

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Прокопенко В.А., Семенюк Н.А., Баранов М.А.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург*

Ключевые слова: динамическое качество САР, виброустойчивость, гидростатический подшипник, критерий оценки.

Аннотация. Приводятся расчетные критерии оценки динамики гидростатических подшипников. Дано сравнение их возможностей применения. Отмечены средства повышения динамического качества САР за счет применения РС-коррекции.

ON THE APPLICATION OF DYNAMIC QUALITY'S CRITERIA IN RESEARCHES OF MACHINE EQUIPMENT'S HYDROSTATIC BEARINGS

Prokopenko V.A., Semenyuk N.A., Baranov M.A.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg

Keywords: dynamic quality of ACS, vibration resistance, hydrostatic bearing, evaluation criterion.

Abstract. The calculation criteria for estimating the dynamics of hydrostatic bearings are given. A comparison of their application possibilities is given. Means of increasing the dynamic quality of ACS due to the use of RC-correction are noted.

При разработке и модернизации гидростатических подшипников (ГСП) металлорежущего оборудования (МРО) первостепенное значение имеет оценка динамического качества (ДК) шпиндельных узлов.

При исследованиях за объект принят тяжелый серийный расточной модуль ЛР520ПМФ-4 с диаметром выдвигаемого шпинделя $D=160$ мм. Выполнена оценка ДК ГСП с использованием следующих критериев: запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi$, показатель колебательности M , логарифмический декремент колебаний λ .

Установлено, что в исходном состоянии ГСП имеет низкое ДК ($\Delta\varphi=7^\circ$). Для его повышения рассмотрено введение в ГСП динамической коррекции в виде РС-цепи (с гидросопротивлением R_A и гидроемкостью C_A). Для определения значений R_A и C_A расчет $\Delta\varphi$ [1] производился по частотным характеристикам [2] системы автоматического регулирования (САР) через передаточные функции (W_p) [3]. Для оценки ДК $\Delta\varphi$ должен обеспечиваться на уровне не менее 55° [4]. При расчете M его значение при высоком ДК должно составлять 1.1-1.3 [5] и определяться по асимптотической ЛАЧХ как [6]:

$$M = \frac{T_{\omega_{cp}}}{T_{\omega_{cp}} - 1},$$

где T – постоянная времени, соответствующая наклону ЛАЧХ – 20 дБ/дек до ω_{cp} , ω_{cp} – значение частоты среза.

В случае введения в САР РС-цепи колебательность САР может быть достаточно низкой. В этом случае определение λ затруднено и был использован метод построения АЧХ [7] (например, в пакете МВТУ) после чего по расчетной амплитуде $A = A_{\max} / \sqrt{2}$ (где A_{\max} – значение амплитудного пика на АЧХ) производится расчет $\lambda = \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{\omega_{\max}}$, где ω_2 и ω_1 – частоты на АЧХ по уровню

$$A = A_{\max} / \sqrt{2}, \omega_{\max} - \text{частота, соответствующая } A_{\max}.$$

В таблице 1 приведены результаты расчета показателей ДК для различных вариантов исполнения коррекции.

Из анализа полученных результатов следует:

- при отсутствии коррекции (вариант 0) в исходном состоянии ГСП имеет низкое демпфирование;

- при вариантах коррекции 1-3 рассмотренная РС-цепь с емкостью $C_A=21 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3/\text{Па}$ (в виде стандартного стального сильфона 18x10x0.25 ГОСТ 21482-76) обеспечивает у САР близкие значения $\Delta\phi$ (высокие значения ДК), однако из-за отличия соответствующих значений расхождения в динамике все-таки имеют место;

- при ближайшей меньшей стандартной величине $C_A=5 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3/\text{Па}$ значение $\Delta\phi$ существенно ниже и находится в области низкого ДК;

- по критерию М в варианте 3 обеспечивается наилучшее по сравнению с вариантами 1 и 2 общее ДК;

- по критерию λ для варианта 3 также ДК наилучшее.

Табл. 1. Показатели ДК для различных вариантов коррекции

Номер варианта		0	1	2	3	4	5
Параметры коррекции	$C_A, *10^{-14} \text{ м}^3 / \text{Па}$	-	21	21	21	15.8	5
	$R_A, *10^9 \text{ Па} \cdot \text{с} / \text{м}^3$	-	6.6	9.5	13.2	10.3	16
Динам. параметры	$\Delta\phi, ^\circ$	7	55	59	55	55	37
	M	-	2.3	1.4	1.2	1.5	-
	λ	0.4	3.7	5.1	7.3	4.8	3.4

Рассмотренные критерии ДК дают возможность установить параметры РС-цепи, обеспечивающие высокое ДК САР. Однако при этом следует иметь в виду следующее.

1) При использовании критерия $\Delta\phi$ достаточно просто его определение через W_p , но требуется его дополнительная проверка по динамике (например, в пакете МВТУ) с учетом неоднозначности ДК, зависящего от $\omega_{\text{ср}}$;

2) Использование критерия М может иметь ограничения, т.к. не каждая ЛАХЧ содержит $\omega_{\text{ср}}$ на участке ее наклона -20 дБ/дек;

3) Расчет ДК по критерию λ , с одной стороны, является более громоздким (при отсутствии его автоматизации [8]), а с другой стороны, не каждая АЧХ имеет две расчетные частоты (ω_1 и ω_2) при пересечении ее по уровню $A = A_{\max} / \sqrt{2}$.

Подтверждение эффективности коррекции ГСП производится расчетом и построением переходных процессов (ПП).

Таким образом, в результате проведенных исследований показана достаточная эффективность применения критериев оценки ДК и самой коррекции ГСП средствами РС–цепей, и установлены существенные возможные ограничения их использования.

Список литературы

1. Бундур М.С., Пелевин Н.А., Петков П.П., Прокопенко В.А. Расчет, моделирование и конструирование оборудования с компьютерным управлением: практикум. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 56 с.
2. Бундур М.С. Теория автоматического управления: Учебное пособие / М.С. Бундур, Н.А. Пелевин, В.А. Прокопенко, И.А. Чернов – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – 76 с.
3. Бундур М.С., Прокопенко В.А., Чернов И.А. Моделирование шпиндельных гидростатических подшипников и исследование возможностей повышения их динамического качества // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2009. – Т. 64, № 6. – С. 32-37.
4. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. – М: Машиностроение, 1983. – 608 с.
5. Прокопенко В.А., Яцкевич А.А. Динамические характеристики гидростатических подшипников тяжелых металлорежущих станков // Прогрессивные технологические процессы в машиностроении. – Л: ЛГТУ, 1990. – С. 7-14.
6. Лещенко В.А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
7. Козлов О.С., Скворцов Л.М. Программный комплекс "МВТУ" в научных исследованиях и прикладных разработках // Математическое моделирование. – 2015. – Т. 27, № 11. – С. 32-46.
8. Бундур М.С., Пелевин Н.А., Прокопенко В.А. Совершенствование расчетно-вычислительной базы для повышения уровня подготовки специалистов-станкостроителей // Материалы 3-й Международной научно-практической конференции «Современное машиностроение. Наука и образование». – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 896-904.

Сведения об авторах:

Прокопенко Вячеслав Алексеевич – к.т.н., доцент, СПбПУ, г.Санкт-Петербург;

Семенюк Никита Анатольевич – студент, СПбПУ, г.Санкт-Петербург;

Баранов Матвей Антонович – студент, СПбПУ, г.Санкт-Петербург.