из 25 особей. Поиск рационального решения длился 10 поколений, процесс поиска был остановлен на 210 поколении, всего было рассчитано 5250 несущих систем. Полный перебор возможных вариантов расчета связан с выполнением 262144 расчетов фермы.

Три наиболее рациональных решения, полученных в результате поиска, представлены в таблице 3, лучший вариант усиления фермы – на рис. 4,б. Стоимость стержневой системы усиления в уровне цен января 2013 г. составила 5237 руб. Максимальный прогиб – 24,58 мм.

Таблица 3. Особи из ЭПО

Особь	Масса элементов усиления, кг	Номер типоразмера из табл. 2 для параметра			
		1	2	3	4
X_1	158,72	1	6	6	7
X_2	179,42	1	7	6	7
X_3	179,42	1	6	7	7

Пример 2. Необходимо выполнить усиление фермы (рис. 1) при увеличении нормативной эксплуатационной нагрузки $P = 108$ кН в 1,5 раза. При этом изменение сечений существующих стержней не допускается. По технологическим требованиям разрешается размещать систему усиления в пределах размера h по высоте и l по длине, где формируем избыточную структуру дополнительной конструкции (рис. 5).

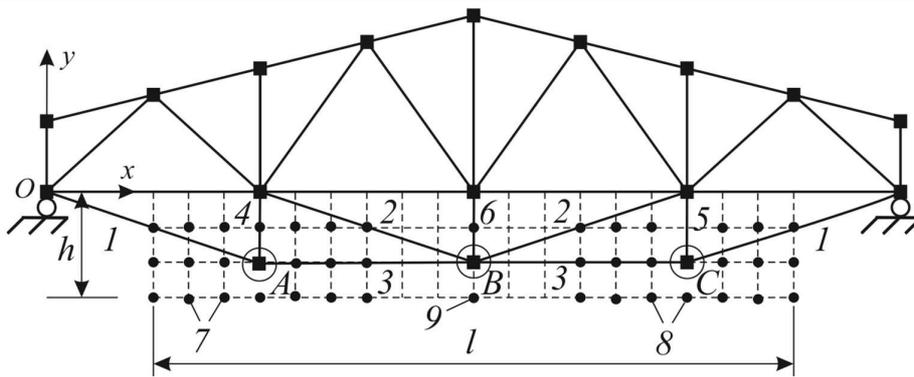


Рис. 5. Исходные данные для усиления путем изменения конструктивной схемы: 1-6 – номера независимо варьируемых параметров сечений, 7-9 – номера параметров, связанных с изменением положения узлов

На рис. 5 площадь $l \times h$ разбита на квадраты со стороной в 1 м. Затусованные точки в углах квадратов показывают возможные независимые положения трех узлов нижнего пояса, связанных с параметрами 7, 8 и 9. Параметры 1-6 относятся к первому типу, а параметры 7-9 – к третьему. Дискретные множества допустимых значений для варьируемых параметров представлены в табл. 4.

Таблица 4. Характеристика варьируемых параметров

Номер параметра, описание, тип	Типоразмеры и значения, допускаемые для выбора
1	2
1; сечение стержня; (1)	«nil», 2L50 × 5, 2L70 × 5, 2L90 × 7, 2L100 × 6, 2L120 × 8, 2L140 × 10, 2L160 × 10
2; сечение стержня; (1)	«nil», 2L70 × 5, 2L90 × 7, 2L100 × 6, 2L120 × 8, 2L140 × 10, 2L160 × 10, 2L180 × 10
3; сечение стержня; (1)	То же
4; сечение стержня; (1)	-//-
5; сечение стержня; (1)	-//-
6; сечение стержня; (1)	-//-
7; узел A с координатами x, y, m ; (3)	(3;-1), (3;-2), (3;-3), (4;-1), (4;-2), (4;-3), (5;-1), (5;-2), (5;-3), (6;-1), (6;-2), (6;-3), (7;-1), (7;-2), (7;-3), (8;-1), (8;-2), (8;-3), (9;-1), (9;-2), (9;-3)

Продолжение таблицы 4

1	2
8; узел C с координатами x, y, m ; (3)	(15;-1), (15;-2), (15;-3), (16;-1), (16;-2), (16;-3), (17;-1), (17;-2), (17;-3), (18;-1), (18;-2), (18;-3), (19;-1), (19;-2), (19;-3), (20;-1), (20;-2), (20;-3), (21;-1), (21;-2), (21;-3)
9; координата узла B по оси y, m ; (3) _y	-1; -2; -3

Размер популяции принимался равным 25 особей. Поиск рационального решения длился 70 поколений, итерационный процесс остановлен через 200 поколений, всего было рассчитано 1750 особей. Полный перебор возможных вариантов расчета связан с проведением около $2,6 \cdot 10^7$ расчетов фермы. Результаты оптимизации представлены в табл. 5 и на рис. 6. Масса лучшего варианта системы усиления 545,5 кг. Наибольший прогиб – 24,5 мм. Стоимость усиления в уровне цен января 2013 г. с учетом территориального расположения составила 18000 руб.

Таблица 5. Особи 70-270 -го поколения из ЭПО

Особь	Значение параметра								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_1	2L90 × 7	«nil»	2L90 × 7	2L70 × 5	2L70 × 5	2L50 × 5	(4;-2)	(20;-2)	-3
X_2	2L90 × 7	«nil»	2L90 × 7	2L70 × 5	2L90 × 7	2L50 × 5	(4;-2)	(20;-2)	-3
X_3	2L90 × 7	«nil»	2L90 × 7	2L90 × 7	2L70 × 5	2L50 × 5	(4;-2)	(20;-2)	-3

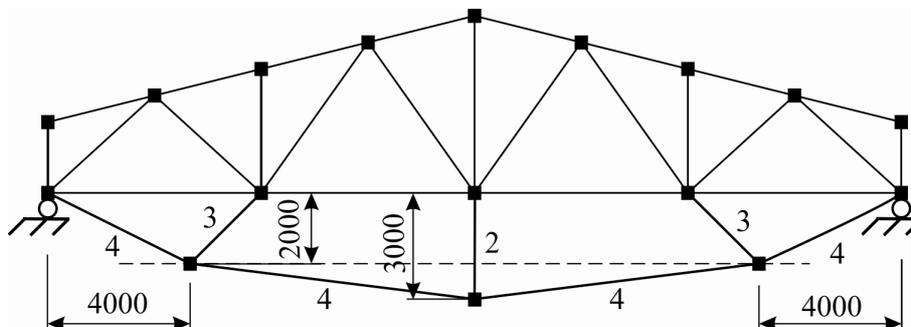


Рис. 6. Результаты оптимизации для особи X_1

Вывод. Разработана методика, позволяющая с помощью эволюционного моделирования выполнять рациональное вариантное проектирование усиления ферм путем увеличения сечений стержней и при изменении конструктивной схемы объекта. Предлагаемый алгоритм без затруднений реализуется на ЭВМ и рекомендуется к применению в системах автоматизированного проектирования реконструкции и ремонта зданий. Предлагаемая итерационная схема может быть адаптирована для решения задач усиления пространственных стержневых конструкций.

Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ 13-08-00457 «Оптимизация конструктивных систем с учетом возможности аварийных ситуаций».

Л и т е р а т у р а

1. Серпик, И.Н. Генетическая процедура синтеза несущих конструкций вагонов [Текст] / И.Н. Серпик, В.В. Мирошников, М.И. Серпик и др. // Качество машин: Сб. тр. 4-й Междунар. научн.-техн. конф. – Брянск, 2001. – Т. 1. – С. 75-77.
2. Серпик, И.Н. Структурно-параметрическая оптимизация стержневых металлических конструкций на основе эволюционного моделирования [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексейцев, Ф.Н. Левкович и др. // Известия вузов. Строительство. – 2005. – №8. – С. 16-24.
3. Юрьев, А.Г. Генезис эволюционной стратегии оптимизации [Текст] / А.Г. Юрьев // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 12. – стр. 346.
4. Кирсанов, М.Н. Генетический алгоритм оптимизации стержневых систем // Строительная механика и расчет сооружений [Текст] / М.Н. Кирсанов. – 2010. – № 2. – С. 60–63.
5. Алексейцев, А.В. Поиск рациональных параметров стержневых металлоконструкций на основе адаптивной эволюционной модели [Текст] / А.В. Алексейцев, Н.С. Курченко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2011. – № 3. – С. 7-15.
6. Серпик, И.Н. Оптимизация металлических конструкций путем эволюционного моделирования [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексейцев. – М.: Издательство АСВ, 2012. – 240 с.
7. Banichuk, N.V. Shape optimization of quasi-brittle axisymmetric shells by genetic algorithm [Text] / N.V. Banichuk, M. Serra, A. Sinitsyn // Computers & Structures. – 2006. – Vol. 84, N. 29-30. – P. 1925-1933.
8. 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.

9. Wu, C.Y. Truss structure optimization using adaptive multi-population differential evolution [Text] / C.Y. Wu, C.Y. Tseng // *Structural and Multidisciplinary Optimization*. – 2010. – Vol. 42. – P. 351-369.
10. 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.
11. Canyurt, O.E. Cellular genetic algorithm technique for the multicriterion design optimization [Text] / O.E. Canyurt, P. Hajela // *Structural and Multidisciplinary Optimization*. – 2010. – Vol. 40, N. 1-6. – P. 201-214.
12. СП 16.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП II–23–81*. Стальные конструкции [Текст] / М.: ГУП ЦПП, 2011. – 96 с.
13. СП 20.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*. Нагрузки и воздействия [Текст] / М.: ГУП ЦПП, 2011. – 36 с.

References

1. Serpik, I.N., Miroshnikov, V.V., Serpik, M.I. (2001). Genetic synthesis procedure wagons bearing structures. *Kachestvo mashin: Sb. tr. 4-y Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.*, Bryansk, Vol. 1, p. 75-77.
2. Serpik, I.N., Alekseytsev, A.V., Levkovich, F.N., Tyutyunnikov, A.I. (2005). Structural-parametric optimization of a rod metallic structures based on evolutionary modeling. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, №8, p. 16-24.
3. Yur'yev, A.G. (2007). The Genesis of evolutionary optimization strategy. *Fundamental'nyye issledovaniya*, № 12, p. 346.
4. Kirsanov, M.N. (2010). Genetic algorithm optimization of rod systems. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, № 2, p. 60–63.
5. Alekseytsev, A.V., Kurchenko, N.S. (2011). Search of the rational parameters of metal-rod designs based on adaptive evolutionary model, *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzheniy*, № 3, p. 7-15.
6. Serpik, I.N., Alekseytsev, A.V. (2012). Optimization of metal structures by evolutionary modeling, M.: Izdatel'stvo ASV, 240 p.
7. Banichuk, N.V., Serra, M, Sinityn, A. (2006). Shape optimization of quasi-brittle axisymmetric shells by genetic algorithm. *Computers & Structures*, Vol. 84, N. 29-30, p. 1925-1933.
8. Balling, R., Briggs, R, Gillman, K. (2006). Multiple optimum size/shape/topology designs for skeletal structures using a genetic algorithm. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 132, p. 1158 -1165.
9. Wu, C.Y., Tseng, C.Y. (2010). Truss structure optimization using adaptive multi-population differential evolution. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Vol. 42, p. 351-369.
10. Su, R., Gui, L., Fan, Z. (2009). Truss topology optimization using genetic algorithm with individual identification technique. *Proceedings of the World Congress on Engineering*. July 1 – 3, London, U.K., 2009, Vol. 2, p. 45-56.
11. Canyurt, O.E., Hajela, P. (2010). Cellular genetic algorithm technique for the multicriterion design optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2010, Vol. 40, N. 1-6, p. 201-214.
12. СП 16.13330.2011. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II–23–81*. Stal'nyye konstruktсий. M.: GUP TSPP, 2011, 96 p.
13. СП 20.13330.2011. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07–85*. Nagruzki i vozdeystviya. M.: GUP TSPP, 2011, 36 p.

OPTIMAL SIZE-AND-SHAPE SYNTHESIS OF SYSTEM OF STRENGTHENING OF STEEL TRUSSES

A.V. Alekseytsev

Bryanskaya gos. ingenerovo-tehnol. akademiya, Bryansk

The computing circuit for search the optimal size/shape of structural design to improve the bearing capacity of metal trusses based on the evolutionary modeling is developed. We considered strengthening by increasing the rod cross section and a change structural layout of the object. The topology formation is performed based on exception of some redundant rods of structure and a change position of nodes. By increasing of cross section rods the strengthening is modeled by introducing finite elements with hard consoles. Optimization is carried out by path the minimum cost of structures. The examples of strengthen in truss equipment building overhead cranes and increase operational load on the roof is given.

KEY WORDS: genetic algorithms, size-and-shape synthesis, strengthening of a truss.