

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО КОНИЧЕСКО-ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА

А. В. Печенев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель А. В. Голопятин

Большинство реальных инженерных задач по своей сути многокритериальны. Но их решение предполагает особую математическую постановку задачи, а также использование соответствующего метода исследования пространства внутренних параметров [1]. Поэтому чаще задача оптимизации решается сведением многокритериальной оптимизации к однокритериальной с помощью целевой функции. Данный способ уступает в результативности многокритериальной оптимизации, поскольку носит более субъективный характер.

Целевая функция учитывает критерии оптимальности, заменяя их векторную природу скалярным значением целевой функции. При этом каждый из критериев приобретает влияние, соответствующее своему коэффициенту значимости, которые выбирает инженер-проектировщик – чем важнее критерий, тем больше коэффициент значимости. Целевая функция вычисляется по формуле

$$\text{ЦФ} = f(Y_1, Y_2, Y_3) = k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \dots + k_n Y_n,$$

где k_1, k_2, k_n – коэффициенты значимости критериев (сумма коэффициентов равна 1).

В результате сведения многокритериальной задачи к однокритериальной теряется часть интересных решений [2]. Поэтому в данной работе сделана попытка представить многокритериальную постановку задачи.

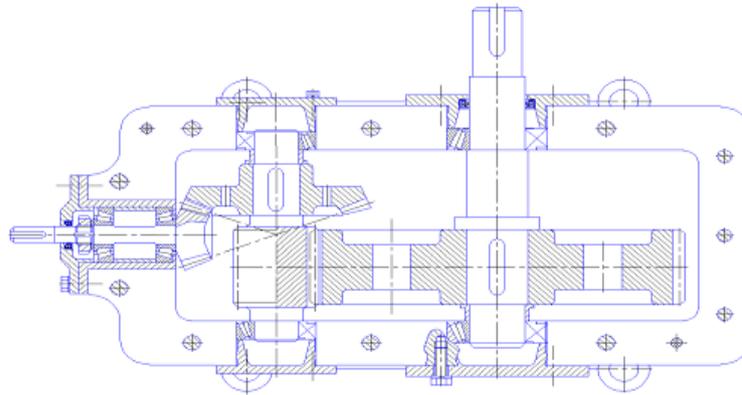


Рис. 1. Редуктор двухступенчатый коническо-цилиндрический

Постановка и решение задачи многокритериальной оптимизации на примере снижения веса и повышения равнопрочности двухступенчатого редуктора

Оптимизируемые (управляемые) параметры:

1. Передаточное отношение первой ступени: $2,5 \leq U_1 \leq 4,0$.
2. Отношение ширины венца к межосевому расстоянию для первой ступени: $0,2 \leq \psi_{ba1} \leq 0,4$.
3. Внешний окружной модуль для конической передачи: $2,0 \leq m_2 \leq 3,0$.

Функциональные ограничения:

1. Величина допускаемого отклонения при вычислении передаточного числа для конической передачи.
2. Величина допускаемых контактных напряжений для цилиндрической передачи.
3. Проверка зубьев на выносливость по напряжениям изгиба для конической передачи.
4. Прочностные возможности по контактной выносливости для цилиндрической передачи.
5. Прочностные возможности по выносливости на изгиб для цилиндрической передачи.

Критерии оптимальности:

1. $1 - \frac{\sigma_{R1}}{\sigma_{HP1}} \rightarrow \min$, где σ_{R1} – реальные контактные напряжения первой ступени; σ_{HP1} – предельные контактные напряжения первой ступени.
2. $1 - \frac{\sigma_{R2}}{\sigma_{HP2}} \rightarrow \min$, где σ_{R2} – реальные контактные напряжения второй ступени; σ_{HP2} – предельные контактные напряжения второй ступени.
3. $\left| \frac{\sigma_{P1}}{\sigma_{H1}} - \frac{\sigma_{P2}}{\sigma_{H2}} \right| \rightarrow 0$ – равнопрочность ступеней редуктора.

Многокритериальная оптимизация

Пространство, ограниченное управляемыми параметрами, образует 4-мерный гиперпараллелепипед, оси которого разбиваются на отрезки при помощи равномерно распределенной последовательности точек; последовательность позволяет наиболее равномерно назначать точки, представляющие вектор управляемых параметров, и обеспечивает эффективное зондирование многомерного пространства. Исследование области допустимых решений в пространстве управляемых параметров из множества всех возможных позволило выделить подмножество «хороших» вариантов, представленных в виде таблицы испытаний. Таким образом, в пространстве множества управляемых параметров, путем отбрасывания точек, не удовлетворяющих функциональным ограничениям, было выделено подмножество решений (опытов), которые сведены в табл. 1.

Таблица 1

Множество решений

Номер опыта	F1	F2	F3
16	0,99733	0,94229	0,05504
1	1,00128	0,92347	0,07780
13	1,01867	1,00698	0,01169
8	1,02548	0,92960	0,09587
5	1,00647	0,96807	0,03839
4	1,00722	0,97102	0,03621
10	1,00998	0,98453	0,02545
7	1,01146	0,98059	0,03086
3	1,01152	0,94156	0,06996
11	1,01375	0,96197	0,05178
16	1,01830	0,98820	0,03010
9	1,01872	0,99136	0,02736

На основе полученных данных с помощью программы Pareto был выполнен поиск точек, расположенных на аналоге компромиссной кривой, представляющей собой 4-мерную гиперповерхность. Результаты поиска представлены в табл. 2.

Таблица 2

Множество Парето

Номер опыта	Y1	Y2	Y3
1	0,25	3,06	0,24
3	0,35	3,63	0,28
4	0,34	2,25	0,24
5	0,32	3,13	0,21
7	0,38	3,75	0,21
9	0,37	3,38	0,24

Анализируя разные номера опытов (точек), можно отметить, что, улучшая значение одного из критериев, мы одновременно ухудшаем значения других. Очевидно, что не существует такого набора параметров, который одновременно оптимизировал бы все критерии. Однако существуют способы, позволяющие уменьшить число эффективных точек.

Если в пространстве критериев (табл. 2) ввести «идеальную» точку, представляющую сочетание наилучших значений критериев, взятых из разных опытов, то получим:

Таблица 3

Координаты «идеальной» точки

Y1	Y2	Y3
0,25	2,25	0,28

В результате можно выбрать наилучший вариант, оценивая его по удалению от «идеальной» точки.

Таблица 4

Решение задачи путем сравнения расстояния до «идеальной» точки

Номер опыта	Y1	Y2	Y3	Расстояние
9	0,37	3,38	0,24	1,13
1	0,25	3,06	0,24	1,56
3	0,35	3,63	0,28	1,74

Если для каждого критерия ввести одинаковую функцию полезности и соответствующий ей весовой коэффициент, общая сумма которых равна 1, то среди полученных вариантов можно выделить наилучший.

Таблица 5

Решение задачи с использованием весовых коэффициентов

Номер опыта	Y1	Y2	Y3	F(Y)M
1	0,25	3,06	0,24	4,74
4	0,34	2,25	0,24	4,47
6	0,30	2,38	0,29	4,38

Оценка полученных данных позволяет заключить, что оптимальным при заданных условиях будет вариант № 1, оптимальные управляемые параметры для редуктора.

Следует отметить, что ввод вышеупомянутых весовых коэффициентов увеличивает субъективность выбора оптимального варианта и ее можно понизить, если конструктор, обладая дополнительной информацией, может расположить критерии по степени их важности.

Вывод

Представленная методика позволяет выбрать оптимальные параметры двухступенчатого коническо-цилиндрического редуктора на раннем этапе проектирования с/х техники.

Литература

1. Соболев, И. М. Выборы оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И. М. Соболев, Р. Б. Статников. – М. : Наука, 1985. – 107 с.
2. Попов, В. Б. Принятие решений при автоматизированном проектировании типовых зубчатых редукторов / В. Б. Попов. – Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2007. – № 1. – 22–28 с.