

Выводы

Несмотря на то, что в работе рассмотрены по большей части зарубежные примеры, можно утверждать, что изученный опыт в полной мере может быть перенесен на нашу практику. Описанные в статье проблемы характерны для крупных индустриальных городов, следовательно, хорошо зарекомендовавшие себя за рубежом способы их решения могут быть заимствованы, но не без учета национальных и региональных особенностей.

Литература

1. Гельфонд А.Л. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений: Учебное пособие. – М.: Архитектура-С, 2007;
2. Статья <http://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-mediatek-sovremennyye-sredstva-vyrazitelnosti>;
3. Статья <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-informatsionnyh-tehnologiy-na-biblioteku-i-ee-arhitekturu>.

УДК 624.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФЕРМ

Бабий А.А., ПГС-606м.

*Научный руководитель – к.т.н., проф. Балдук П.Г.
konstarhalex@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается аналитическое решение задачи оптимального проектирования произвольной плоской статически определимой фермы и один из способов автоматизации алгоритма расчета. Приведены общие проблемы проектирования инженерных конструкций. Описан один из способов аналитического решения задачи оптимального проектирования статически определимой фермы, по алгоритму которого написана программа Optimum Steel Truss. В качестве критерия оптимизации принята минимальная масса конструкции с ограничениями по двум предельным состояниям. Описано возможное применение данного программного обеспечения в практике проектирования и варианты оценки стоимости конструкции.

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

Введение. Оптимизация конструктивных решений технических объектов имеет широкое распространение и направлена на получение более экономичных решений при проектировании зданий и сооружений [1]. Целесообразность оптимизации очевидна, поскольку при принятии оптимальных решений могут быть существенно снижены затраты на строительство и последующую эксплуатацию конструкций [2]. При традиционном подходе к проектированию разрабатывается ограниченное количество вариантов, рассмотрение которых не гарантирует близость конечного результата к оптимуму. Очевидно, что из нескольких вариантов металлических конструкций, выполненных из одной стали, наиболее легкая конструкция будет экономичнее. Следовательно, проблема разработки новых или совершенствования имеющихся методов оптимизации проектных решений конструкций остается актуальной, и ее решение является одним из направлений совершенствования систем автоматизированного проектирования (САПР) [3].

Цель работы: создание автоматизированной системы оптимального проектирования плоских ферм.

Основная часть. Рассматривается аналитическое решение задачи отыскания минимального веса произвольной плоской статически определимой фермы, которая считается линейно-деформируемой системой. Ферма включает в себя 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_k (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 двум предельным состояниям, 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:

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

где C_k, Q_j — константы, характеризующие произвольный стержень.

С использованием вышеизложенного аналитического метода оптимизации была решена задача оптимизации фермы с ЦФ в виде величины минимального объема, имеющая ограничения по двум предельным состояниям.

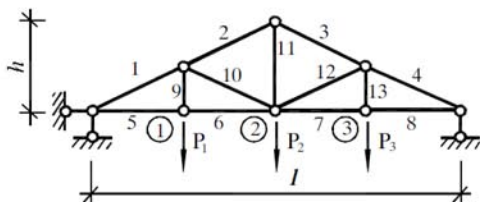


Рис. 1. Расчетная схема фермы

Сечения стержней были разделены на три категории: A_1 — сечение стержней нижнего пояса, A_2 — сечение стержней верхнего пояса, A_3 — сечение раскосов и стоек (рис.1).

Исходные данные фермы: $L = 16\text{ м}$; $h = 6\text{ м}$; $P_1 = 150\text{ кН}$; $P_2 = 150\text{ кН}$;

$P_3 = 200\text{ кН}$; $E = 2 \cdot 10^4\text{ кН / см}^2$; $[\sigma] = 20\text{ кН / см}^2$.

В ходе решения задача решалась в два этапа. На первом этапе сечения стержней $A_1 = 17,50\text{ см}^2$; $A_2 = 21,88\text{ см}^2$; $A_3 = 16,25\text{ см}^2$; подбирались лишь по одному из условий ограничений — по напряжениям $[\sigma]$. На втором этапе решения, площади подбирались по второму из условий ограничений — по перемещениям. После оптимизации, площади сечений стержней стали равны: $A_1 = 29,23\text{ см}^2$; $A_2 = 33,17\text{ см}^2$; $A_3 = 18,48\text{ см}^2$.

Целевая функция определялась по формуле:

$$V = \sum_{i=1}^n l_i A_i = \frac{(16 \cdot 29,23 + 20 \cdot 33,17 + 22 \cdot 18,48)}{1000} = 0,154\text{ м}^3. \quad (7)$$

С использованием вышеизложенного алгоритма, была создана программа на императивном языке программирования Delphi.

Интерфейс программы динамический и запрограммирован под большое количество стержней. В соответствующие ячейки программы вводятся исходные данные задачи, и некоторые предварительные расчеты (а именно усилия в стержнях фермы от единичного вектора приложенной внешней нагрузки в каждом из загружаемых узлов и геометрическая длина стержней). Результат воспроизводится в соответствующем блоке (рис.2).

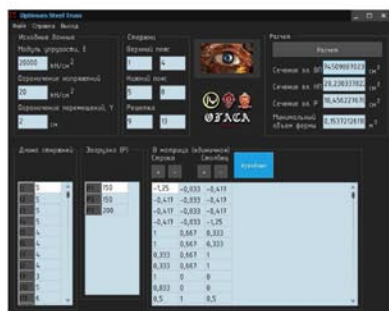


Рис.2. Интерфейс программы «OSF»

Использование программы в условиях реального проектирования требует её усовершенствования путем добавления других критериев оптимизации.

Выводы

1. На императивном языке программирования Delphi создана программа «OSF» предназначенная для оптимизации ферм.
2. Выполнен численный расчет оптимизации стальной плоской статически определимой фермы (программой «OSF»).
3. Точность полученных результатов численного расчета не уступают результатам аналитического (точного) расчета.
4. Программа «OSF» не требует значительных ресурсов ЭВМ, легко устанавливается на любой компьютер, не требует специальной подготовки пользователя. Все вышеперечисленные моменты значительно увеличивают круг пользователей этой программой.

Литература

1. Лихтарников Я.М. «Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций». – М.:Строиздат, 1979. -320с.
2. Дзюба А.С., Липин Е.К. «Оптимальное проектирование силовых конструкций минимального объема при ограничениях по прочности и устойчивости» // Ученые записки ЦАГИ. – 1980. – Т.11. – №1. – С. 58 – 71.
3. Почтман Ю.М., В.А. Бараненко. «Динамическое программирование в задачах строительной механики» / М. Стройиздат, 1975.
4. Кобринец В.М., Орлов А.Н., Сорока Н.Н., Школа Ю.А. МУ «Проектирование статически определимой фермы минимального веса» / Одесса, ОГАСА. 2006.