



16-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2013 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2013 г., Вильнюс, Литва

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В Г.КИЕВЕ

Артем Билык

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
Воздухофлотский пр-т 31, 03151, Киев, Украина
Эл. почта: artem.bilyk@gmail.com*

Аннотация. В статье представлена новая методика, которая позволяет совершать выбор оптимальных конструктивных решений стальных сварных ферм. Методика реализована как экспертная система одностадийного автоматизированного проектирования. Эффективность применения методики показана на примере решения задачи оптимального выбора конструкций автоматизированной системы управления дорожным движением г. Киева.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления дорожным движением, стержневые конструкции, оптимальное одностадийное проектирование, экспертные системы

1. Постановка проблемы

Стремительное развитие мегаполисов и агломераций требует эффективных решений организации управления потоками автотранспорта. С этой целью в г. Киеве внедряется автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДВ), которая включает в себя периферийные устройства управления дорожным движением, дорожного видеонаблюдения и метеорологического обеспечения. Цифровая и видео информация о дорожной обстановке, характеристиках транспортных потоков, погодных условиях и состоянии дорожного покрытия поступает на центральный пункт для выработки решений управления. Прогнозируется, что система позволит уменьшить автомобильные заторы в Киеве более чем на 30 %.

Несущими конструкциями для размещения периферийных устройств АСУДВ над дорожным полотном являются пространственные стержневые конструкции пролетом 19–43 м. Снижение металлоемкости и стоимости таких конструкций является актуальной проблемой в условиях тендера. Кроме того, важную роль играют время изготовления и монтажа конструкций, что может ускорить введение в

эксплуатацию АСУДВ. Завершение внедрения АСУДВ в г. Киеве запланировано к футбольному чемпионату ЕВРО-2012.

2. Анализ последних исследований.

Тенденцией современного этапа развития проектирования является отход от типовых решений в пользу индивидуальных. Конструкции АСУДВ являются конструкциями массового изготовления, в тоже время имеют каждый раз новую привязку, пролет, особенности размещения технологического оборудования.

Для определения оптимальных параметров несущих конструкций все более широкое применение находят методы автоматизированного оптимального проектирования (Pham 1988; Jalkanen J. 2008; Шевченко 2000).

При этом ранее применявшиеся критерии теоретической массы и стоимости в виде линейных функций переменных проектирования являются приближенными (различие с реальными показателями может достигать 30–50 %) не могут удовлетворять экономическим требованиям современности, особенно при решении задачи в тендерных условиях (Лихтарников 1979).

Целевые функции, которые точно описывают критерии массы конструкции в детализированной стадии и полной себестоимости с учетом изготовления и монтажа, являются полимодальными, дискретными и частично сепарабельными.

Поиск разработанными на сегодняшний момент методами оптимизации на таких целевых функциях не гарантирует сходимости решения.

Альтернативы при разных значениях геометрических параметров можно рассматривать как состояния системы в терминах исследования операций. При формулировке задачи в пространстве состояний решения получают в результате применения операторов к описаниям состояний до тех пор, пока не будет получено выражение, которое описывает состояние, соответствующее достижению цели.

Данная задача является задачей про покрытие множества и по теории алгоритмов относится к т.н. NP -полным задачам. Обосновано, что для таких задач эвристические методы поиска могут привести к ложным путям раскрытия дерева решений вследствие полимодальности та пологости оптимума алгоритмической целевой функции.

Поэтому при решении задач оптимизации геометрии конструкций применимым является метод полного перебора (*breadth-first process*), который хоть и требует вычисления искоемых параметров для всех дискретных значений из допустимого множества, но в то же время гарантирует достижение глобального оптимума и сходимости результатов поиска на алгоритмических функциях критериев выбора.

Машинное время, которое было ранее одним из основных ограничений применения методов полного перебора, практически перестает играть роль в современных условиях и в особенности при поиске на дискретных множествах.

В 2005–2009 гг. на кафедре металлических и деревянных конструкций Киевского национального университета строительства и архитектуры разработана экспертная система одностадийного оптимального проектирования (Білик, Пермяков 2008), которая моделирует действия рационального эксперта-проектировщика и позволяет выбирать оптимальные решения металлических ферм с учетом конструктивных, технологических, экономических и эксплуатационных требований. Система относится к системам искусственного интеллекта.

Основой алгоритма решения задачи выбора оптимальной конструкции в экспертной системе является последовательность этапов:

1. Формируется массив исходных данных для реализации оптимального выбора.
2. Аккумулируются данные, необходимые для совершения расчетов.
3. Определяются начальные параметры и производные характеристики для каждой альтернативы.
4. Выполняется поиск оптимальной геометрии для каждой альтернативы, который включает:

- подбор оптимальных поперечных сечений на множествах сортментов соответственно усилиям в элементах конструкции
- выполнение заданных требований унификации элементов
- детализированное конструирование фермы (определение параметров сварных швов, реальных размеров основных и конструктивных элементов)
- вычисление технологических параметров конструкции и определение вектора частичных критериев технико-экономических показателей, которым характеризуется каждая альтернатива
- определение суперкритерия качества на выбранном уровне анализа.

Выбор оптимальной альтернативы на заключительном этапе происходит по решающему правилу:

$$r : S^* = \arg \min_{x \in S} K_{j^*}(q_1(x), q_2(x), \dots, q_p(x)). \quad (1)$$

Для сравнения альтернатив применяются аддитивные линейные свертки частичных критериев в суперкритерии, которые являются количественными показателями качества конструкции на разных уровнях анализа: K_1 – масса пространственной фермы в стадии КМД с учетом прогонов и связей, K_2 – себестоимость в деле пространственной фермы, K_3 – приведенные затраты на пространственную ферму с учетом эксплуатационных затрат. Для вычисления на каждом шаге усилий в элементах конструкции реализован метод конечных элементов в форме метода перемещений.

Трудоемкость в экспертной системе вычисляется пооперационно по показателям норм времени, потребных для каждого этапа изготовления и монтажа конструкции а также второстепенных элементов. Определение затрат на заработную плату в системе осуществляется через нормированную тарифную сетку.

Множество допустимых решений содержится в базе альтернатив и задано априорно. При этом конструкции альтернатив могут различаться топологией (количеством элементов и узлов) и геометрией (типом решетки, координатами узлов), но структурированы относительно управляющих параметров сравнения. Поскольку основным свойством экспертных систем является накопление опыта, по мере решения все новых и новых задач выбора пользователем, база моделей увеличивается.

3. Постановка задачи

В данной работе рассмотрен пример оптимального проектирования пролетной части конструкции АСУДВ пролетом 21 м. Конструкция является пространственной фермой, шарнирно закрепленной к колоннам, опирающимся на свайные фундаменты. На конструкцию действуют снеговая, ветровая а также

температурная нагрузки, принятые согласно локальным нормам. Фермы работают в условиях агрессивной среды (ветер, влажность до 95%, действие выхлопных газов и т.д.), что учтено соответствующими коэффициентами условий работы, комплексом мероприятий антикоррозионной защиты и нормированной системой учтенных восстановительных текущих ремонтов, что заложено в базу знаний экспертной системы и отражается на приведенных затратах.

На ферме предусмотрено размещение двух информационных табло размерами $2 \times 5 \times 0,4$ м весом 550 кг каждое, четырех детекторов автотранспорта размерами $0,2 \times 0,3 \times 0,4$ м по 8 кг каждый, одной видеокамеры весом 5 кг, и придорожной станции $1,25 \times 1,25 \times 0,42$ м весом 90 кг.

Также учтен собственный вес основных и второстепенных элементов, а также технологическая нагрузка на ходовой мостик при обслуживании оборудования. Определенный срок эксплуатации 15 лет.

В связи с высокой ответственностью конструкций и неопределенностью их работы, техническим заданием также определен запас по прочности элементов не менее 2. Сталь стержневых элементов задана С245, листовых С255.

Расстояние из плоскости принято 1,3 м из технологических требований (крепление оборудования и ходовых мостиков). Примыкание раскосов к поясам шарнирное и осуществляется через листовую фасонку. Количество отпавных марок 2.

Таким образом, актуальной задачей является выбор оптимального решения несущей конструкции АСУДВ с учетом конструктивных, технологических, экономических и эксплуатационных требований.

4. Изложение основного материала исследований

Дискретное множество сортамента, на котором осуществляется оптимизация сечений принят согласно техническому заданию из стальных электросварных прямошовных труб по ГОСТ 10704–91. При оптимизации поперечных сечений учитываются требования унификации поясов по всей длине и между собой а также раскосов относительно оси симметрии фермы, и наличие реального предложения профилей на металлобазе поставщика.

База цен введена соответственно прейскурантам цен, действующим на момент решения задачи оптимального выбора и закупки металлопроката организацией–заказчиком (1.05.2009) для г. Киева.

Область допустимых значений параметра высоты фермы есть дискретный интервал $\bar{H} \{1,50; 1,55; \dots; 3,80; 3,85\}$ из условий транспортного габарита 3,85 м, а также технологических требований. Начальная высота ферм альтернатив задана 2,5 м.

В базе знаний системы сгенерированы 3 альтернативы $S_1 = \{x_{11}; x_{12}; x_{13}\}$, имеющие разную топологию и геометрию (рис. 1, 2, 3).

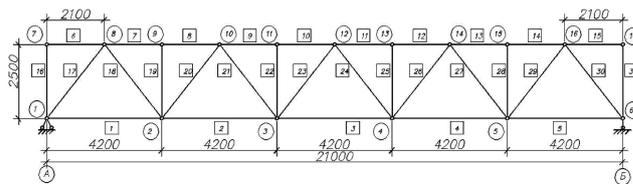


Рис. 1. Альтернатива x_{11}

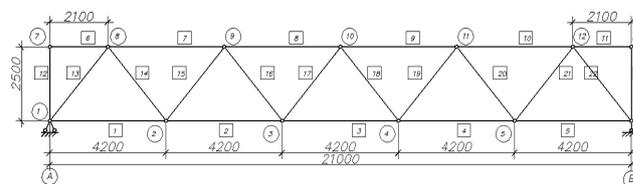


Рис. 2. Альтернатива x_{12}

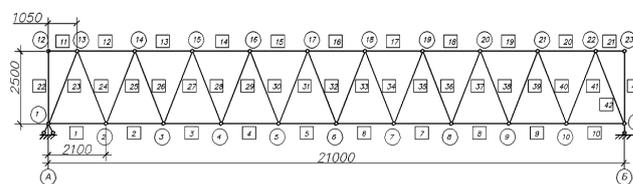


Рис. 3. Альтернатива x_{13}

Ограничение по второму предельному состоянию в системе осуществляются согласно нормам и для данного класса конструкций при пролете 21 м составляет $1/240$.

Значение критериев оптимальности при начальном решении (высота ферм 2,5 м) показаны в табл. 1.

Таблица 1. Значение критериев оптимальности при начальном решении

Критерий	Альтернативы		
	x_1	x_2	x_2
K_1 , кг	1636	1859	1504
K_2 , \$	1238	1357	1236
K_3 , \$	1329	1446	1314

Значения критериев оптимальности для альтернатив, полученные в результате оптимизационного расчета, показаны в табл. 2.

Таблица 2. Результат оптимизации

Критерий	Альтернативы		
	x_1	x_2	x_2
K_1 , кг	1622	1651	1400
K_2 , \$	1230	1233	1173
K_3 , \$	1320	1321	1251

В табл. 2 оптимальная высота фермы, полученная в результате оптимизационного расчета для альтернативы x_1 равна 3,55 м, альтернативы x_2 – 2,05 м,

альтернативы x_3 – 1,95 м для всех критериев оптимальности.

Поскольку заказчик является эксплуатирующей организацией, критерием выбора решения являются приведенные затраты K_3 .

Решение задачи выбора:

$$S^* = \arg \min_{x \in S} K_3 = x_3$$

Таким образом, оптимальным решением задачи согласно выбранного критерия является альтернатива x_3 . Конструкция в стадии КМД и полная спецификация стали альтернативы x_3 полученные автоматизировано как результат работы экспертной системы, были использованы в рабочем проекте. Смонтированная конструкция автоматизированной системы управления дорожным движением показана на рис. 4.



Рис. 4. Реализованное решение

Экономичность альтернативы по выбранному критерию вследствие оптимального выбора (по сравнению с альтернативой x_1 с наихудшим показателем критерия в начальном решении, которая также могла быть выбрана) с учетом оптимизации геометрии составляет 14,8 %.

5. Выводы

В статье представлено решение задачи оптимального проектирования пролетных несущих конструкций автоматизированной системы управления дорожным движением г. Киева. С помощью новой методики, которая позволяет совершать выбор оптимальных конструктивных решений стальных сварных ферм достигнута значительная экономия приведенных затрат на конструкцию. Методика реализована как экспертная система одностадийного оптимального проектирования и может быть использована для оптимального выбора любых стержневых систем зданий и сооружений.

Литература

BS DD ENV 1993-1-1 :1992/A1 :1994. Eurocode 3 – Design of Steel Structures: Part 1-1 – General Rules and Rules for

Buildings: Annex K – Hollow section lattice girder connections.

Jalkanen J. Multicriteria Tubular Truss Optimization//Design, fabrication and economy of welded structures. *International Conference Proceedings*, Horwood publ., Chichester,UK, 2008, P.71–79. ISBN 9781904275282.

Pham D. T. 1988. *Expert systems in engineering. Artificial intelligence in industry*. Springer-Verlag, GB, IFS Publications: 1–42, 129–174.

Білик, А.С.; Пермяков, В.О. 2008. *Експертне моделювання вибору оптимальних рішень плоских сталевих зварних конструкцій // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди / Зб. наук. праць, Вип. 16, Ч. 2., Рівне: 295–302.*

Вальд, А. 1960. *Последовательный анализ*. – М.: Физматгиз. 328 с.

Виноградов, А.И. 1968. *Подмножества допустимых решений в теории оптимальных стержневых систем. Исследования по теории сооружений*, вып. XVI, – М.: Стройиздат.

Лихтарников, Я.М. 1979. *Вариантное проектирование и оптимизация строительных конструкций* – М.: Стройиздат. 319 с.

Пермяков, В.А. 1998. Современное состояние проблемы оптимального проектирования стальных конструкций.// *Металеві конструкції*, №1: 17–20.

Чичинадзе, В.К. 1983. *Решение невыпуклых нелинейных задач оптимизации*. М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. Литературы. 256 с.

Шевченко, Е.В. 2000. *Совершенствование конструкций опор высоковольтных линий электропередачи и создание системы их автоматизированного оптимального проектирования*. Автореферат дис... докт. техн. наук. – Киев.

ДБН В.1.2–2:2006 «Навантаження і впливи», чинний з 01.01.2007. – К.: Мінергіонбуд, 2006.