

Methodology of experimental research designs and the basic characteristics of resistant gas-static bearings

Krasilnikova O. (Russian Federation)

Методика экспериментального исследования конструкций и основных характеристик упорных газостатических подшипников Красильникова О. А. (Российская Федерация)

Красильникова Ольга Алексеевна / Krasilnikova Olga – кандидат технических наук, доцент,
кафедра кораблестроения,

Государственное образовательное учреждение Высшего образования
Комсомольский-на-Амуре государственный университет, г. Комсомольск-на-Амуре

Аннотация: в работе представлена методика проведения экстремальных экспериментов методом симплекс-планирования по поиску конструкций упорных подшипников с уплотнением рабочей поверхности, доставляющих экстремум функции.

Abstract: the paper presents the methodology for conducting extreme experiments by the method of simplex-planning for the search of structures of the thrust bearings with the seal working surface that delivers the extremum of the function.

Ключевые слова: метод симплекс-планирования, гладкощелевой УГСП, питающие отверстия (питатели), периферийное и втулочное лабиринтные уплотнения.

Keywords: the method of simplex planning, glucoselevel PSP feeding holes (feeders), peripheral bushing and labyrinth seals.

Для проведения экстремальных экспериментов методом симплекс-планирования по поиску конструкций упорных подшипников с уплотнением рабочей поверхности, доставляющих экстремум функции, была разработана экспериментальная установка [1].

Экспериментальные исследования выполнены с тремя типоразмерами УГСП. При фиксированном значении периферийного диаметра подшипника $d_3 = 150$ мм они отличались между собой втулочным диаметром d_0 , который составлял 40, 47 и 55 мм.

Поиск области оптимума функции цели методом симплекс-планирования при восьми независимых переменных требует проведения большого числа опытов. Так только в нулевой точке для принятия решения о достижении области оптимума требуется провести 26 опытов. Поэтому с целью сокращения количества экспериментов решение оптимизационной задачи проводилось в два этапа. На первом этапе решалась задача нахождения конструкции гладкощелевого подшипника, оптимизированной по четырем параметрам - диаметру первого ряда питателей d_1 , диаметру второго ряда питателей d_2 , диаметру питателей d_n и количеству питателей в ряду N . На втором этапе ставилась задача нахождения оптимальной геометрии периферийного и втулочного лабиринтных уплотнений. Независимыми переменными данной задачи являлись количество лабиринтов на периферии N_3 и у втулки N_0 , шаг лабиринтов t и расстояние между гребнями лабиринтов a .

Количество опытов при перемещении симплекса в область оптимума зависит от того, насколько далеко от этой области находится нулевая точка. Вследствие отсутствия в открытой печати априорной информации об оптимальной конструкции гладкощелевого УГСП, доставляющей максимум значения Q/G , геометрические размеры независимых переменных исследуемых подшипников в нулевой точке приняты подобными соответствующим параметрам конструкции УГСП, описанной в работе [2].

В качестве примера рассмотрим порядок решения оптимизационной задачи на первом этапе для гладкощелевого подшипника при $d_0 = 40$ мм.

Первый шаг при симплекс-планировании заключается в построении матрицы исходного симплекса – таблицы, в которой записываются значения факторов в нулевой точке и принятые интервалы варьирования (таблица 1). Заметим, что интервалы варьирования выбраны, исходя из анализа предварительно проведенных экспериментов, в которых также варьировались значения факторов в нулевой точке.

Таблица 1. Матрица исходного симплекса для гладкощелевого подшипника

Факторы			Нулевой уровень фактора ($x_i=0$)	Интервалы варьирования факторов (ε)
в кодированных величинах	в именованных величинах	наименование		

x_1	d_1 , мм	Диаметр первого ряда питателей	66	3
x_2	d_2 , мм	Диаметр второго ряда питателей	104	3
x_3	d_n , мм	Диаметр питателей	0,5	0,2
x_4	N	Количество питателей в ряду	16	6

Далее для четырех факторов строится стандартная числовая матрица для определения координат вершин симплекса. Данная матрица для обеспечения оптимальности применяемого плана эксперимента позволяет построить преобразованную матрицу. Элементы преобразованной матрицы находятся путем деления элементов числовой матрицы на величину ее максимального элемента (таблица 2). Радиус сферы, описывающей этот симплекс, равен единице.

Таблица 2. Преобразованная матрица с безразмерными величинами

Номер исходного симплекса	x_1	x_2	x_3	x_4
1	- 0,791	- 0,457	- 0,323	- 0,250
2	0,791	- 0,457	- 0,323	- 0,250
3	0	0,915	- 0,323	- 0,250
4	0	0	0,968	- 0,250
5	0	0	0	1

После построения матрицы симплекс-планирования с безразмерными величинами составляется таблица с именованными величинами, которая учитывает интервал варьирования и координаты центра эксперимента.

Рабочая матрица строится с использованием соотношения:

$$C_i = C_{oi} + \varepsilon x_i,$$

где x_i - кодированное значение фактора (безразмерная величина); c_i и c_{oi} - натуральные значения фактора (соответственно его текущее значение и значение на нулевом уровне); ε - натуральное значение интервала варьирования фактора.

В таблице 3 представлены расчетные значения факторов в именованных величинах.

Движение симплекса в факторном пространстве осуществляется путем зеркального отражения одной из вершин, которая имеет минимальное значение параметра оптимизации. Координаты новой вершины определяются по формуле:

$$x_{ji}^{(k+2)} = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k x_{ji} - x_{ji}^* ;$$

где $x_{ji}^{(k+2)}$ - координаты новой точки; x_{ji}^* - координата точки с минимальным значением

параметра оптимизации; $\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{ji}$ - среднее из координат всех точек симплекса, кроме «плохой».

Таблица 3. Преобразованная матрица с именованными величинами

Номер опытов в исходном симплексе	Значения независимых параметров			
	d_1 , мм	d_2 , мм	d_n , мм	N
1	63,6	102,6	0,4	15
2	68,4	102,6	0,4	15
3	66,0	106,7	0,4	15
4	66,0	104,0	0,7	15
5	66,0	104,0	0,5	22

После построения нового симплекса и проведения опыта в найденной точке вновь решается вопрос об исключении «плохой» точки. Если при построении нового симплекса в любой его вершине нарушается какое-либо из ограничений

$$d_n \geq 0,2 \text{ мм}; d_1 > d_0; d_2 < d_3; Nd_n < \pi d_1,$$

то в предыдущем симплексе отбрасывается вторая по значимости критерия оптимизации «плохая» точка.

Область оптимума полагалось найденной, когда число симплексов с одной и той же вершиной не превышало определенного максимального значения N_{max} равного:

$$N_{max} = 1,65k + 0,05k^2.$$

Последовательность проведения экспериментов по определению оптимальных размеров лабиринтных уплотнений аналогична описанной выше методике. При этом в качестве ограничений второго этапа оптимизации выступают условия:

$$a \geq 0,4 \text{ мм}; t - a \geq 0,3 \text{ мм}; d_3 - 2tN_3 > d_2; d_0 + 2tN_0 < d_1.$$

Для этого же типоразмера подшипника с лабиринтными уплотнениями значение факторов в нулевой точке и интервалы варьирования представлены в таблице 4.

Таблица 4. Матрица исходного симплекса для подшипника с лабиринтными уплотнениями

Факторы			Нулевой уровень фактора ($x_i=0$)	Интервалы варьирования факторов (ε)
в кодированных величинах	в именованных величинах	наименование		
x_1	t , мм	Шаг лабиринта	1,5	0,1
x_2	a , мм	Расстояние между гребнями	0,9	0,2
x_3	N_3	Число лабиринтов на периферии	14	2
x_4	N_0	Число лабиринтов у втулки	6	2

При обработке экспериментальных данных основные характеристики подшипников определялись следующим образом.

Коэффициент несущей способности газовой опоры:

$$C_Q = \frac{Q}{(p_s - p_a)S_n},$$

где p_s - абсолютное давление наддува газа; p_a - атмосферное давление; S_n - эффективная площадь поверхности подшипника; Q - нагрузка на испытуемом подшипнике.

Несущая способность подшипника определялась по формуле:

$$Q = S_{nop}(p_n - p_a),$$

где S_{nop} - эффективная площадь поршня; p_n - абсолютное давление воздуха в поршневой области.

Величина коэффициента жесткости смазочного слоя находилась согласно выражению:

$$k_s = -\bar{h} \frac{dC_Q}{d\bar{h}},$$

где $\bar{h} = h/d_3$ - относительный зазор между пятой и подпятником.

Массовый расход смазки определялся:

$$G = K_M \sqrt{0,001 \cdot \Delta H (\rho_{yt} - \rho_t) \rho g},$$

где K_M - расходный коэффициент; ΔH - перепад уровня жидкости в U-образном дифманометре; ρ_{yt} - плотность уравнивающей жидкости при давлении перед расходомерной

диафрагмой p_p и температуре окружающей среды T_{oc} ; ρ_t' - плотность воздуха над уравнивающей жидкостью при давлении p_p и температуре T_{oc} , ρ - плотность воздуха в рабочих условиях.

Литература

1. *Космынин А. В., Красильникова О. А., Гуменюк Н. С.* Экспериментальный стенд для исследования характеристик упорных газостатических подшипников. - Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, Комсомольск-на-Амуре, 2011. Т. 1., № 7, с. 54-56.
2. *Седько Н. П.* Анализ основных характеристик кольцевых газостатических подпятников различного конструктивного исполнения. – Труды НКИ, Николаев, 1975, № 100, с. 48-53.