

Д.Н. Дещеня (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)

Науч. рук. В.Б. Попов, к.т.н., доцент

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО РЕДУКТОРА

Конкуренция вынуждает разработчиков постоянно повышать качество механических приводов машин, проектируя их в автоматизированном режиме. Одной из составляющих этого процесса является расчет выходных параметров редуктора, выполняемый на основе формализованной процедуры анализа. Следующий этап проектирования, включающий математическую модель анализа, относится к процедуре синтеза или оптимизации внутренних параметров редуктора. Критериями оптимальности при этом могут быть любые характеристики редуктора, по которым конструктор судит о его качестве. Для повышения качества механического привода следует формулировать задачу оптимизации как многокритериальную, обеспечивающую возможность влияния на показатели качества.

В статье представлены постановка и ход решения задачи многокритериальной оптимизации цилиндрического редуктора, чертёж которого изображен ниже.

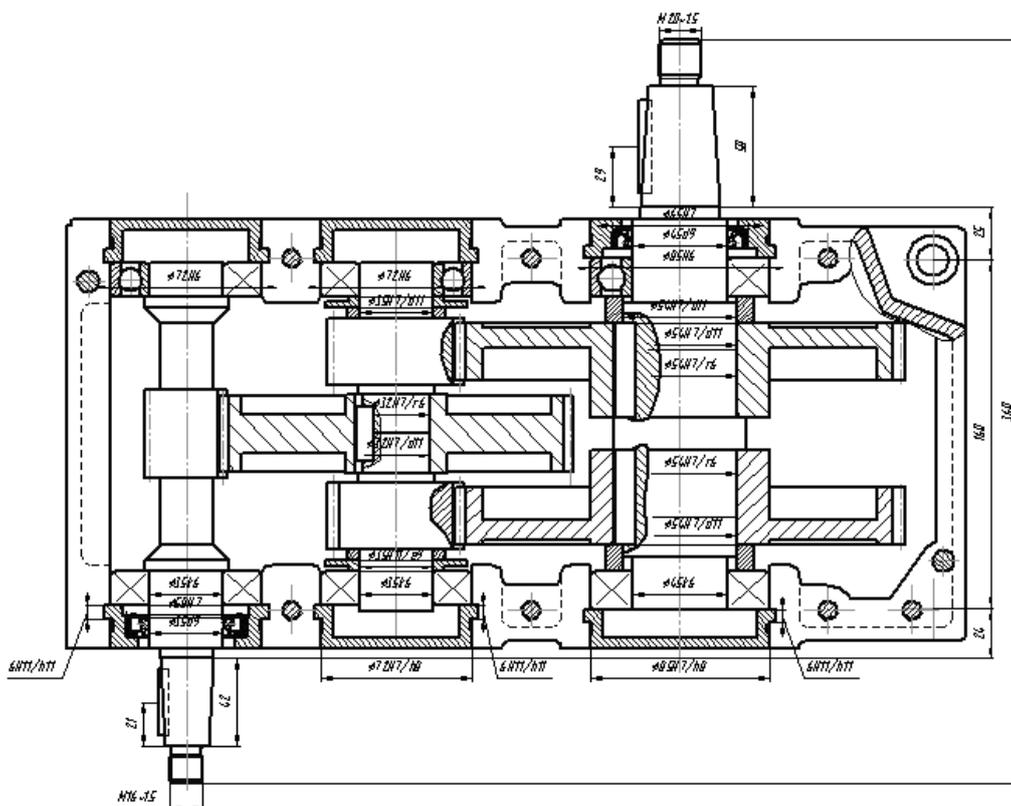


Рисунок 1 – Чертёж редуктора

## **Понятие об автоматизационном проектировании зубчатых передач**

Сущность метода автоматизированного проектирования многоступенчатых передач представлена на этом слайде. Буквы Ч и М, стоящие правее блока, указывают, человеком или машиной выполняются операции, описанные в блоке.

Начальным этапом проектирования является разработка технического задания МЗП, которое устанавливает их основное назначение и технико-экономические показатели. Исходными данными при проектировании служат: общее передаточное отношение, передаваемые нагрузки, числа оборотов входного или выходного валов, необходимая долговечность, условия работы, технологические факторы изготовления, требования к компоновке агрегата в целом.

В блоках 2–4, соответствующих этапу эскизного проектирования, получаются результаты, дающие представления о структуре и технико-экономических показателях МЗП. После анализа и утверждения полученных результатов производится уточненный расчет зубчатых передач, валов, подшипников и соединений и выдача результатов, необходимых для разработки рабочей документации. В противном случае корректируются исходные данные для блока 2 и процесс повторяется до утверждения эскизного проекта.

Анализ результатов уточненного расчета элементов МЗП может показать, что нарушены технические ограничения, вследствие чего потребуются корректировка исходных данных для блока 3 и повторение расчетов.

После утверждения результатов, полученных в блоке 5, разрабатывается и оформляется техдокументация, часть которой может быть получена с помощью чертежно-графических автоматов или других технических средств получения твердой копии.

### **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:  $0.2 \leq \Psi_{bal} \leq 0.4$ .
3. Внешний окружной модуль для конической передачи:  $2.0 \leq m_2 \leq 3.0$ .
4. Коэффициент ширины зубчатого венца для конической передачи:  $1.5 \leq k_{be} \leq 10.0$ .

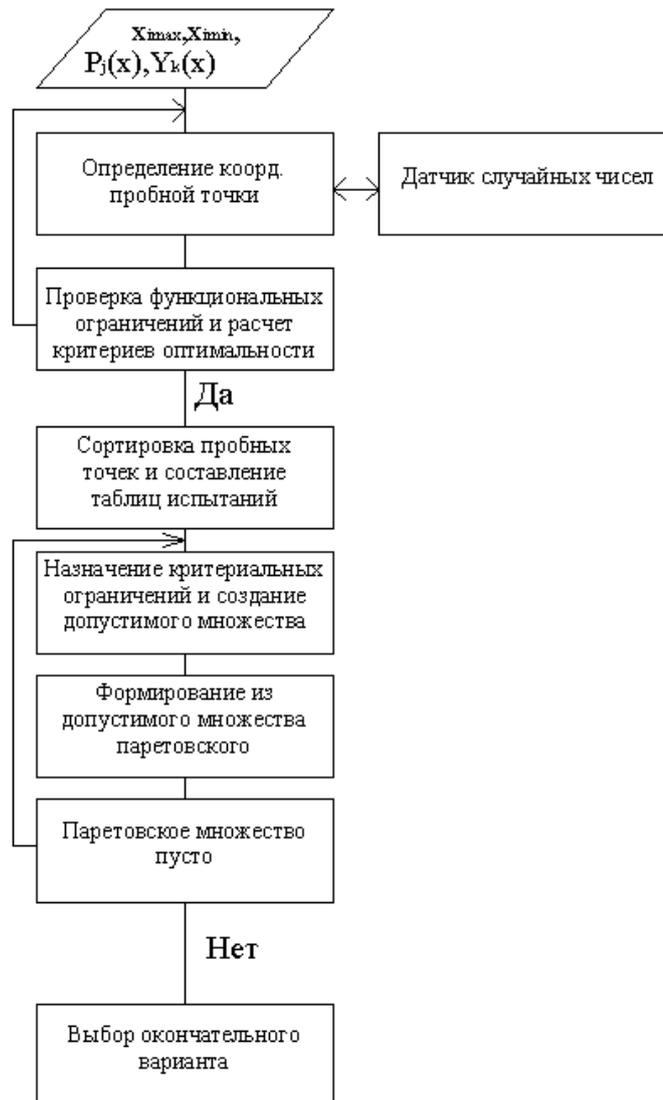


Рисунок 2 – Схема процесса автоматизированного проектирования МЗП с помощью ПЭВМ

**Функциональные ограничения:**

1. Величина допускаемого отклонения при вычислении передаточно-го 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  $\sigma_{R1}$  – реальные контактные напряжения первой ступени;  $\sigma_{HP1}$  – предельные контактные напряжения первой ступени.
2.  $1 - \frac{\sigma_{R2}}{\sigma_{HP2}} \rightarrow \min$  ; где  $\sigma_{R2}$  – реальные контактные напряжения второй ступени;  $\sigma_{HP2}$  – 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-х мерный гиперпараллелепипед, оси которого разбиваются на отрезки при помощи равномерно распределенной последовательности точек. *ЛПТ* 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 таблицу 1.

Таблица 1

№ 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-х мерную гиперповерхность. Результаты поиска представлены в таблице 2:

Таблица 2 – Множество Парето

№ 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 (см. Таблица 2. Множество Парето) ввести “идеальную” точку, представляющую сочетание наилучших значений критериев, взятых из разных опытов, то получим:

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 3 – Решение задачи путем сравнения расстояния до “идеальной” точки.

№ 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 4 – Решение задачи с использованием весовых коэффициентов

№ 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 её можно понизить, если конструктор, обладая дополнительной информацией, может расположить критерии по степени их важности.

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

### Литература

- 1.Соболь, И. М. Выборы оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И. М. Соболь, Р. Б. Статников. – М.: Наука, 1985. – 107 с.
- 2.Максимей, И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988.

**В.В. Диндиков (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)**

Науч. рук. **Г.Ю. Тюменков**, к.ф.-м.н., доцент

### **ПОИСК ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЩЕЙ ЗАДАЧЕ ТРЕХ ТЕЛ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МИНИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛА ДЕЙСТВИЯ**

Задача о движении трех тел под действием гравитационного взаимодействия очень давно интересовала многих ученых, так как за кажущейся простотой обнаруживается очень сложная проблема. Известно, что общая задача трех тел не имеет аналитического решения, поэтому часто изучаются частные случаи, например ограниченная задача трех тел. Особый интерес представляют поиск периодических орбит. Первые точные периодические решения для тел равной массы были найде-