

## МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В статье приведен анализ методов оптимизации и предложена методика проведения оптимизации технологических объектов методом рабочих характеристик.

Современный уровень научных знаний позволяет создавать технические объекты с заранее заданными свойствами и характеристиками, что подтверждается испытаниями разработанных образцов. Для этого созданы сложные системы, обеспечивающие разработку технических объектов, соответствующих предъявляемым требованиям.

Основной базой данных, характеризующих технический объект, является множество  $T$  технологических параметров процесса, являющихся в данном случае управлениями. Множество  $T$  сформировано из технологических требований к процессу и управляет внешними величинами математической модели, которые разделены на четыре множества параметров:

- вектор параметров свойств  $\bar{m}$  обрабатываемого материала из множества допустимых альтернатив  $M$ ;
- вектор кинематических параметров процесса  $\bar{k}$  из множества допустимых альтернатив  $K$ ;
- вектор структурных параметров  $P$  (не выражаемых в единицах измерения геометрических величин) из множества допустимых альтернатив  $P$ ;
- вектор геометрических параметров пространства взаимодействия  $\bar{g}$  из множества допустимых альтернатив  $G$ .

Внутренняя характеристика системы позволяет использовать модель векторной оптимизации, которая представляет собой подсистему, состоящую из трех элементов (рисунок 1).

Модель параметров эффекта на основе внутренней характеристики системы (напряженного состояния прессуемого материала) формирует параметры эффекта, необходимые и достаточные для проведения параметрического синтеза.

Множество параметров эффекта  $W_l$  (где  $l$  – множество качеств и свойств технического объекта) может быть представлено в виде

$$W_l = W_l(M, K, P, G). \quad (1.1)$$

Эти параметры эффекта должны характеризовать масштаб процесса, эффективность процесса и качество получаемого в процессе полуфабриката. По мнению академика В.А. Панфилова, для технологического потока принятый уровень дове-

рительной вероятности может составлять 80%. В связи с этим количество параметров эффекта может не превышать пяти.



Рисунок 1. Структура математической модели векторной оптимизации

Параметры эффекта имеют многоуровневую структуру.

На первом уровне находятся параметры эффекта, определяемые непосредственно из внутренней характеристики системы, например, производительность, мощность сил полезного сопротивления. На втором уровне – параметры эффекта, определяемые с помощью параметров эффекта первого уровня, к ним относится энергоемкость процесса. На третьем уровне расположен, например, коэффициент полезного действия, определяемый с помощью параметров эффекта второго уровня.

Таким образом, оптимизация параметров эффекта сводится к отысканию максимума коэффициента полезного действия при выполнении ограничений, наложенных на параметры эффекта первого и второго уровней.

Множество ограничений оптимальной поверхности параметров эффекта формируется ЛПР

(лицо, принимающие решение), проводящим оптимизацию.

Ограничения параметров эффекта имеют вид

$$w_l \leq W_l^d, \quad (1.2)$$

$$W_l^k \leq w_l \leq W_l^t, \quad (1.3)$$

$$W_l^n \leq w_l, \quad (1.4)$$

где  $W_l^d, W_l^k, W_l^t, W_l^n$  – возможные уровни ограничения параметров эффекта.

В случае, если проводится имитационное моделирование, ограничения на параметры эффекта не накладываются.

В заключение используют модель анализа участка поверхности параметров эффекта, удовлетворяющего наложенным ограничениям параметров эффекта, при проведении оптимизации либо выбранного из других предпосылок при имитационном моделировании.

Исполнение математической модели векторной оптимизации вызывает необходимость изменения определенным образом векторов  $\bar{m}, \bar{k}, \bar{p}, \bar{g}$ , формирующих внутреннюю характеристику системы, что позволяет достичь глобального оптимального проектного решения.

Таким образом, структурно-параметрический синтез технологического объекта (механизма или аппарата) по разработанной математической модели может быть произведен на множествах  $M, K, P$  и  $G$ . Следует отметить, что членами этих множеств могут быть только величины, входящие во внутреннюю характеристику системы.

Задача определения внутренней характеристики системы сводится в общем случае к решению системы нелинейных уравнений, которые решаются численными методами. Параметры эффекта вычисляются из внутренней характеристики при различных комбинациях членов множеств  $M, K, P$  и  $G$ . Следующим этапом решения задачи является нахождение оптимального (или рационального) решения по нескольким параметрам. Существует несколько методов отыскания такого решения, например оптимизация по Парето.

Область Парето характеризуется тем важным свойством, что на ней ни одно решение не может быть улучшено по одному из показателей без ущерба для другого. Выделение доминирующих решений значительно сокращает перечень возможных решений и тем самым облегчает выбор единственного решения, который проводится неформальными методами с привлечением задач верхнего иерархического уровня. Существуют предложения по формализации процедуры такого выбора путем

введения некоторой аксиоматики компромисса.

Общие методы векторной оптимизации направлены на отыскание области Парето (оптимальных поверхностей).

Метод рабочих характеристик состоит в отыскании оптимума одного из параметров эффекта, а все остальные параметры эффекта переведены в разряд ограничений типа равенств. Найденное максимальное значение одного параметра будет зависеть от фиксированных значений остальных параметров. Эта зависимость называется рабочей поверхностью. Рабочая поверхность, рассматриваемая как функция одного из своих аргументов при фиксированных значениях других аргументов, называется рабочей характеристикой.

Необходимым и достаточным условием совпадения рабочей поверхности и оптимальной является строгая монотонность рабочей поверхности, то есть монотонно убывающий характер всех соответствующих ей рабочих характеристик.

Основная сложность рассмотренного метода векторной оптимизации состоит в том, что оптимизацию приходится проводить с учетом не только исходных ограничений, но и с учетом дополнительных ограничений и для различных сочетаний зафиксированных значений параметров эффекта.

Весовой метод заключается в том, что ищут максимум взвешенной суммы для различных значений положительных весовых коэффициентов. Максимум взвешенной суммы и соответствующие ей значения показателей зависят от значения выбранных весов. Параметрическую запись взвешенной суммы называют весовой поверхностью. Весовая поверхность содержит только эффективные точки, но не все возможные эффективные точки в общем случае принадлежат весовой поверхности. Если весовая поверхность оказывается определенной во всей области интересующих нас значений, то она в этой области совпадает с искомой областью компромиссов.

Метод векторной оптимизации на дискретном множестве заключается в том, что выбирают крайние точки, то есть такие точки, в которых достигается максимум по какому-либо параметру эффекта, эти точки будут эффективными. Из оставшихся точек выявляются те, для которых вновь найдется хотя бы одна лучшая, у которой все параметры эффекта не хуже и хотя бы один лучше. Выявленные точки являются неэффективными и исключаются из рассмотрения. Из оставшихся точек опять выбирают крайние, оставшиеся снова сравнивают с найденными крайними точками и выявляют неэффектив-

ные. И так продолжается до тех пор, пока не будут исследованы все исходные точки.

Метод векторной оптимизации при линейных целевых функциях и линейных ограничениях, когда параметры эффективности являются линейными функциями на множестве. Множество является выпуклым многогранником, то есть определяется линейными ограничениями. Эффективные точки в этом случае лежат на границе многогранника ограничений, что существенно облегчает их нахождение. При этом достаточно найти опорные точки, которые лежат в вершинах многогранника ограничений, а затем из этих точек выделить эффективные.

Остальные эффективные точки, принадлежащие области Парето, являются линейными комбинациями найденных эффективных опорных точек.

Выпуклый многогранник ограничений в пространстве параметров эффекта при линейном отображении является также выпуклым многогранником. Оптимальная поверхность в этом случае представляет собой ту часть границы этого многогранника, которая содержит эффективные опорные точки. Опорная точка будет эффективной, если, во-первых, среди всех остальных опорных точек нет точки, у которой все показатели эффективности не хуже и хотя бы один лучше, и, во-вторых, эффективная точка в пространстве должна лежать на границе выпуклого многогранника, то есть не должна быть внутренней точкой этого многогранника.

Векторная оптимизация при гладких целевых функциях и отсутствия ограничений. Этот случай позволяет ответить на вопрос, есть ли эффективные точки вне области или все возможные точки лежат внутри данной области. Если все эффективные точки лежат внутри области, то это значит, что задача нечувствительна к введенным ограничениям и их пересмотр не ведет к улучшению решения, его можно улучшить, только изменив функции (изменив структуру объекта). Точка является эффективной, если не найдется такого вектора-дифференциала, для которого величина этого вектора была бы больше, чем в данной точке.

Метод рабочих характеристик – один из наиболее удобных методов проведения параметрического синтеза технологических машин. В нем исследователь ищет оптимум одного из параметров эффекта (например  $w_1$ ), при всех остальных показателях, приведенных в разряд ограничений типа равенства, то есть решается задача нахождения  $w_{1\max}$  при  $w_2 = w_{20}$ ;  $w_3 = w_{30}$ ; ...;  $w_p = w_{p0}$ .

Найденное максимальное значение  $w_{1\max}$  зависит от фиксированных значений  $w_{20}$ ,  $w_{30}$ , ...,

$w_{p0}$ . Эта зависимость называется рабочей поверхностью

$$w_{1\max} = f_p(w_{20}, w_{30}, \dots, w_{p0}). \quad (1.5)$$

Для нахождения рабочей поверхности определение величины  $w_{1\max}$  производится при всех интересующих проектировщика комбинациях параметров  $w_{20}, \dots, w_{p0}$ .

Рабочая поверхность, рассматриваемая как функция одного из своих аргументов, называется рабочей характеристикой. Таким образом, можно составить  $p - 1$  рабочую характеристику. Доказано, что рабочая поверхность содержит все точки, принадлежащие оптимальной поверхности. Необходимым и достаточным условием совпадения рабочей и оптимальной поверхностей является монотонно убывающий характер всех соответствующих этой поверхности рабочих характеристик. Поэтому после отыскания рабочих характеристик необходимо исключить из них все возрастающие участки.

Суть метода состоит в том, что в прямоугольной системе координат определяется зависимость одного параметра эффекта от другого параметра эффекта при неизменных значениях всех остальных параметров оптимизируемого объекта. При изучении влияния структурного, кинематического или геометрического элемента из базы данных для данного технологического объекта его фиксированное значение изменяется ступенчато при постоянных значениях остальных элементов. Получается система зависимостей первого параметра эффекта от второго, разнящихся значениями исследуемого элемента и образующими координатную сетку другой системы координат, в которой переменной является этот элемент.

В первой системе координат строится координатная сетка изменения третьего, четвертого и пятого параметров эффекта. Поверхность, образованная точками зависимости первого параметра от второго, является рабочей, или оптимальной поверхностью рассматриваемого элемента из базы данных для данного технологического объекта. Вместо каждого параметра эффекта может рассматриваться их «свертка», имеющая физический смысл.

Данные характеристики могут быть использованы для нахождения оптимальной поверхности параметров эффекта и последующего параметрического синтеза оптимального технологического объекта.

По математической модели, описывающей процесс функционирования технологического

объекта, проводится вычислительный эксперимент. По результатам вычислений строится поверхность рабочих характеристик объекта. Введя ограничения параметров эффекта, можно определить область оптимальных значений параметров эффекта.

Анализ результатов предопределен программой вычислений, когда вместе с вычислением внутренних параметров большой системы вычисляются параметры эффекта и ограничиваются допустимыми значениями параметров эффекта.

До начала оптимизации исследователь должен определить ограничения параметров эффекта в виде (1.2), (1.3) или (1.4). При построении рабочих характеристик первого, второго, третьего и так далее до  $l$ -го параметра необходимо включать эти ограничения в число определяемых значений, причем таким образом, чтобы в область допустимых значений попало достаточное число функциональных зависимостей рабочих характеристик.

Тогда в принятой системе координат функциональные зависимости на рабочей поверхности

ограничат оптимальный участок, если таковой имеется. В случае необходимости оптимальный участок может быть ограничен значениями первого и второго основных параметров эффекта в виде  $w_{O1} = const$  и  $w_{O2} = const$ .

По результатам оптимизации, полученным аналитически, на экране дисплея производится графическая интерпретация полученных результатов, изображение можно вывести на печатающее устройство. При этом на рабочей поверхности должен быть выделен участок, оптимальный по исследуемому параметру, если таковой имеет место.

Графическое представление зависимостей полученных результатов имеет более наглядный вид взаимосвязи между интересующими исследователя параметрами. Этот подход применен для расчета шнекового прессующего механизма.

Изложенная методология позволяет изучать свойства, производить структурный синтез и создавать новые конструкции технологических объектов.

**Список использованной литературы:**

1. Руднев В.Е., Володин В.В., Лучанский К.М., Петров В.Б. Формирование технических объектов на основе системного анализа. М.: Машиностроение, 1991. – 318 с.
2. Карташов Л.П., Полищук В.Ю., Зубкова Т.М., Ханин В.П. Параметрический синтез технологических объектов АПК. «Техника в сельском хозяйстве», №4, 1998, с. 31-34.
3. Карташов Л.П., Полищук В.Ю. Системный синтез технологических объектов АПК. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 185 с.
4. Зубкова Т.М. «Вестник ОГУ», №2, 2002.