

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОГО РАСЧЕТА ПЛОСКИХ ФЕРМ

В работе рассматривается аналитическое решение задачи оптимального проектирования произвольной плоской фермы и один из способов программной реализации алгоритма расчета. Проанализированы общие проблемы проектирования инженерных конструкций. Описан один из способов аналитического решения задачи оптимального проектирования фермы, который лег в основу разработанной программы Optimum Steel Truss, реализуемой в любой версии Windows. В качестве критерия оптимизации принята минимальная масса конструкции с ограничениями по двум предельным состояниям. Описано возможное применение данного программного продукта в практике проектирования и варианты оценки стоимости конструкции.

Ключевые слова: оптимизация, автоматизированное проектирование, ферма, программная среда Optimum Steel Truss.

A.A. BABIY, P.G. BALDUK, N.G. SURYANINOV

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

PROGRAM IMPLEMENTATION OF OPTIMIZATION CALCULATION OF PLANE FARMS

The paper deals with the analytical solution of the problem of optimal design of an arbitrary flat truss and one of the ways of software implementation of the calculation algorithm. The general problems of the design of engineering structures are analyzed. One of the ways to analytically solve the problem of optimal design of a farm, which formed the basis of the developed program Optimum Steel Truss, implemented in any version of Windows, is described. As a criterion for optimization, the minimum mass of a design with constraints on two limiting states is adopted. A possible application of this software product in design practice and options for estimating construction costs is described.

Keywords: optimization, computer-aided design, farm, software environment Optimum Steel Truss

Введение. Проблема оптимизации конструктивных решений тех или иных элементов машин, зданий и сооружений имеет важнейшее практическое значение, поскольку ее основной целью является, или, во всяком случае, должна являться задача снижения себестоимости единицы продукции. Этот вопрос особенно актуален сейчас, в связи с резким подорожанием всех материалов и комплектующих.

Анализ исследований и публикаций. Несмотря на очевидную значимость проблемы, нельзя сказать, что вопросу оптимизации ферм посвящено много работ. По-видимому, это связано с общей тенденцией к компьютеризации инженерных расчетов. При этом, как правило, для оптимизационных расчетов используются современные компьютерные программы. Однако далеко не все они позволяют выполнить оптимизацию. Если же учесть, что это дорогостоящие программы, а работа в них требует специальной подготовки пользователя, то весьма привлекательной выглядит разработка авторской программной единицы, которая легка и понятна в управлении, и может быть использована на любом компьютере, оснащенном оболочкой Windows.

Анализ работ по оптимизации ферм показывает, что в качестве целевой функции обычно выбирается минимальная масса при фиксированной геометрии решетки фермы [1, 2]; оптимизация очертания фермы при заданных упругих свойствах материала [3, 4]; оптимальное распределение приложенных нагрузок [5, 6]. Можно упомянуть и работы, связанные с эволюционной оптимизацией ферм или построением генетического алгоритма [7–9].

Целью работы является построение методики оптимизации ферм по минимальной массе за счет дополнительного изменения решетки с последующей разработкой реализующей программной единицы.

Изложение основного материала исследования.

Рассмотрим ферму из S прямолинейных стержней, соединяющих n узлов, в том числе, m внутренних узлов и $n-m$ опорных узлов. Число опорных стержней удовлетворяет соотношению

$$S_0 = 3n - s. \quad (1)$$

Внешняя нагрузка, действующая на ферму, представляется в виде системы сосредоточенных сил, приложенных к внутренним узлам, и описывается вектором

$$P = \begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_i \\ \vdots \\ P_m \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где P_i — вектор нагрузки в произвольном узле ($i=1, \dots, m$). Элементами этого вектора являются проекции сосредоточенной силы, приложенной к произвольному узлу, на координатной оси.

Вес произвольной фермы будет являться функцией, зависящей от площадей поперечных сечений элементов A_s (при заданных длинах k -го стержня l_k):

$$Q = (A_1, \dots, A_s) = \sum_{k=1}^s \gamma_k l_k A_k, \quad (3)$$

где γ_k — удельный вес конструкционного материала k -го стержня фермы. Выражение (3) определяет целевую функцию (далее ЦФ) для рассматриваемой фермы, переменными которой являются A_k ($k = 1, \dots, s$). Система должна удовлетворять два предельных состояния, которые и ограничивают целевую функцию (1) по внутренним усилиям и перемещениям. Считая, что материал конструкций произвольного стержня фермы одинаково сопротивляется растяжению и сжатию, а также что узлы фермы соединяются шарнирно (коэффициент продольного изгиба во всех случаях принимаем равным 1), площади поперечных сечений, исходя из условий первого предельного состояния (ППС), должны удовлетворять следующему ограничению:

$$\frac{|N_k|}{A_k} \leq R_k, \quad (4)$$

где R_k — расчетное сопротивление материала.

Также, согласно второму предельному состоянию (ВПС), чрезмерные перемещения ограничиваются следующим образом:

$$\Delta \leq [\Delta], \quad (5)$$

где Δ — величина наибольшего перемещения, возникающего в конструкции от внешней нагрузки; $[\Delta]$ — предельная величина перемещения, установленная нормами проектирования.

Задача отыскания минимума целевой функции (3) с учетом (4) и (5) является задачей нелинейного программирования, т.к. указанные ограничения зависят от обратных величин переменных целевой функции, которая имеет два случая. В первом случае минимум ЦФ достигается выполнением условий ППС и одновременно удовлетворяет ограничению (5). Во втором случае, при значениях A_k (4), условие (5) не выполняется и минимум ЦФ определяется методом математического программирования (например, такие «тяжелые» программные комплексы как Ansys, Nastran, SoFiStik) или аналитически отыскивается путем ввода дополнительных переменных.

Применяя метод множителей Лагранжа, производя некоторые преобразования, в конечном итоге получим формулу для определения площадей поперечных сечений стержней фермы A_k ($k=1, \dots, s$), при которых ЦФ принимает минимальное значение:

$$A_k = \sqrt{\frac{c_k}{\gamma_k} \frac{\sum_{j=1}^s l_j \sqrt{c_j}}{[\Delta]}}, \quad (6)$$

где c_k, c_i — константы, характеризующие произвольный стержень.

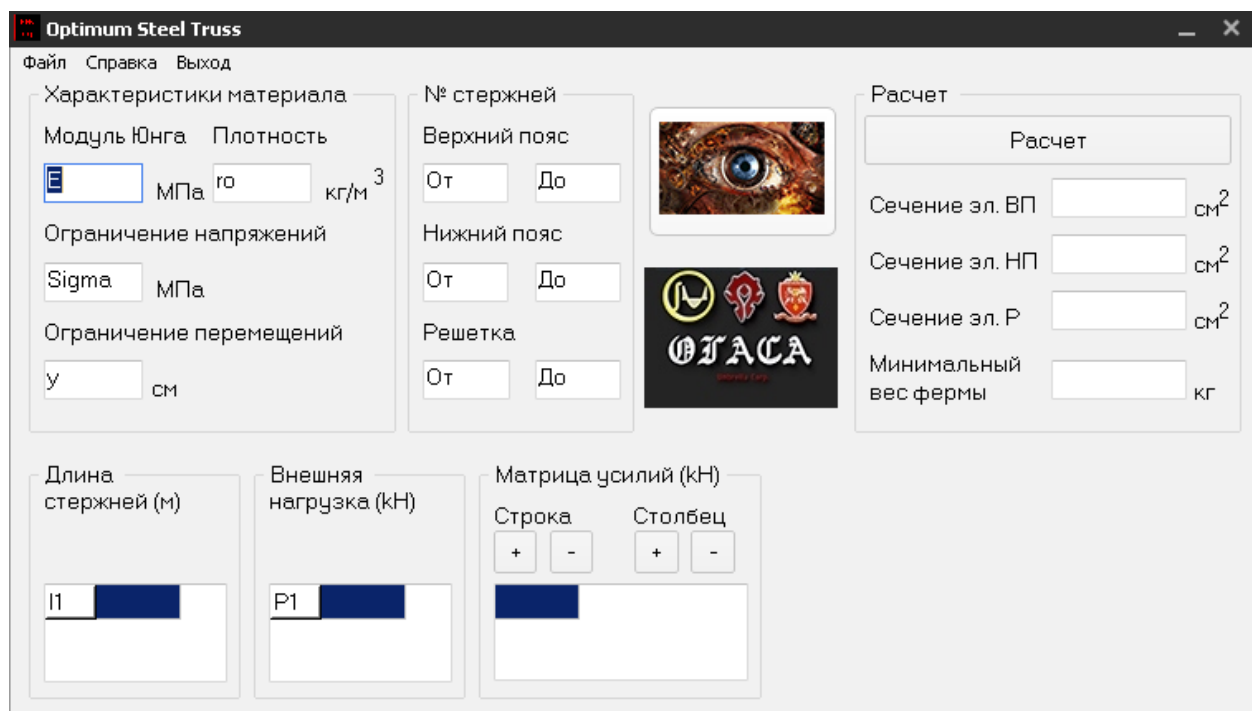


Рис. 1. Интерфейс программы OST (портативная версия)

Для реализации изложенного подхода разработана программа Optimum Steel Truss (OST) — программа оптимизации ферменных конструкций. Данный программный продукт, используя исходные данные и некоторые предварительные расчеты, позволяет рассчитать минимальный вес фермы и оптимизировать сечения стержней по прочностным характеристикам. Стержни фермы в программе делятся

на 3 типа: 1 — верхний пояс, 2 — нижний пояс, 3 — раскосы и стойки. Расчет производится, исходя из ограничений напряжений в стержнях и перемещений узлов. Программа имеет дружелюбный интерфейс интуитивно понятный пользователю (рис. 1).

Существуют два вида программы: установочная и портативная. Они отличаются наличием пополняемой библиотеки с уже просчитанными «популярными» фермами в установочной версии (рис. 2). Для ферм из библиотеки редактируемыми параметрами является внешняя нагрузка и характеристики материала, что позволяет максимально быстро просчитать «популярную» ферму под Ваши требования.

В программе предусмотрен файл справки, где подробно описан весь интерфейс, возможности программы и все вопросы, которые могут возникнуть в процессе работы.

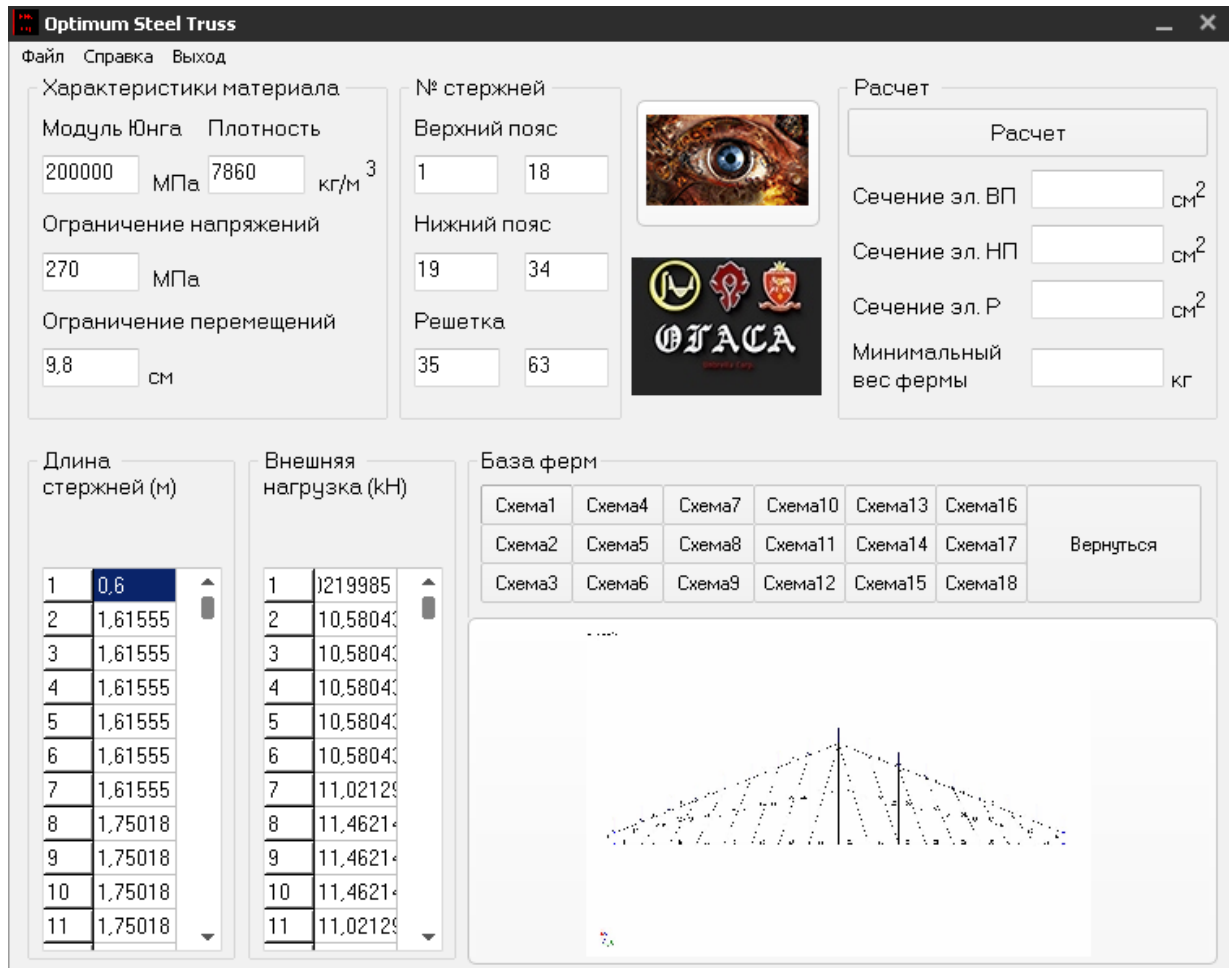


Рис. 2. Интерфейс программы OST (full version)

Рассмотрим поэтапно процесс работы с программой.

Ввод исходных данных

Модуль Юнга — величина, характеризующая свойства материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации:

Модуль Юнга
 МПа

Плотность материала — скалярная физическая величина, определяемая как отношение массы тела к занимаемому этим телом объёму:

Плотность
 кг/м³

Задание ограничения по величине напряжений, возникающих в стержнях фермы:

Ограничение напряжений
 МПа

Задание ограничения по величине перемещений узлов фермы:

Ограничение перемещений

у см

Длины стержней элементов (1, ..., n):

Длина
стержней (м)l1

Узловая нагрузка:

Внешняя
нагрузка (кН)P1

Усилия в стержнях фермы от единичного вектора приложенной нагрузки в каждом из загружаемых узлов:

Матрица усилий (кН)

Строка

+

-

Столбец

+

-

Числовые диапазоны, в пределах которых находятся пронумерованные стержни фермы верхнего пояса, нижнего пояса и элементов решетки (раскосов и стоек):

№ стержней

Верхний пояс

От До

Нижний пояс

От До

Решетка

От До

Для базы данных, доступной в «full version», исходными данными являются только внешняя узловая нагрузка (при наличии в базе требуемой схемы).

Расчет. Программа имеет динамический интерфейс, запрограммированный под большое количество стержней фермы. Целевой функцией оптимизации является минимальный вес фермы, который зависит от площади сечений и длины стержней. Площадь сечений принимается одинаковой, исходя из соответствующих групп: верхний пояс, нижний пояс и стержни решетки. Сечение стержней рассчитывается по двум предельным состояниям, которые и ограничивают целевую функцию по внутренним усилиям и перемещениям. Считается, что материал конструкции одинаково сопротивляется растяжению и сжатию, а узлы фермы соединяются шарнирно; коэффициент продольного изгиба во всех случаях принимается равным единице.

Инициализация расчета производится путем нажатия на соответствующую кнопку.

Пример расчета. Ввод исходных данных (рис. 3, 4).

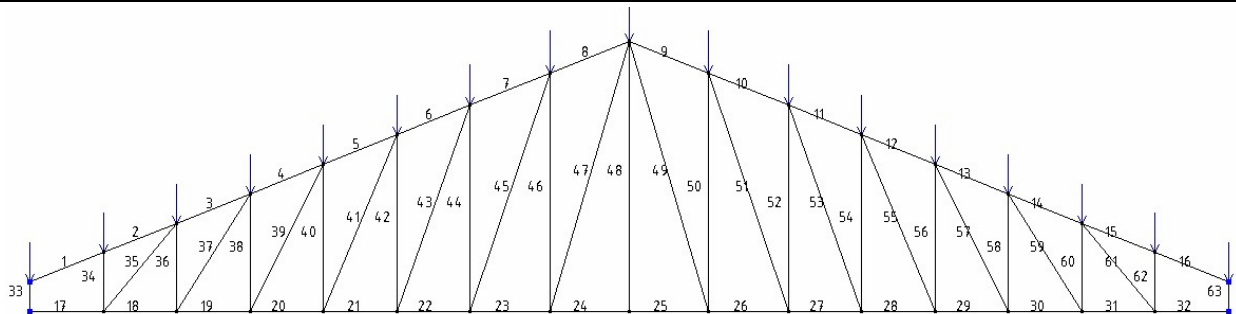


Рис. 3. Расчетная схема фермы

- пролет фермы: 24,5 м;
- модуль Юнга (сталь): 200000 МПа;
- плотность (сталь С275): 7860 кг/м³;
- ограничение по напряжениям в стержнях (сталь С275): 270 МПа;
- ограничение по перемещениям узлов (ДСТУ Б В.1.2-3-2006 «Прогибы и перемещения»): 9,8 см;
- диапазоны стержней: верхнего пояса — 1-18; нижнего пояса — 19-34; элементов решетки — 35-

63.

Предварительные расчеты (длина стержней, матрица усилий и внешняя нагрузка) производятся аналитически или в сторонней программе (по выбору пользователя).

Optimum Steel Truss

Файл Справка Выход

Характеристики материала

Модуль Юнга: 200000 МПа; Плотность: 7860 кг/м³

Ограничение напряжений: 270 МПа

Ограничение перемещений: 9,8 см

№ стержней

Верхний пояс: 1 - 18

Нижний пояс: 19 - 34

Решетка: 35 - 63

Расчет

Расчет

Сечение эл. ВП: 0 см²

Сечение эл. НП: 0 см²

Сечение эл. Р: 0 см²

Минимальный вес фермы: 0 кг

Длина стержней (м)

1	0,6
2	1,61555
3	1,61555
4	1,61555
5	1,61555
6	1,61555
7	1,61555
8	1,75018
9	1,75018
10	1,75018
11	1,75018

Внешняя нагрузка (кН)

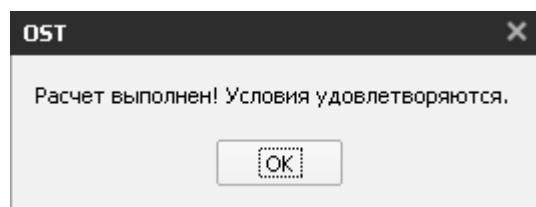
1	1219985
2	10,5804
3	10,5804
4	10,5804
5	10,5804
6	10,5804
7	11,0212
8	11,4621
9	11,4621
10	11,4621
11	11,0212

Матрица усилий (кН)

Строка	Столбец	1	2	3	4	5	6	7	8
1	+	-1,000	-0,891	-0,836	-0,782	-0,727	-0,673	-0,618	-0,559
2	-	0,000	-2,399	-2,252	-2,105	-1,958	-1,811	-1,665	-1,505
3	+	0,000	-2,399	-2,252	-2,105	-1,958	-1,811	-1,665	-1,505
4	-	0,000	-1,501	-2,252	-2,105	-1,958	-1,811	-1,665	-1,505
5	+	0,000	-1,053	-1,579	-2,105	-1,958	-1,811	-1,665	-1,505
6	-	0,000	-0,783	-1,175	-1,567	-1,958	-1,811	-1,665	-1,505
7	+	0,000	-0,604	-0,906	-1,208	-1,509	-1,811	-1,665	-1,505
8	-	0,000	-0,476	-0,713	-0,951	-1,189	-1,427	-1,665	-1,505
9	+	0,000	-0,372	-0,559	-0,745	-0,931	-1,117	-1,304	-1,505
10	-	0,000	-0,294	-0,441	-0,587	-0,734	-0,881	-1,028	-1,187
11	+	0,000	-0,204	-0,341	-0,487	-0,634	-0,781	-0,928	-1,087

Рис. 4. Окно программы с исходными данными

После нажатия на кнопку «расчет», программа сообщит о выполнении расчёта:



В поле вывода результатов появятся результаты (рис. 5).

Optimum Steel Truss

Файл Справка Выход

Характеристики материала

Модуль Юнга Плотность
 200000 МПа 7860 кг/м³

Ограничение напряжений
 270 МПа

Ограничение перемещений
 9.8 см

№ стержней

Верхний пояс
 1 18

Нижний пояс
 19 34

Решетка
 35 63

Расчет

Сечение эл. ВП 8.088829084 см²

Сечение эл. НП 1.635200565 см²

Сечение эл. Р 1.822399447 см²

Минимальный вес фермы 353.88604306 кг

Длина стержней (м)

1	0.6
2	1.61555
3	1.61555
4	1.61555
5	1.61555
6	1.61555
7	1.61555
8	1.75018
9	1.75018
10	1.75018
11	1.75018

Внешняя нагрузка (кН)

1	1219985
2	10.58043
3	10.58043
4	10.58043
5	10.58043
6	10.58043
7	11.02129
8	11.46214
9	11.46214
10	11.46214
11	11.02129

Матрица усилий (кН)

Строка	Столбец	+	-	+	-
1	1	-1.000	-0.891	-0.836	-0.782
2	1	0.000	-2.399	-2.252	-2.105
3	1	0.000	-2.399	-2.252	-2.105
4	1	0.000	-1.501	-2.252	-2.105
5	1	0.000	-1.053	-1.579	-2.105
6	1	0.000	-0.783	-1.175	-1.567
7	1	0.000	-0.604	-0.906	-1.208
8	1	0.000	-0.476	-0.713	-0.951
9	1	0.000	-0.372	-0.559	-0.745
10	1	0.000	-0.294	-0.441	-0.587
11	1	0.000	0.000	0.000	0.000

Рис. 5. Окно программы с результатами расчета

Optimum Steel Truss

Файл Справка Выход

Характеристики материала

Модуль Юнга Плотность
 200000 МПа 7860 кг/м³

Ограничение напряжений
 270 МПа

Ограничение перемещений
 9.8 см

№ стержней

Верхний пояс
 1 18

Нижний пояс
 19 34

Решетка
 35 63

Расчет

Сечение эл. ВП 8.088829084 см²

Сечение эл. НП 1.635200565 см²

Сечение эл. Р 1.822399447 см²

Минимальный вес фермы 353.88604306 кг

Длина стержней (м)

1	0.6
2	1.61555
3	1.61555
4	1.61555
5	1.61555
6	1.61555
7	1.61555
8	1.75018
9	1.75018
10	1.75018
11	1.75018

Внешняя нагрузка (кН)

1	1219985
2	10.58043
3	10.58043
4	10.58043
5	10.58043
6	10.58043
7	11.02129
8	11.46214
9	11.46214
10	11.46214
11	11.02129

База ферм

Схема1	Схема4	Схема7	Схема10	Схема13	Схема16
Схема2	Схема5	Схема8	Схема11	Схема14	Схема17
Схема3	Схема6	Схема9	Схема12	Схема15	Схема18

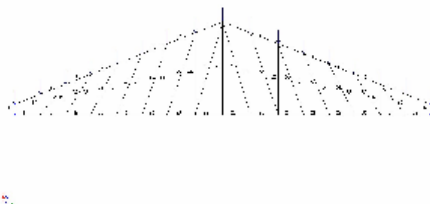


Рис. 6. Окно программы с использованием «базы данных»

Сохранение результатов расчета. Результаты расчета можно копировать путем сохранения соответствующего окна программы, а можно сохранить в отдельный текстовый файл на диске («Файл - Сохранить результат расчета»). В программе реализован «буфер данных» для хранения исходных данных последнего расчета (сохранение доступно через пункт меню «файл - сохранить исходные данные; открытие — «открыть предыдущий расчет»). Также через меню «файл» можно «очистить исходные данные» и открыть «базу данных».

Расчет фермы из «базы данных» производится путем нажатия на нужную схему в блоке «база ферм», замене «внешней нагрузки» и нажатии на клавишу «расчет»; все остальные данные заполняются автоматически (рис. 6). В базе данных доступна графическая схема фермы с обозначением загружаемых узлов и нумерацией стержней (рис. 7).

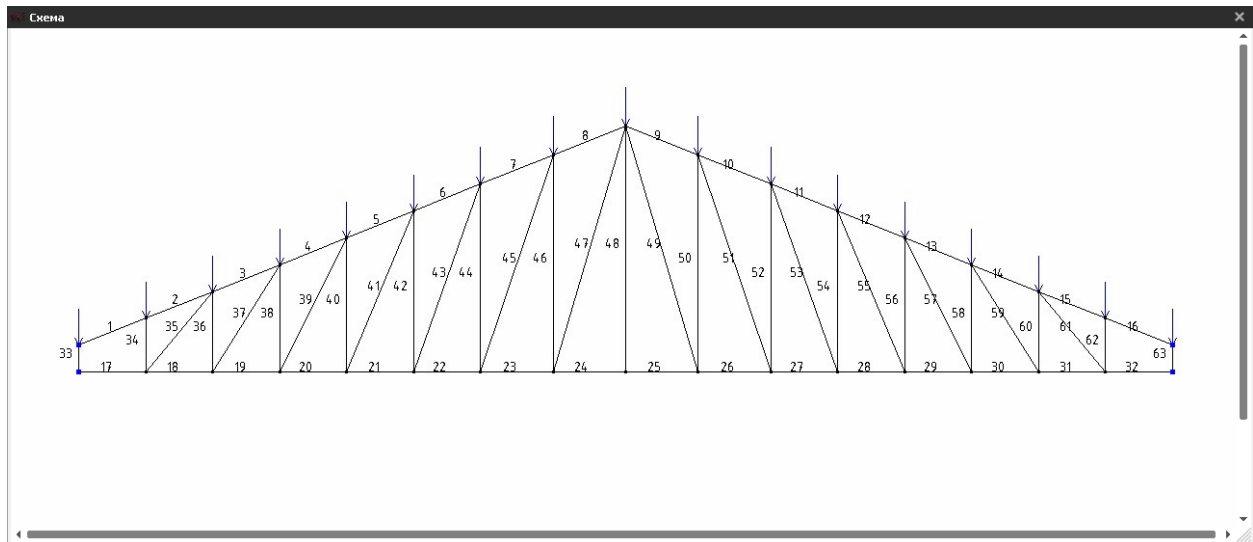


Рис. 7. Увеличенная схема фермы (появляется по нажатию на схему)

Процесс оптимизации массы фермы графически представлен на рис. 8.

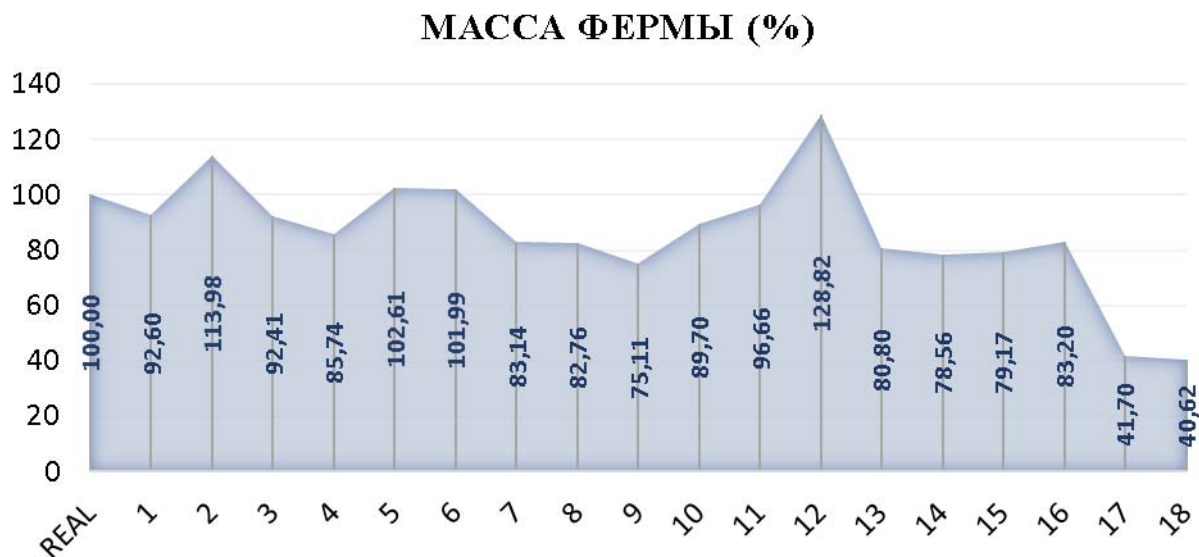


Рис. 8. Оптимизация массы фермы

Выводы. Таким образом, разработан алгоритм оптимизации фермы и программа для его реализации, которая может быть использована в любой версии оболочки Windows. Целевой функцией оптимизации является минимальный вес фермы. Площадь сечений принимается одинаковой. Сечение стержней рассчитывается по двум предельным состояниям, которые и ограничивают целевую функцию по внутренним усилиям и перемещениям.

Литература

1. Хог Э. Прикладное оптимальное проектирование. Механические системы и конструкции / Э. Хог, Я. Арора. — М. : Мир, 1983. — 479 с.

2. Проектирование статически определимой фермы минимального веса / [В.М. Кобринец, А.Н. Орлов, Н.Н. Сорока, Ю.А. Школа]. — Одесса : ОГАСА, 2006. — 148 с.
3. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций / Я.М. Лихтарников. — М. : Стройиздат, 1979. — 320 с.
4. Овчинников И.Г. Математическое моделирование процесса взаимодействия элементов конструкций с агрессивными средами / И.Г. Овчинников, В.В. Петров // Деформирование материалов и элементов конструкций в агрессивных средах. — Саратов : СПИ, 1983. — С. 3–11.
5. Алексеенко Б.Г. Расчет и оптимальное проектирование рамных систем, подверженных коррозионному износу / Б.Г. Алексеенко // Математические методы в задачах расчета и проектирования сложных механических систем : сб. научн. трудов. — К., 1992. — С. 4–10.
6. Почтман Ю.М. Динамическое программирование в задачах строительной механики / Ю.М. Почтман, В.А. Бараненко. — М. : Стройиздат, 1975. — 110 с.
7. Алексейцев А.В. Эволюционная оптимизация стальных ферм с учетом узловых соединений стержней / А.В. Алексейцев // Инженерно-строительный журнал. — СПб, 2013. — №5. — С. 28–37.
8. Юрьев А.Г. Эволюционные и генетические алгоритмы оптимизации строительных конструкций / А.Г. Юрьев, С.В. Ключев. — Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2006. — 134 с.
9. Кирсанов М.Н. Генетический алгоритм оптимизации стержневых систем / М.Н. Кирсанов // Строительная механика и расчет сооружений. — М., 2010. — № 2. — С. 60–63.

Рецензія/Peer review : 19.3.2017 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2017 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК 681.327.12

М.М. БИКОВ, А.Д. ГАФУРОВА, В.В. КОВТУН

Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМІТЕТУ НЕЙРОМЕРЕЖ У АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВЦІВ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Стаття присвячена дослідженню процесу прийняття рішень у автоматизованій системі розпізнавання мовців критичного застосування у випадку необхідності узагальнення результатів розпізнавання від кількох класифікаторів. В результаті досліджень сформульовано та математично обґрунтовано метод і алгоритм синтезу комітету нейронмережових класифікаторів для оптимізації процесу прийняття рішень автоматизованою системою розпізнавання мовців критичного застосування, який адаптовано до специфіки застосування критичних систем і дозволяє об'єднувати у комітет класифікатори різних типів. Для створення окремих нейронмереж і комітетів автори застосовували можливості крос-платформної бібліотеки чисельного аналізу ALGLIB, яка підтримує основні мови програмування. Результати тестування автоматизованої системи розпізнавання мовців критичного застосування із блоком прийняття рішень, який містив комітет нейронмереж, за даними із бази еталонних записів NOISEUS емпірично доводять адекватність запропонованих теоретичних результатів.

Ключові слова: автоматизована система розпізнавання мовців критичного застосування, інформативні ознаки, комітет штучних нейронних мереж, розпізнавання мовців.

M.M. BYKOV, A.D. HAFUROVA, V.V. KOVTUN

Vinnitsia National Technical University

RESEARCH OF NEURAL NETWORK COMMITTEE IN THE AUTOMATED SPEAKER RECOGNITION SYSTEM OF CRITICAL USE

The article is devoted to the research of the decision-making process of automated speaker recognition system of critical use in a case of necessity of generalization of recognition results from several classifiers. In the result of research a method and a algorithm of neural network committee classifiers synthesis were formulated and mathematically proved to optimize decision making process for automated speaker recognition system of critical use that is customized to the specific application of critical systems and allows you to combine the classifiers committee of different types of neural networks. To create both a separate neural networks and their committees, the authors used the possibility of cross-platform library of numerical analysis ALGLIB that supports basic programming languages. The results of testing of automated speaker recognition system of critical use with the decision making block that included the neural network committee based on data from the reference database NOISEUS empirically have proved the adequacy of the proposed theoretical results.

Keywords: automated speaker recognition system of critical use, information features, neural networks committee, speaker recognition.

Вступ

Структура автоматизованої системи розпізнавання мовця критичного застосування у першому наближенні містить блок аналого-цифрового перетворення мовного сигналу, блок попереднього його оброблення, блок виділення інформативних для розпізнавання мовця ознак і блок класифікації. Кожен із цих блоків має значну кількість параметрів, вплив яких визначає якість розпізнавання мовця автоматизованою системою, яку традиційно оцінюють імовірністю правильного розпізнавання та імовірністю виникнення