

**ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
КОРРЕКТИРОВАННЫХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ**

*Прокопенко В.А., Редькина А.Д., Семенюк Н.А.*

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

**Ключевые слова:** шпиндель, гидростатический подшипник, динамическая коррекция, запас по фазе, декремент колебаний.  
**Аннотация.** В статье исследованы динамические характеристики гидростатических подшипников станочного модуля ЛР520-ПМФ4. Выполнен анализ соответствующих логарифмических частотных характеристик. Показано, как с помощью логарифмического декремента колебаний уточнить динамический критерий запаса по фазе. Построением переходных процессов подтверждена обоснованность достигнутых результатов.

**RESEARCH OF ESTIMATION CRITERIONS OF CORRECTED HYDROSTATIC BEARINGS`  
DYNAMIC PROPERTIES OF SPINDLE UNITS**

*Prokopenko V.A., Redkina A.D., Semenyuk N.A.*

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

**Keywords:** spindle, hydrostatic bearing, dynamic correction, phase margin, decrement of oscillation.  
**Abstract.** Hydrostatic bearings` dynamic properties of a machine LR520-PMF4 were searched in the article. Analysis of corresponding logarithmic frequency characteristics was carried out. How to refine dynamic criterion of phase margin using logarithmic decrement of oscillation was shown. Transient processes were plotted to confirm validity of the results.

Цель работы: исследование корректирующих возможностей шпиндельных гидростатических подшипников с помощью RC-цепей.

При проведении исследований различных схем управления опорами гидростатических подшипников (ГСП) шпиндельных узлов [1] установлено, что при обеспечении их эквивалентной жесткости динамические показатели близки и запас по фазе ( $\Delta\phi$ ) не превышает  $22.8^\circ$ , а этого недостаточно для САР ГСП высокого динамического качества.

Существенно улучшить динамику можно введением корректирующих RC-цепей, включаемых попарно между противоположно расположенными опорами ГСП. Важную роль играет выбор основных параметров: гидравлической емкости  $C_A$  и гидросопротивления  $R_A$ . Так для дроссельной системы управления ГСП выполнены соответствующие расчеты и на рисунке 1.а показаны логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ), а на рисунке 1.б фазо-частотные характеристики (ЛФЧХ) ГСП шпиндельного модуля ЛР520-ПМФ4 для трех вариантов выбора значения  $R_A$  при одном выбранном значении  $C_A$ , соответствующем стандартному металлическому сильфону по ГОСТ 21482-76.

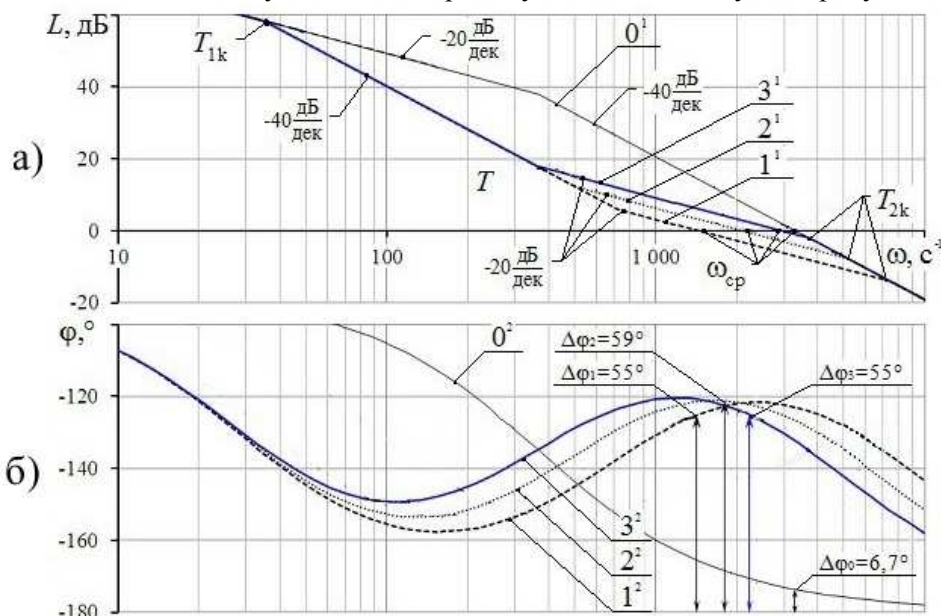


Рис. 1. Характеристики: а) ЛАЧХ; б) ЛФЧХ

При различных значениях частоты среза  $\omega_{cp}$  САР ГСП с RC-цепью обладает практически одинаковой величиной запаса по фазе (около  $\phi \approx 55^\circ$ ). Однако анализ ЛАЧХ показывает разные значения  $\omega_{cp}$  и различные протяженности участка с наклоном  $-20$  дБ/дек до этой частоты (наибольшую длину, а значит и лучшее динамическое качество, имеет такой участок для характеристики  $3^1$ ).

Для количественной оценки различия в динамическом качестве ГСП выполнены расчеты логарифмического декремента колебаний ( $\lambda$ ) САР рассматриваемых трех вариантов коррекции.

Использован пакет MBTU и определение АЧХ с дальнейшим расчетом  $\lambda$  по параметрам на ней расположенного пика [2].

На рисунке 2 приведена полученная зависимость  $\lambda=f(R_A)$ , а также зависимость  $\Delta\varphi=f(R_A)$ .

Из анализа полученных результатов следует, что при одинаковых значениях  $\varphi=55^\circ$  существенно лучшая динамика обеспечивается при  $R_A=13.2 \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$  ( $\lambda$  выше в 2.2 раза, чем при  $R_A=6.5 \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$ ). Это же подтверждают и переходные процессы (ПП) на рисунке 3, хотя в целом варианты коррекции практически исключают колебательность, характерную для исходного ГСП (вариант 0).

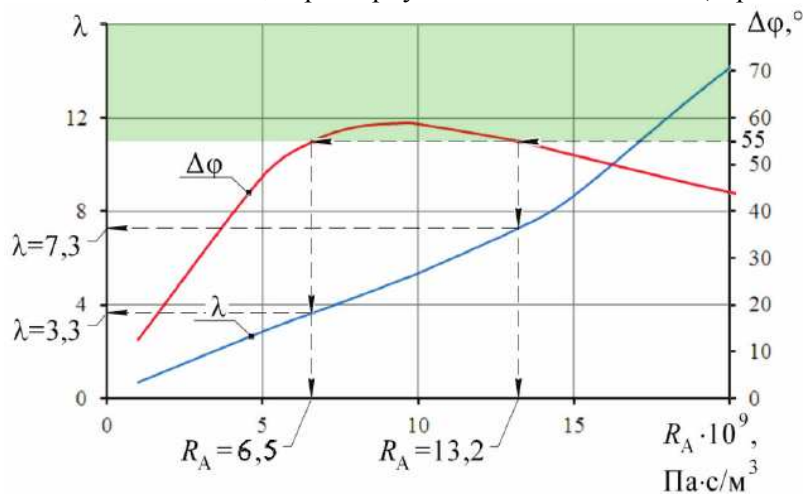


Рис. 2. График совмещенных характеристик  $\Delta\varphi=f(R_A)$  и  $\lambda=f(R_A)$

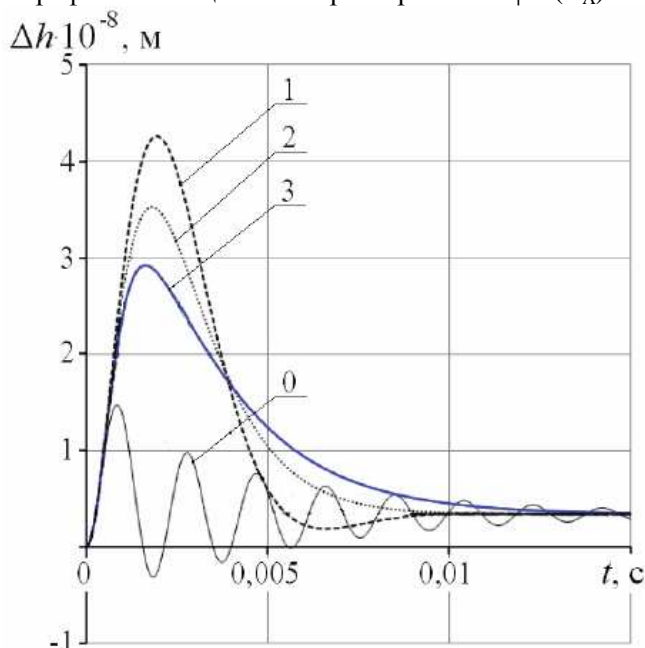


Рис. 3. Переходные процессы для вариантов САР ГСП при  $R_n=100 \text{ Н}$

Таким образом, установлено, что использование в качестве динамического критерия САР логарифмического декремента колебаний позволяет точнее оценивать динамическое качество проектируемых и исследуемых объектов.

### Список литературы

1. Редькина А.Д., Семенюк Н.А. Исследование схем управления гидростатическими опорами шпиндельных подшипников по динамическим параметрам // Научный потенциал молодежи и технический прогресс. – СПб.: СПбФ НИЦ МС, 2018. – С. 71.
2. Веденина А.И., Прокопенко В.А. Исследование методов определения динамического качества САР гидростатического подшипника с использованием пакета MBTU // Неделя науки СПбПУ, 4.2 – СПб: Изд-во политехнич. Университета, 2017. – С. 310-312.

### Сведения об авторах:

Прокопенко Вячеслав Алексеевич – к.т.н., доцент, СПбПУ;

Редькина Анна Дмитриевна – студент, СПбПУ;

Семенюк Никита Анатольевич – студент, СПбПУ.