

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДКИ ПРОМЗДАНИЯ

Марчук И.Н., Уласевич В.П.

Аннотация. Изложен метод оптимизации конструктивных систем, критерий оценки которых представлен виде параметрической функции с аргументами, принадлежащими множеству дискретных величин. В отличие от традиционных подходов к поиску экстремума функции цели, метод использует положение комбинаторики и теории чисел.

Кроме того, следует отметить особо, что метод позволяет достичь абсолютной точки экстремума параметрической функции путем замещения начального приближения дискретным множеством аргументов (сортамент и др.), необходимым и достаточным для решения задачи. Рассмотренный в статье метод реализован в вычислительной среде MathCAD при проектировании технологической площадки промздания.

Введение. Процесс проектирования зданий и сооружений – один из самых ответственных этапов строительства и требует тщательного анализа конструктивных решений несущих систем. Важным аспектом, как на начальной стадии проектирования, так и в последующей детальной проработке отдельных конструкций является решение проблем оптимального проектирования, позволяющих осуществить выбор наилучшего варианта исполнения в заданных расчетных условиях.

При проектировании стальных конструкций необходимо соблюдать определенные нормами требования, основные из которых – обеспечение несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкций, а также учитывать некоторые показатели (критерии оценки) проекта, устанавливаемые заказчиком. Такие показатели могут иметь качественный и количественный характер, в последнем случае таковыми могут выступать стоимость объекта, стоимость в совокупности с эксплуатационными затратами, расход материала на изготовление конструкций в совокупности с предпочтениями в выборе конструкций (ограничение сортамента материалов) и т.д.

В традиционном подходе задачу проектирования стальных конструкций решают последовательно. Вначале варьируют и выбирают геометрическую схему сооружения, типы конструкций, затем принимают исполнение для уже выбранного варианта конструкции [1]. Выбор проектного решения осложняется необходимостью принимать во внимание большое количество внешних и внутренних факторов, параметров и переменных, существенно влияющих как на трудоемкость, так и на результат проектирования.

На сегодняшний день существует ряд подходов к оптимизации конструкций и конструктивных решений с использованием ЭВМ, основными из них являются построение алгоритмов автоматизированного проектирования на основе теорий оптимального проектирования и использование минимизации (максимизации) целевой функции по определенному критерию. Такие подходы к решению проектных

задач позволяют отыскать оптимальное решение, однако имеют ряд недостатков, таких как сложность реализации, погрешность результата, которая связана с численным решением параметрической оптимизации целевой функции либо с некоторыми допущениями теорий оптимизации. В этой связи совершенствование методологии оптимального проектирования конструктивных решений – задача актуальная как в теоретическом, так и в практическом плане.

В данной статье представлен более подробный анализ перечисленных выше решений оптимизации проектирования и приведен альтернативный метод, позволяющий получить численное решение оптимизации целевой функции на основе комбинаторики и теории чисел.

Анализ методов оптимального проектирования конструкций

Алгоритмизация. Построение алгоритмов автоматизированного проектирования на основе теорий оптимального проектирования представляет собой выявление взаимосвязей между основополагающими геометрическими, физическими параметрами конструкций построение зависимостей, вывод эмпирических формул и т.д. необходимых для решения задачи и автоматизации.

Подобного рода решение задач упрощает проектирование, но не может в полной мере раскрыть возможности оптимизации конструктивного решения, в первую очередь из-за сложности анализа взаимосвязей между параметрами и как следствие применение приближений, условностей и т.д. Во-вторых, подход не может обобщить проектирование конструкций, так как для каждого конструктивного решения необходимо индивидуально проводить анализ взаимосвязи параметров (аргументов). К рассмотренному подходу можно отнести автоматизацию традиционных, сложившихся методик проектирования.

Целевая функция. Методы оптимизации на основе применения целевой функции используются при проектировании различных типов конструкций и сооружений [2 ÷ 7]. Под оптимальным проектным решением стальной конструкции понимается конструкция с такими параметрами, при которых целевая функция принимает минимальное или максимальное решение. Поскольку на решение задачи накладываются определенные условия, то мы сталкиваемся с задачей определения условного экстремума целевой функции.

Целевую функцию можно представить в следующем виде:

$$K = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (1)$$

где:

K – критерий оптимальности;

$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ – функция, описывающая зависимость между критерием оптимальности и параметрами конструктивного решения;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – параметры конструктивного решения.

Функция $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ оптимизируется при условиях и ограничениях некоторых или всех аргументов, которые накладываются нормативными документами. В качестве параметров функции цели выступают геометрические, физические и другие характеристики рассматриваемого конструктивного решения, которые в свою очередь тоже могут являться функциями. Оптимальным

называют такое конструктивное решение в допустимой области, в котором целевая функция принимает наименьшее (наибольшее) значение.

Основной проблемой численного решения оптимизации целевой функции с помощью ЭВМ является аналитический характер результатов. Некоторые параметры (аргументы) дискретны, т.е. их функции терпят разрывы, а, следовательно, не дифференцируемы и не интегрируемы. Они заменяются на непрерывные, и как следствие результат оптимизации не привязан к сортаменту листовой стали (применительно к составным сечениям конструкций). Следовательно, привязка результатов решения задачи к сортаменту дает погрешность. Еще одной проблемой в описанном методе является сложность решения с математической точки зрения. Существует необходимость задавать начальное приближение значений аргументов, что также может существенно влиять на конечный результат.

Предлагаемый метод оптимизации целевой функции

Решение задачи оптимизации сложной целевой функции может быть найдено с помощью положений комбинаторики и аналитической теории чисел. Такой метод оптимизации применим в случае, когда аргументы принадлежат к множеству дискретных значений, т.е. когда функция аргумента прерывиста и не может быть продифференцирована.

Применительно к проектированию стальных конструкций ограничениями будут являться требования нормативных документов, а в качестве аргументов будут выступать геометрические, физические параметры конструкции или системы конструкций. Например, класс стали, сортамент листового или фасонного металлопроката, унифицированные параметры рассматриваемой системы, шаг прогонов, балок настила, и т.д., следовательно, дискретные множества значений известны. Рассмотрение задачи в обратном порядке делает возможным качественное исполнение оптимизации с пресечением описанных ранее погрешностей.

Представим целевую функцию в следующем виде:

$$K = f(a_i, b_j, c_k, \dots, n_t), \quad (2)$$

где:

K – критерий оптимальности;

a, b, c, \mathbf{K}, n – аргументы функции, так что:

$a_i \in A, i = 1 \mathbf{K} |A|; b_j \in B, j = 1 \mathbf{K} |B|; c_k \in C, k = 1 \mathbf{K} |C|; n_t \in N, t = 1 \mathbf{K} |N|;$

A, B, C, \mathbf{K}, N – множества дискретных значений аргументов;

$|A|, |B|, |C|, \mathbf{K}, |N|$ – соответственно мощности множеств A, B, C, \mathbf{K}, N .

Для оптимизации представленной функции предлагаемым нами методом необходимо построить совокупное множество, состоящее из комбинаций подмножеств (множеств аргументов). Далее необходимо произвести корректировку совокупного множества на основе ограничений, образующих целевую функцию. Формирование совокупного множества на основе множеств аргументов представлено на рисунке 1.

Мощность совокупного множества (комбинаций аргументов) определяется как произведение подмножеств:

$$|S| = |A| \cdot |B| \cdot |C| \cdot |K| \cdot |N|, \quad (3)$$

где $|S|$ – мощность совокупного множества аргументов.

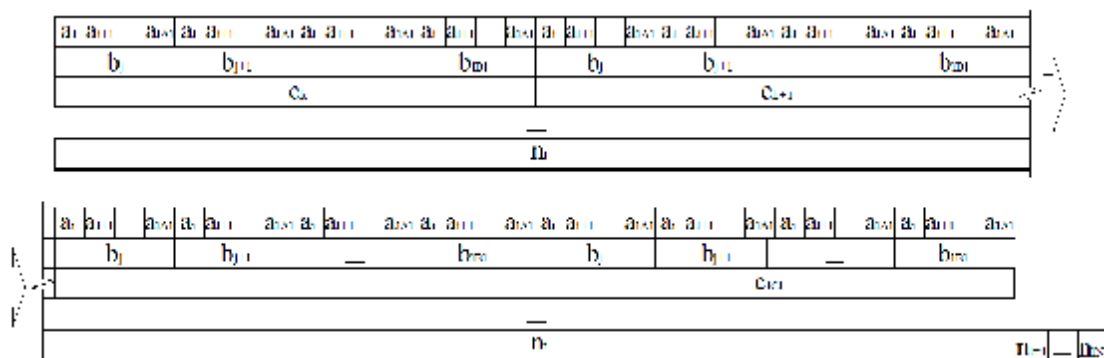


Рисунок 1 – Формирование совокупного множества на основе аргументов функции a, b, c, K, n из множеств A, B, C, K, N соответственно

Критерий оптимальности вычисляется для каждой комбинации аргументов внутри скорректированного по ограничениям совокупного множества. По вычисленным критериям производится сопоставление комбинаций между собой и выбор наиболее оптимальной в заданных расчетных условиях.

Рассмотрим пример.

Дана целевая функция в следующем виде:

$$K = f(a, b, c) = a^2 - 5 \cdot b^2 + 20 \cdot b \cdot c, \quad (4)$$

где:

$a_i \in A, i = 1 \dots |K|A|$ – выборка из некоторого множества $A = \{3, 2, 6\}$;

$b_j \in B, j = 1 \dots |K|B|$, – выборка из некоторого множества $B = \{5, 1, 6, 8\}$;

$c_k \in C, k = 1 \dots |K|C|$, – выборка из некоторого множества $C = \{9, 7\}$.

Необходимо найти минимум функции K при условиях (5), (6).

$$a + b + c > 14 \quad (5)$$

$$(c - b^2 + a^3)^2 < 290 \quad (6)$$

Решение. Для наглядности представим решение в виде схемы (рисунок 2).

После формирования совокупного множества аргументов функции a, b, c описанным выше способом, необходимо поочередно произвести его корректировку по условиям (5) и (6). Далее вычисляются значения критерия оптимизации $K = f(a, b, c)$ для каждой комбинации.

Мощность совокупного множества аргументов a, b, c функции будет равна произведению мощностей выборок A, B, C :

$$|S| = |A| \cdot |B| \cdot |C| = 3 \cdot 4 \cdot 2 = 24 \quad (7)$$

Путем сопоставления критерия оптимальности выбирается одна или несколько комбинаций, при которых функция принимает наименьшие значения. Наиболее выгодные комбинации аргументов и будут являться решением задачи в заданных условиях.

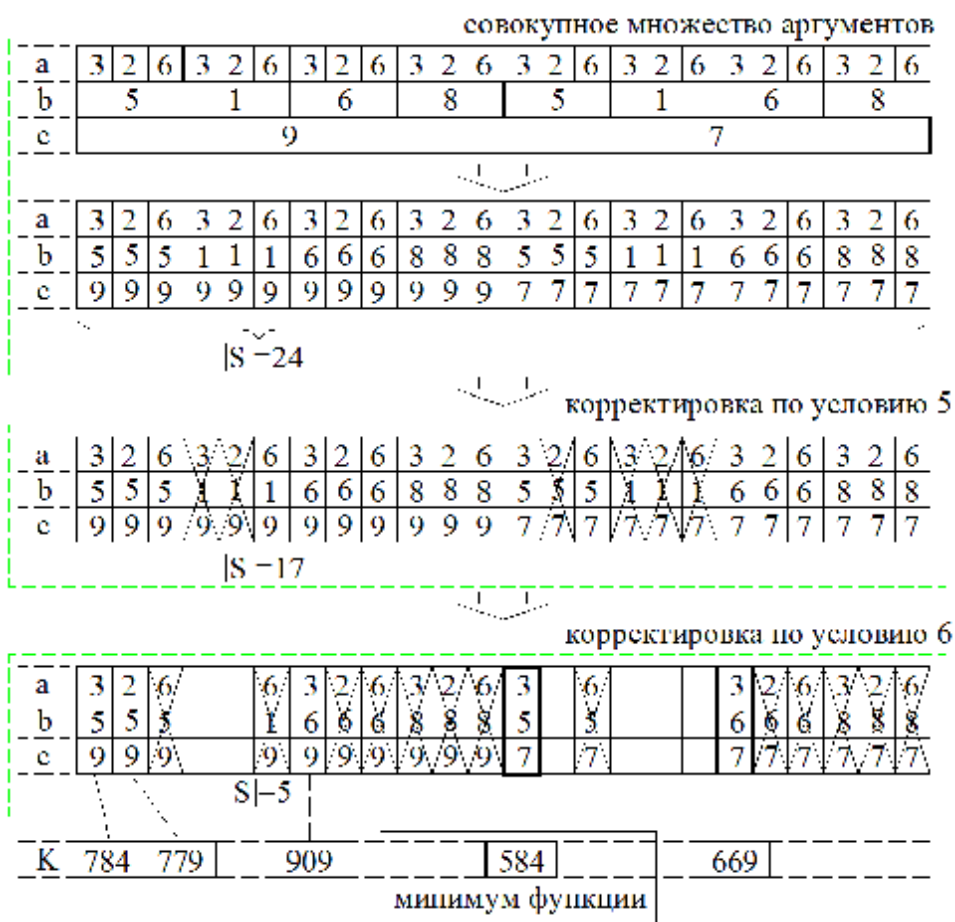


Рисунок 2 – Решение задачи оптимизации целевой функции предложенным нами методом

Оптимальное проектирование технологической площадки

Балочная технологическая площадка – металлическая конструкция каркасного типа, состоящая из главных и второстепенных балок и настила. Применяются в корпусах скруббера и для других технологических операций на различных объектах промышленности.

Оптимальным решением технологической площадки в условиях заданных основных генеральных размеров, временной нормативной нагрузки и др., является поиск наиболее экономичного варианта компоновки и выбора типа (нормальный или усложненный) балочной клетки, а также исполнения основных несущих конструкций, поэтому к ее проектированию применим изложенный в статье метод оптимизации конструктивных решений.

Для технологической площадки критериями оценки качества проектирования в количественном выражении могут выступать: материалоемкость конструкций, их отпускная цена либо общая стоимость с учетом монтажных работ и др. Для выбранного критерия оценки определяется структура целевой функции с учетом параметров площадки. Блок-схема алгоритма автоматизированного проектирования технологической площадки представлена на рисунке 3.

Матрица совокупного множества аргументов при оптимизации технологической площадки может достигать мощности порядка 10^5 - 10^6 возможных комбинаций при неизменной сетке колонн. Однако, если допустить вариацию в пределах некоторой унификации сетки, становится возможным увеличить на несколько порядков мощность совокупного множества, а следовательно, повысить качество оптимизации проекта.

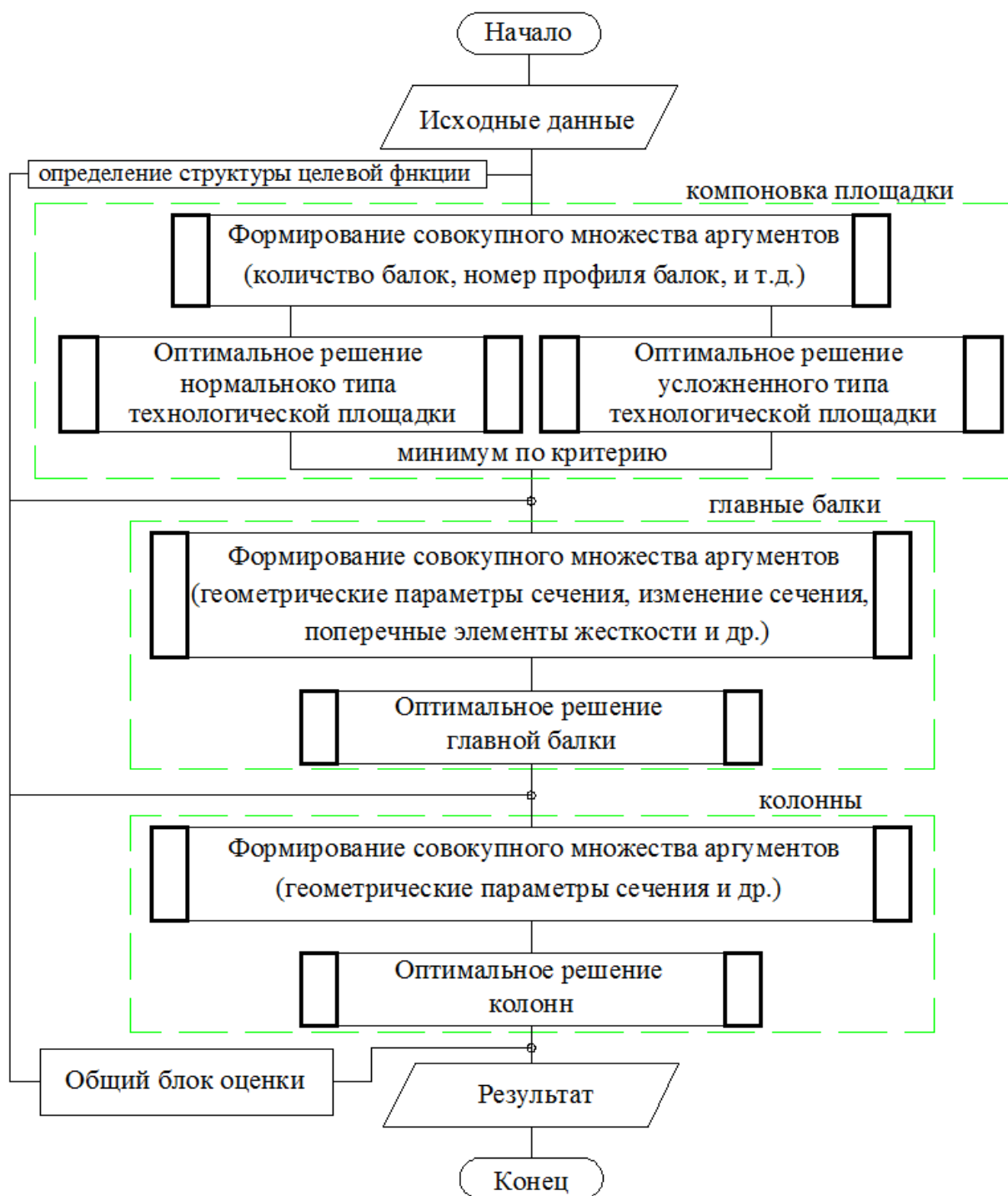


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма автоматизированного проектирования технологической площадки

Представленный в статье метод реализован средствами программирования MathCAD при проектировании технологической площадки промздания.

Выводы и дальнейшие перспективы исследования. Изложенный в статье метод оптимизации сложных конструктивных решений позволяет пресечь недостатки и погрешности традиционных методов, и гарантирует самый экономичный вариант из возможных в заданных расчетных условиях при конкретных исходных данных.

На основе комбинаторики и аналитической теории чисел в связке с целевой функцией возможно создание в перспективе методик проектирования конструктив-

ных решений здания зданий и сооружений в целом (в пределах вычислительных возможностей ЭВМ). Формирование совокупного множества аргументов функции, предоставляет возможность включения огромного числа параметров, определяющих критерий оптимальности. Такой подход позволяет рационально использовать материальные ресурсы, повышая конкурентоспособность отечественной строительной продукции, и применим для любых типов зданий.

Заключение. Изложенное в статье позволило сделать следующие выводы:

1. Использование положений комбинаторики и аналитической теории чисел упрощает поиск экстремумов параметрической функции;
2. Метод оптимального проектирования максимально объективен, так как исключает проблемы поиска решения задачи, в том числе связанные с анализом взаимосвязи параметров (аргументов) целевой функции;
3. Применение изложенного метода оптимального проектирования позволит повысить эффективность оптимизации сложных конструктивных решений;
4. Метод имеет значительные перспективы, так как применим не только к проектированию конструкций, но и к любой стадии строительного производства.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Парлашкевич, В.С., Василькин, А.А., Булатов, О.Е. Проектирование и расчет металлических конструкций рабочих площадок. М. : МГСУ, 2013. 152 с
2. Клюев, С.В., Клюев, А.В., Лесовик, Р.В. Оптимальное проектирование стальной пространственной фермы // Вестник ТГАСУ. 2008. № 1. С. 74—78.
3. Востров, В.К., Василькин, А.А. Оптимизация высот поясов стенки резервуара // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2005. № 11. С. 37—40.
4. Пелешко, І.Д., Юрченко, В.В. Оптимальне проектування металевих конструкцій на сучасному етапі (огляд праць) // Металлические конструкции. 2009. № 1. Т. 15. С. 13—21.
5. Барановская, Л.В. Использование метода проекций градиента при оптимальном проектировании металлоконструкций тяжелых козловых кранов // Вестник СГТУ. 2010. № 1 (44). С. 24—27.
6. Лихтарников, Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. М. : Стройиздат, 1979. 319 с.
7. Денисова, А.П., Расщепкина, С.А. Методы оптимального проектирования строительных конструкций. М. : Изд-во АСВ, 2012. 216 с.
8. Марчук, И.Н.. К автоматизации оптимального проектирования составных сечений металлических конструкций // Сборник научных работ / УО «Брестский государственный технический университет» / Брест, 2015. -158-161 с.