

Уравнение баланса давлений для гидропривода при подъеме РО имеет вид

$$p_n = p_1 + [C\ddot{X} + A\dot{X} + (B+D)\dot{X}^2], \quad (12)$$

где A, B — коэффициенты, учитывающие ламинарный (турбулентный) характер течения рабочей жидкости; D — коэффициент, учитывающий местные гидравлические сопротивления.

Объединяя уравнения (1), (11), (12), получим систему нелинейных ДУ, решая которую определяют закон выдвижения поршня гидроцилиндра $X(t) = f(X, \dot{X}, \ddot{X}, t)$, потери давления в гидроприводе, давление в ГЦ, а также изменение приведенной нагрузки:

$$\begin{cases} \dot{p}_1 = \frac{E_{np}}{V_0 + S_1(X - X_0)} Q - \frac{S_1 E_{np}}{V_0 + S_1(X - X_0)} \dot{X}, \\ p_n = p_1 + [C\ddot{X} + A\dot{X} + (B+D)\dot{X}^2], \\ m(X)\ddot{X} + \frac{1}{2}m'(X)\dot{X}^2 = p_1 S_1 - [F_n(X) + F_{np}(X)], \end{cases} \quad (13)$$

где V_0 — начальный объем рабочей жидкости; X, X_0 — текущее и начальное значения обобщенной координаты (здесь $X \geq X_0$).

В установившемся режиме выходные параметры ГП определяются из системы уравнений (13) с учетом равенства нулю ускорения поршня ГЦ ($\ddot{X} = 0$) и постоянства его скорости ($\dot{X} = \text{const}$).

Методика формирования системы ДУ, описывающей процесс опускания РО, остается прежней.

Скорость втягивания поршня ГЦ ($\dot{X}_r$) при торможении дросселем определяется по выражению

$$\dot{X}_r = \mu \frac{S_{dp}}{S_1 - S_{ш}} \sqrt{\frac{2[p_n - (\Delta p_{гц} + \Delta p_1 + \Delta p_2)]}{\rho}}, \quad (14)$$

где μ — коэффициент расхода; $S_{dp}, S_1, S_{ш}$ — площади сечения соответственно дросселя, поршня и штока ГЦ; ρ — плотность рабочей жидкости.

УДК 62-587.5; 519.863

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕДУКТОРА МЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА

В.Б. ПОПОВ

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого

В.А. ДОВГЯЛО

Белорусский государственный университет транспорта

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 кинематико-цилиндрического редуктора, кинематическая схема которого изображена на рисунке 1.

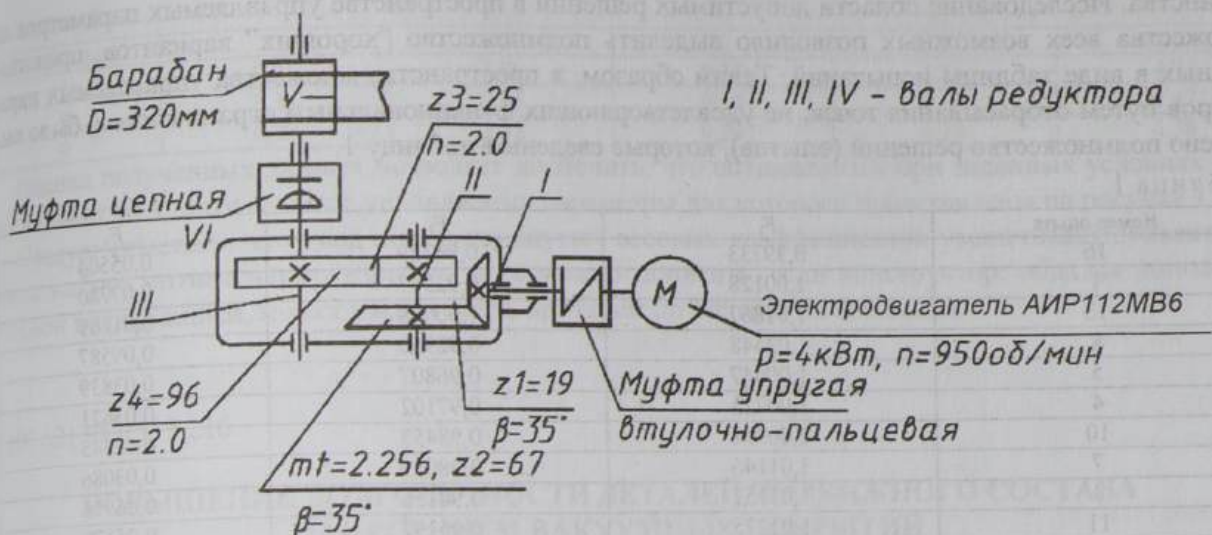


Рисунок 1 – Кинематическая схема механического привода

Задача многокритериальной оптимизации формально представляется как задача нелинейного программирования, включающая: процедуру анализа, выбор управляемых параметров и назначение границ их изменения, а также определение функциональных ограничений и критериев оптимальности.

Внутренние параметры редуктора делятся на постоянные и управляемые, последними варьируют в процессе поиска оптимального решения. К постоянным параметрам были отнесены такие параметры, как внешний вид колес первой и второй ступеней, передаточное отношение второй ступени (конической передачи), окружная сила, скорость ленты, диаметр барабана, коэффициент суточной загрузки и срок службы 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: $0,2 \leq \Psi_{bal} \leq 0,4$.

3 Внешний окружной модуль для конической передачи: $2,0 \leq m_2 \leq 3,0$.

4 Коэффициент ширины зубчатого венца для конической передачи: $1,5 \leq k_{be} \leq 10,0$.

Функциональные ограничения:

1 Величина допускаемого отклонения при вычислении передаточного числа для конической передачи.

2 Величина допускаемых контактных напряжений для конической 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. ЁІ_т последовательность позволяет наиболее равномерно назначать точки, представляющие вектор управляемых параметров, и обеспечивает эффективное зондирование многомерного про-

странства. 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

Номер опыта	F_1	F_2	F_3
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
18	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 с максимальной мощностью, расположенных на аналоге компромиссной кривой, представляющей собой 4-мерную гиперповерхность. Результаты поиска представлены в таблице 2.

Таблица 2

Номер опыта	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	0,25	3,06	0,24	3,36
3	0,35	3,63	0,28	3,09
4	0,34	2,25	0,24	4,69
5	0,32	3,13	0,21	5,22
7	0,38	3,75	0,21	6,81
9	0,37	3,38	0,24	2,03

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. Так, при использовании бинарных сравнений (1-3, 4-5, 7-9) многокритериальная оптимизация дала результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3

Номер опыта	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Сумма
5	0,32	3,13	0,21	5,22	12,00
1	0,25	3,06	0,24	3,36	11,00
9	0,37	3,38	0,24	2,03	10,00

Если в пространстве критериев (см. таблицу 2) ввести “идеальную” точку, представляющую собой сочетание наилучших значений критериев, взятых из разных опытов, то получим координаты “идеальной” точки:

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
0,25	2,25	0,28	2,03

В результате можно выбрать наилучший вариант, оценивая его по удалению от «идеальной» точки (таблица 4).

Таблица 4

Номер опыта	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Расстояние
9	0,37	3,38	0,24	2,03	1,13
1	0,25	3,06	0,24	3,36	1,56
3	0,35	3,63	0,28	3,09	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).

Таблица 5

Номер опыта	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	$F(Y)M$
1	0,25	3,06	0,24	3,36	4,74
4	0,34	2,25	0,24	4,69	4,47
6	0,30	2,38	0,29	6,28	4,38

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

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.

УДК 621.981;539.216

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НАНЕСЕНИЕМ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ

А. В. РОГАЧЕВ, А. Н. ПОПОВ

Белорусский государственный университет транспорта

Применение современных методов обработки материалов, обеспечивающих высокую надежность и долговечность ответственных деталей и оптимизированных по критериям ресурс- и энергосбережения, является приоритетным направлением развития машиностроения, ремонта подвижного состава. На основании результатов исследования структуры и свойств поверхностных слоев, покрытий и влияния на них технологических режимов и условий обработки методами ионной и электронной технологии, анализа закономерностей процессов, протекающих при их реализации, определены основные направления совершенствования известных технологических решений, характеризующихся высокой эффективностью при использовании в машиностроении и на транспорте:

1 Разработка конструкции и технологии формирования многослойных покрытий на основе нитридов металла, пластичных металлов и полимеров. При этом слой мягкого материала используется в качестве внешнего.

Комплексные триботехнические исследования таких многослойных систем толщиной до 5 мкм, сформированных в оптимальных технологических условиях, показали, что они обладают низким коэффициентом трения по стали ШХ 15, высокой износостойкостью, долговечностью. Несмотря на то, что твердость покрытий из нитрида титана превышает твердость контртела более чем в 3 раза, его износ в таких системах снижается в 10,3 раза.

На основании полученных результатов разработана технология восстановления и модификации рабочих поверхностей топливной и тормозной аппаратуры двигателей.

2 Оптимизация условий и режимов осаждения алмазоподобных покрытий (АПП) из импульсной катодной плазмы. Разработка эффективных приемов легирования таких покрытий на стадии их осаждения.

Испытания двухслойных покрытий (АПП + твердая смазка) показали, что нанесение меди (толщиной до 1 мкм) позволяет уменьшить коэффициент трения $f_{тр}$ и скорость изнашивания I . Нанесение слоя ПТФЭ в качестве твердой смазки на АПП дало увеличение $f_{тр}$ до 1,5 раза и I до 20 %.

Определены триботехнические и механические свойства, морфология сформированных из плазмы импульсного дугового разряда легированных титаном углеродных α -С покрытий, их зависимость от концентрации титана и режима термообработки.

При нагреве многослойного покрытия Ti-C, обработке ионами процессы диффузии активизируются, и происходит значительное изменение химического состава и структуры покрытия. Полученные данные свидетельствуют о значительном увеличении твердости покрытия и формировании структур, характерных для карбида титана.

3 Разработка новых методов плазмохимической обработки материалов, приводящих к формированию на поверхности тонких функциональных слоев различной природы, в том числе и полимерных. Особый интерес представляют методы обработки в активной газовой фазе, образованной ионным или электронно-лучевым диспергированием исходного полимера в вакууме. Данные методы