

УДК 621.822.22

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ  
МЕХАНИЧЕСКОГО ВЫРАВНИВАЮЩЕГО  
УСТРОЙСТВА ПОДШИПНИКА КИНГСБЕРИ**

**Гордеев Николай Николаевич**, к.т.н., доцент, СПбГМТУ, СПб, e-mail: nn-gordeev@list.ru;

**Смирнов Александр Анатольевич**, к.т.н., доцент, СПбГМТУ, СПб, e-mail: smir70@mail.ru;

**Карпычев Александр Витальевич**, студент, СПбГМТУ, СПб, e-mail: Sokolovaxe@gmail.com

**Аннотация:** в статье расчетным путем выполнена оценка влияния формы опоры рычага нижнего ряда на перемещения контактов в сопряжениях элементов механического выравнивающего устройства упорного подшипника Кингсбери. Опора рычага выбиралась в виде призмы, конуса, цилиндра и сферы с образованием контактов в виде линии и точки. Расчетом было определено перемещение контактов в зависимости от угла поворота рычага нижнего ряда и от соотношения основных размеров сопрягающихся элементов: рычага и сфер. Выполнен анализ результатов расчетов. В результате сопоставления перемещений контактов при повороте в рабочем диапазоне углов рычага нижнего ряда выявлено слабое, практически незаметное влияние формы опоры рычага на перемещение контактов.

**Ключевые слова:** механическое выравнивающее устройство, контакт, рычаг, опора, сфера, перемещение

**Gordeev Nikolay Nikolayevich**, Ph.D. (Eng), associate professor, St. Petersburg State Marine Technical University, e-mail: nn-gordeev@list.ru;

**Smirnov Alexander Anatolyevich**, Ph.D. (Eng), associate professor, St. Petersburg State Marine Technical University, e-mail: smir70@mail.ru;

**Karpychev Alexander Vitalyevich**, undergraduate student, e-mail: Sokolovaxe@gmail.com

## THE RESEARCH OF THE KINGSBURY THRUST BEARING MECHANICAL ALIGNMENT DEVICE ELEMENTS MOVEMENTS

**Annotation:** This article includes the calculated estimate of the lower row lever support shape influence on the contacts movements in interfaces of Kingsbury thrust bearing mechanical alignment device elements.

The lever support was chosen in the forms of a prism, cone, cylinder and sphere with the contact formation in the forms of a line, point.

The calculation determined the contacts movement depending on the rotation angle of the lower row lever and on the ratio of the mating elements main measurements: lever and spheres. The analysis of the calculation results has been performed.

As a result of the movements comparison of the contacts at turn in the lower row lever angles working range revealed a weak, almost imperceptible influence of the lever support form on contact movement.

**Key words:** thrust bearing alignment device, contact, lever arm, lever support, sphere, contact movements.

Большинство известных механических выравнивающих устройств (МВУ) упорных подшипников Кингсбери представляют собой механизмы, состоящие из двух рядов равноплечих рычагов с расположенными между ними промежуточными телами, выполненными, в основном, в виде сфер. Детали, образующие МВУ, взаимодействуют между собой и с внешними элементами подшипника через контакты линейного и точечного типа, образованные плоскими, цилиндрическими и сферическими поверхностями. Вид контактной поверхности определяет конструкцию и технологию изготовления МВУ, а также влияет на эффективность работы подшипника в целом. В данной работе приведены результаты расчетного исследования влияния на перемещения контактов между элементами МВУ указанных выше поверхностей. В качестве критерия оценки влияния приняты величина перемещения контактов по поверхностям рычага и сфер, а также их соотношения при изменении геометрических параметров рычага и сфер в зависимости от угла поворота и вида поверхности опоры рычага нижнего ряда.

На рис. 1 и 2 представлены схемы исследованных видов МВУ с расположением точек/линий контактов рычагов в единой плоскости. На рис.1 в качестве опоры рычага используется ребро призмы с основанием в виде равностороннего треугольника или вершина конуса. Данная схема относится к контактам в виде линии и точки, сохраняющим при работе свое положение в пространстве. На рис.2 опора рычага представляет собой поверхность цилиндра (контакт в виде линии) или поверхность сферы (контакт – точка). Данная схема относится к контактам, изменяющим при работе свое положение в пространстве за счет перекачивания по плоской поверхности.

На схемах цифрами обозначены прямые, уравнения которых необходимы при допущениях, описанных в работе [1], для определения в системе координат ХОУ расстояний, на которые перемещаются контакты в сопряжениях элементов МВУ, а также для оценки перемещений центров сфер, опирающихся на плечи рычага нижнего ряда. Значками, как и в работе [2], отмечены контакты элементов МВУ. Форма поверхности контакта рычага нижнего ряда с опорой на графиках обозначалась, как ЦС – для контакта, изменяющего свое положение в пространстве за счет перекачивания, и ПК – для контакта, сохраняющего при работе свое положение в пространстве.

В результате решения уравнений прямых находились координаты точек контактов до и после перемещения, по которым в зависимости от угла поворота рычага нижнего ряда в системе координат ХОУ и отношения радиуса сферы к плечу рычага определялись расстояния, проходимые контактами, а именно:  $\Delta_L$  и  $\Delta_{ПР}$  – по левому и правому плечам рычага нижнего ряда;  $\Delta_{ЛС}$  и  $\Delta_{ПРС}$  – по поверхностям левой и правой сфер, а также перемещения параллельно оси Y центров левой ( $\Delta_{Лу}$ ) и правой ( $\Delta_{ПРу}$ ) сфер. Проверялось путем сравнения результатов расчетов влияние формы опоры рычага нижнего ряда (ЦК и ЦС) при его повороте на угол  $\alpha$  при разных отношениях  $r/a$  (между радиусом сферы «r» и плечом рычага «a»), а именно на:

- 1) перемещение центров ( $O_L$  и  $O_{ПР}$ ) соответственно левой ( $\Delta_{Лу}$ ) и правой ( $\Delta_{ПРу}$ ) сфер;

2) расстояния, проходимые контактами, в сопряжениях левого и правого плеч рычага нижнего ряда со сферами;

3) соотношения расстояний, проходимых контактами по поверхностям в сопряжениях по п.2.

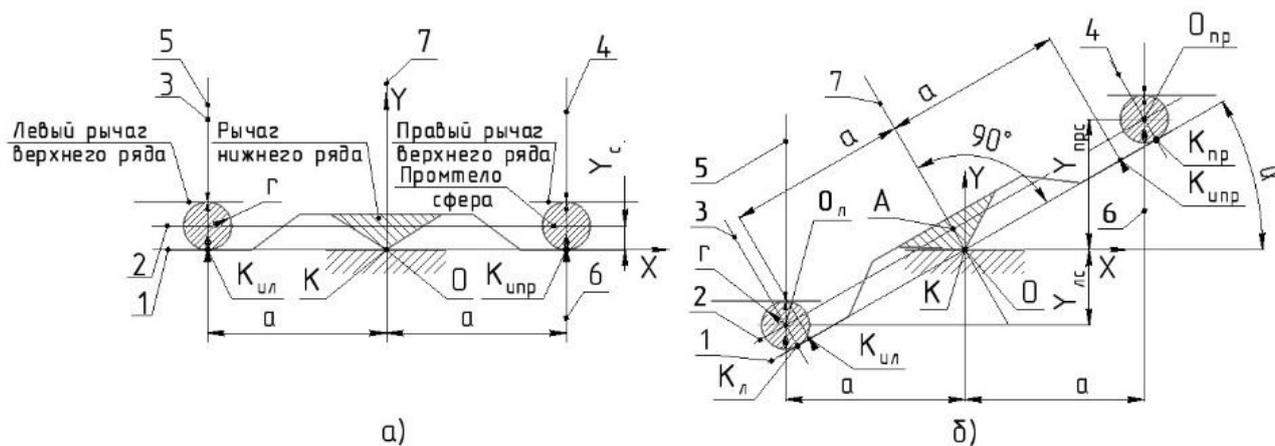


Рис.1. Схема механизма с фиксированной точкой/линией опоры рычага нижнего ряда:  
 а) – исходное положение элементов; б) – положение элементов после поворота рычага на угол  $\alpha$

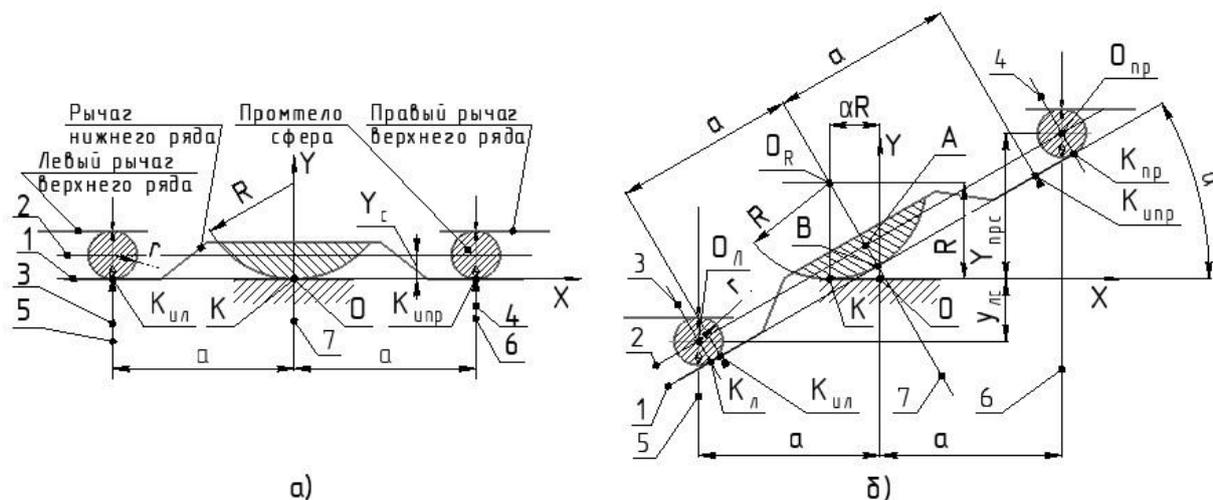


Рис.2. Схема механизма с перемещающейся точкой/линией опоры рычага нижнего ряда:  
 а) – исходное положение элементов; б) – положение элементов после поворота рычага на угол  $\alpha$

Угол поворота варьировался в пределах рабочего диапазона углов МВУ, принятого равным  $0 \dots 0,8^\circ$  и соответствовавшего перемещению центра сфер примерно на половину максимального перекоса упорного гребня ротора для турбин большой мощности, принятого равным 0,001 м, и в пределах расчетного диапазона –  $0 \dots 15^\circ$ . Отношение « $r/a$ » при расчетах принималось равным 0,1; 0,5 и 1,0.

В качестве иллюстрации результатов расчетов на рис.3 и рис.4 для  $r/a=0,1$  приведено перемещение центров сфер в указанных выше диапазонах угла поворота рычага. Перемещение центров левой ( $\Delta L_y$ ) и правой ( $\Delta P_y$ ) сфер в пределах рабочего диапазона углов  $\alpha$  практически не зависит от формы опорной поверхности (ПК или ЦС) рычага нижнего ряда (графики практически совпадают).

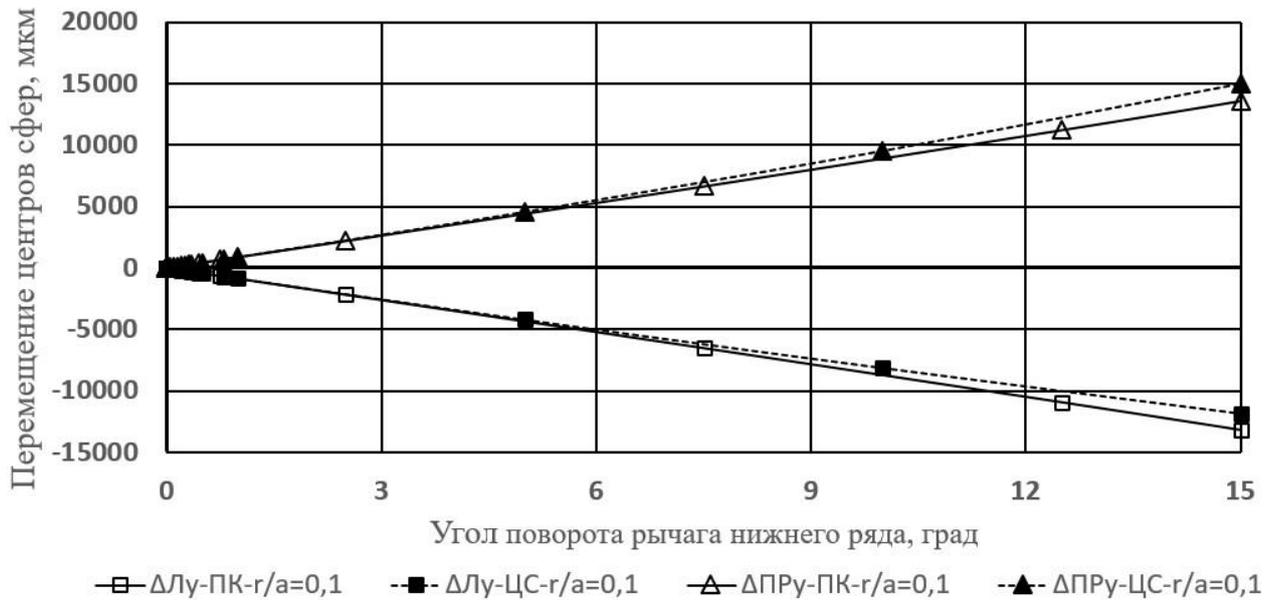


Рис.3. Перемещение центров левой ( $\Delta L_y$ ) и правой ( $\Delta P_y$ ) сфер в расчетном диапазоне угла поворота рычага  $\alpha$  при  $r/a=0,1$

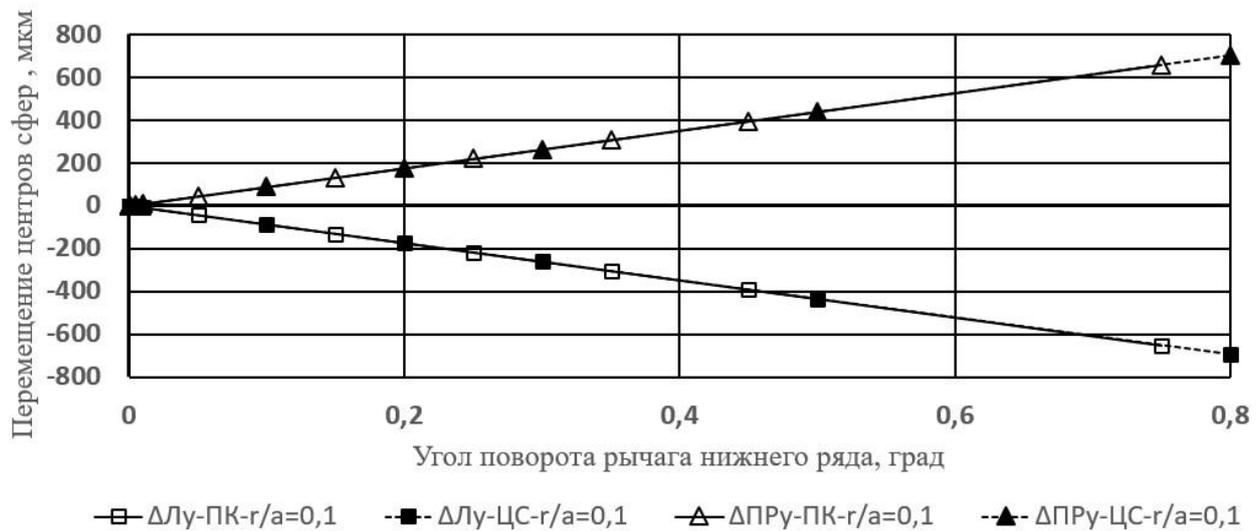


Рис.4. Перемещение центров левой ( $\Delta L_y$ ) и правой ( $\Delta P_y$ ) сфер в рабочем диапазоне угла поворота рычага  $\alpha$  при  $r/a=1$

Зависимость начинает наблюдаться в виде расхождения кривых (кривая ЦС начинает располагаться выше) при  $\alpha \geq 2,5^\circ$  из-за влияния перекатывания рычага влево при его повороте по часовой стрелке. При других соотношениях  $r/a$  характер зависимости перемещения центров сфер от угла поворота рычага сохраняется.

Таким образом,

- 1) в пределах рабочего диапазона углов поворота рычага нижнего ряда  $\alpha$  и исследованных соотношениях между радиусом сфер и плечом рычага форма опоры рычага практически не влияет на перемещения контактов;
- 2) влияние имеет место за пределами рабочего диапазона угла поворота рычага;
- 3) при проектировании МВУ нужно учитывать, в основном, технологичность деталей для производства и их прочность для надежной эксплуатации.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гордеев Н.Н., Смирнов А.А. Методика оценки эффективности выравнивающего механизма подшипника Кингсбери. Труды Крыловского государственного научного центра. 2021; Специальный выпуск 1: С. 111-112.
2. Гордеев Н.Н., Смирнов А.А., Карпычев А.В. Расчетное исследование выравнивающего механизма упорного подшипника скольжения турбомшины//Неделя науки СПбГМТУ. 2021. Т. 2, N 4. С. 80.

#### **REFERENCES**

1. Gordeev N.N., Smirnov A.A. Methodology for evaluating the effectiveness of the leveling mechanism of the Kingsbury bearing. Proceedings of the Krylov State Scientific Center. 2021; Special Issue 1: pp. 111-112.
2. Gordeev N.N., Smirnov A.A., Karpuchev A.V. Computational study of the leveling mechanism of the thrust bearing of a turbomachine//SPbGMTU Science Week. 2021. Vol. 2, N 4. P. 80.