

## Изучение характера распределения осевой нагрузки по виткам резьбы планетарного роликовинтового механизма

© О.А. Ряховский, А.С. Марохин, А.Н. Воробьев, О.А. Хачирова

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрено распределение осевой нагрузки по виткам резьбы винта планетарного роликовинтового механизма преобразователя (ПРВМ) вращательного движения в поступательное. Гайка была установлена торцом на поверхности прессы и в нее ввернут винт с роликами. К винту приложена осевая сила через сферическую поверхность (шар) для исключения влияния ошибки положения опорного торца винта. Испытательный стенд позволяет автоматически записывать осевое перемещение деталей испытуемого механизма при действии осевой нагружающей силы. Полный контакт витков резьбы начинается при достижении нагружающей силы 300 Н. Результаты получены в виде графика «сила – перемещение». В ходе эксперимента изучили, как влияет погрешность изготовления резьбы на равномерность контактов витков сопрягаемых деталей ПРВМ. Рассмотрено влияние неточности изготовления резьбы деталей ПРВМ на его грузоподъемность для применения в приводах подачи различных машин.*

**Ключевые слова:** планетарные роликовинтовые механизмы, ролик, гайка, винт

**Введение.** Планетарные роликовинтовые механизмы применяют для преобразования вращательного движения гайки в поступательное движение винта [1].

В рассматриваемой конструкции трение скольжения в резьбе механизма в основном заменено трением качения резьбовых роликов [2]. Эти механизмы отличаются высокой несущей способностью, малыми потерями на трение и высокой точностью перемещения гайки или винта вдоль оси винта или гайки [3].

Исследуемый ПРВМ (рис. 1) состоит из однозаходных резьбовых роликов 2, пятизаходных винта 3 и гайки 4, сепаратора 6, в отверстиях которых установлены цилиндрические цапфы роликов 2. Сепараторы определяют положение роликов в окружном направлении и могут свободно вращаться относительно винта 3 и гайки 4. На торцах гайки выполнены зубчатые венцы с внутренним зубом 5, с которыми зацепляются зубчатые венцы 1, нарезанные на концах резьбовых роликов 2 [4, 5]. Шаги резьбы винта, роликов и гайки одинаковы.

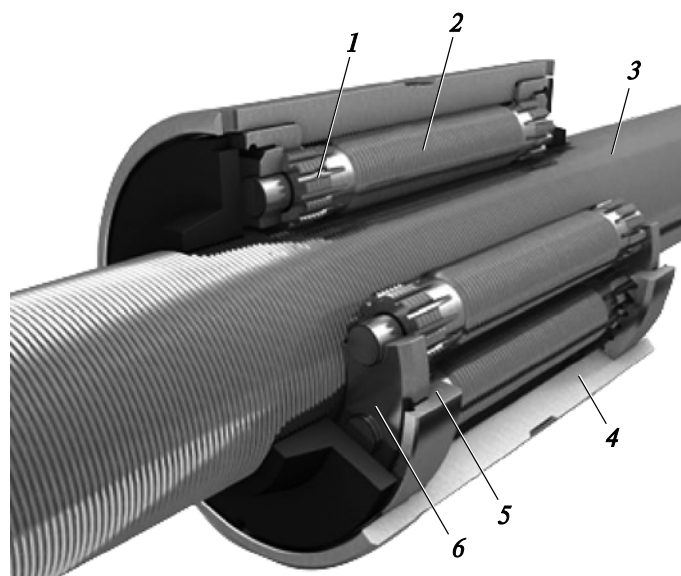


Рис. 1. Конструкция планетарного роликовинтового механизма

Цель работы — экспериментальное определение характера распределения осевой нагрузки по виткам резьбы ходового винта 3, роликов 2 и гайки 4 в механизме (см. рис. 1).

**Постановка задачи.** Рассмотрим характер действия осевой силы на детали неподвижного механизма (винт 3 не вращается).

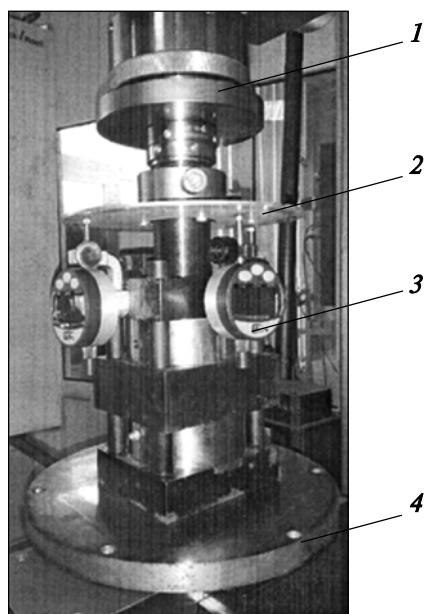
Основные параметры испытательного образца ПРВМ:

- на винте, роликах и гайке выполнена правая резьба;
- средние диаметры резьбы винта  $d_{в2}$ , роликов  $d_{р2}$  и гайки  $D_{г2}$  соответственно равны 48, 16 и 80 мм;
- наружные диаметры резьбы винта  $d_{в}$  и роликов  $d_{р}$  соответственно равны 48,6 и 16,54 мм, внутренний диаметр резьбы гайки  $D_{г1} = 79,44$  мм;
- внешний диаметр гайки  $D_{г.вн} = 100$  мм;
- шаг резьбы деталей ПРВМ  $P = 1,6$  мм;
- количество заходов резьбы винта и гайки  $z_{в} = z_{г} = 5$ ;
- количество заходов резьбы роликов  $z_{р} = 1$ ;
- количество роликов  $N = 10$ ;
- длины резьбовой части винта  $L_{в}$  и роликов  $L_{р}$  соответственно равны 800 и 100 мм;
- длина резьбовой части гайки (принятая длина резьбовой части ролика, см. допущение, сделанное в данном разделе)  $L_{г} = L_{р.пр} = 80$  мм;
- количество рабочих витков резьбы гайки (ролика) вдоль образующей  $M_{г} = M_{р} = L_{г} / P = 50$ ;
- угол профиля витков винта, роликов и гайки равен  $\alpha = 90^\circ$  [6, 7].

Резьба на роликах — однозаходная, на винте 3 и гайке 4 — пятизаходная. Последняя сделана для возможности варьирования скорости перемещения гайки по винту [8].

Осевая сила с гайки 4 передается на ролики 2 и далее на ходовой винт 3. Для увеличения несущей способности механизма число роликов принимают максимально возможным (в рассматриваемом случае 10 роликов) [9].

**Проведение эксперимента.** Испытания проводились на прессе Z030 фирмы Zwick Roell. Конструкция прессы позволяет автоматически измерять и записывать сжимающую (осевую) силу и осевое взаимное перемещение деталей испытуемого механизма. Фотография испытательной установки прессы с исследуемым объектом ПРВМ приведена на рис. 2.



**Рис. 2.** Испытательная установка с установленным образцом

Ходовой винт 3 расположен вертикально и нижним концом контактирует резьбой с роликами 2 (см. рис. 1). Нижняя торцевая поверхность гайки 4 (см. рис. 1) опирается на шайбу 4 (см. рис. 2) испытательного стенда, связанную с измерительной системой. Верхний конец ходового винта связан с нагружающей траверсой через сферическую поверхность, гарантирующую нагружение винта только осевой силой.

Взаимное смещение ходового винта 3 относительно гайки 4 (см. рис. 1) измеряли тремя цифровыми индикаторами 3 (см. рис. 2) с ценой деления 0,001 мм, расположенными равномерно по окружности.

К верхней части ходового винта был жестко присоединен плоский диск 2 (см. рис. 2), перемещающийся вдоль оси вместе с винтом.

Измерения проводились при невращающемся винте 3 и гайке 4 (см. рис. 1) при осевой нагрузке  $P$ , Н: 70 000; 80 000; 90 000; 95 000. Измерения проводились при трех положениях диска путем его поворота вокруг оси на  $120^\circ$ .

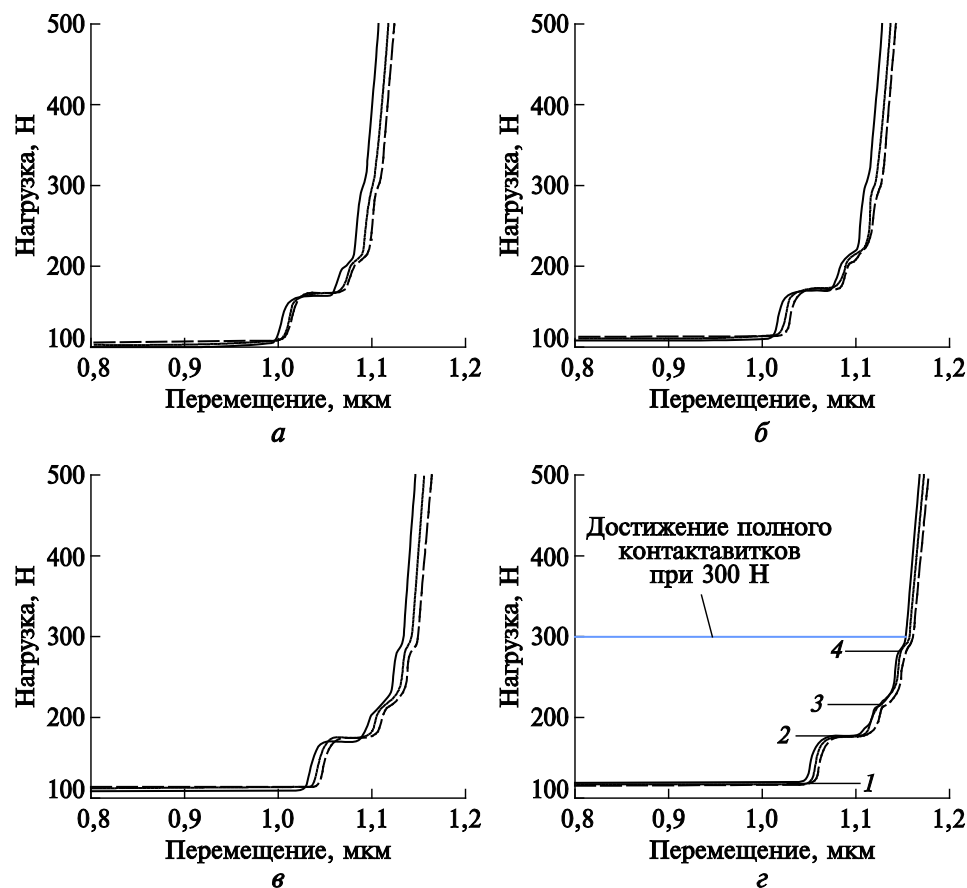


Рис. 3. Результаты эксперимента:  
 а —  $P = 70\,000$  Н; б —  $P = 80\,000$  Н; в —  $P = 90\,000$  Н; г —  $P = 95\,000$  Н

На рис. 3 представлены экспериментальные кривые (сплошная линия — первое положение диска; пунктирная линия — второе положение; штриховая линия — третье положение), полученные в результате поворота ходового винта. Максимальная нагружающая сила видна на рис. 3 (г).

**Анализ экспериментальных исследований.** Начальный участок кривых параллелен оси абсцисс и соответствует выборке боковых зазоров между витками резьбы винта, роликов и гайки. Затем в результате появления начальных контактов в витках резьбы силы сжа-

тия возрастают с уровня 1 на 2 и т. д. (см. рис. 3), витки резьбы проскальзывают, преодолевая силы трения в резьбе, вызванные погрешностями изготовления и установки диска 2 (см. рис. 2) и других сопряженных с ним деталей. На уровне 4 завершается процесс сцепления всех витков резьбы механизма при достижении нагружающей силы 300 Н (см. рис. 3).

Такая схема позволяет наблюдать практически безззорный механизм, что очень важно для повышения точности осевого перемещения гайки относительно винта. Однако при этом полезную осевую силу передают только часть витков резьбы гайки в зависимости от погрешности изготовления резьбы на винте, гайке и роликах [10].

**Заключение.** В результате проведенного эксперимента авторы настоящей статьи сделали следующие выводы.

1. Экспериментально было показано, что с ростом осевой нагрузки с ходового винта на ролики и гайку на графике «сила — перемещение» образуется переходный участок. Эту особенность следует учитывать при работе реверсивного прецизионного механизма с большой скоростью перемещения винта относительно гайки.

2. В процессе эксперимента при возрастании осевой силы, передаваемой через сферическую поверхность, в контакте витков резьбы гайки сила трения убывает, винт проворачивается вокруг оси относительно гайки, что приводит к дополнительному осевому перемещению (проскальзыванию) на уровне нагрузки 2 (см. рис. 3), так как угол подъема витков резьбы винта и гайки в пятизаходной резьбе очень велик по сравнению с однозаходной резьбой ролика.

3. Эксперимент показал, что резьба имеет погрешности по шагу и по диаметру [6].

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Морозов В.В. *Роликовинтовые механизмы. Кинематические характеристики*. Владимир, Изд-во ВлГУ, 2005, 78 с.
- [2] Соколов П.А., Сорокин Ф.Д., Ряховский О.А., Блинов Д.С., Лаптев И.А. Силовой контакт рабочих поверхностей витков резьбы планетарного роликовинтового механизма. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2006, № 1, с. 61–72.
- [3] Блинов Д.С., Морозов М.И. Перспективные конструкции планетарных роликовинтовых механизмов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2013, № 3, с. 62–72.
- [4] Ряховский О.А., Сорокин Ф.Д., Марохин А.С. Вычисление радиального смещения осей гайки и роликов и положения точки контакта резьбы гайки и ролика в планетарного роликовинтовом механизме «перевернутого» типа. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2013, № 11, с. 12–19.
- [5] *Roller screws: SKF – PUB MT / P1 14489 RU: 2014, 140 с.* URL: <https://www.skf.com/binary/82-153959/14489-EN-Roller-screw-catalogue.pdf> (дата обращения 01.06.2019).

- [6] Блинов Д.С. *Планетарные роликвинтовые механизмы. Конструкции, методы расчетов*. О.А. Ряховский, ред. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, 222 с.
- [7] Козырев В.В. *Конструкции роликвинтовых передач и методика их проектирования*. Владимир, Изд-во Владимирского государственного университета, 2004, 100 с.
- [8] Ряховский О.А., Блинов Д.С., Плешаков Ю.Д., Соколов П.А. Скорость скольжения в точке сопряжения винта и ролика в планетарной роликвинтовой передаче. *Вестник машиностроения*, 2000, № 8, с. 8–10.
- [9] Соколов П.А. *Рациональный выбор преднатяга в планетарных роликвинтовых передачах с учетом точности изготовления*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1997, 137 с.
- [10] Блинов Д.С., Зенкина Я.П. Общий случай определения межосевого расстояния винта и ролика роликвинтового механизма и точки начального контакта их сопрягаемых витков. Разработка метода расчета и программы для ЭВМ. *Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация*, 2017, № 3, с. 15–34. DOI: 10.24108/aplts.0317.0000069

Статья поступила в редакцию 26.10.2019

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Ряховский О.А., Марохин А.С., Воробьев А.Н., Хачирова О.А. Изучение характера распределения осевой нагрузки по виткам резьбы планетарного роликвинтового механизма. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 12.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-12-1940>

**Ряховский Олег Анатольевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры «Основы конструирования машин» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Марохин Антон Сергеевич** — инженер кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Воробьев Александр Николаевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Основы конструирования машин» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Хачирова Ольга Александровна** — студентка кафедры «Основы конструирования машин» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: khachirovaolga@yandex.ru

## Experimental study of the nature of the load distribution on the turns of the thread of the planetary roller-screw mechanism

© O.A. Ryakhovsky, A.S. Marokhin, A.N. Vorobyev, O.A. Khachirova

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*The article considers the effect of axial load on the turns of the thread of the planetary roller-screw converter of rotational motion into translational one. For this purpose an experimental setup was made in which the nut lies end-face on the flat surface of the press, a screw is screwed into it. The force is applied to the screw through a ball to distribute the load uniformly. The design of the machine for compression measurement allows automatic recording the axial mutual movement of tested mechanism parts when the loading force changes. Contact and displacement occur when the loading force reaches 300 N. The results are obtained in the form of a "force – displacement" graph. In the course of the experiment, the influence of step error on the uniformity of the contacts of the turns of the mating parts of the planetary roller-screw mechanism was checked. The results of the experiment are analyzed, the influence of inaccuracy of manufacturing thread of planetary roller-screw mechanism parts on its capacity for use in feed drives of various machines is considered.*

**Keywords:** roller-screw mechanisms, roller, nut, screw

### REFERENCES

- [1] Morozov V.V. *Rolikovintovye mekhanizmy. Kinematicheskie kharakteristiki* [Roller screw mechanisms. Motion characteristics]. Vladimir, Vladimir State University Publ., 2005, 78 p.
- [2] Sokolov P.A., Sorokin F.D., Ryakhovsky O.A., Blinov D.S., Laptev I.A. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroyeniye — Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series: Mechanical Engineering*, 2006, no. 1, pp. 61–72.
- [3] Blinov D.S., Morozov M.I. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2013, no. 3, pp. 62–72.
- [4] Ryakhovsky O.A., Sorokin, F.D., Marokhin A.S. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2013, no. 11, pp. 12–19.
- [5] *Roller screws: SKF – PUB MT / P1 14489 EN*, 2014, 140 p. Available at: <https://www.skf.com/binary/82-153959/14489-EN-Roller-screw-catalogue.pdf>
- [6] Blinov D.S. *Planetarnye rolikovintovye mekhanizmy. Konstruktsii, metody rashchetov* [Planetary roller-screw mechanisms. Designs, methods of calculations]. Ryakhovsky O.A. ed., Moscow, BMSTU Publ., 2006, 222 p.
- [7] Kozyrev V.V. *Konstruktsii rolikovintovykh peredach i metodika ikh proektirovaniya* [Structures of roller-screw drives and methods of their designing]. Vladimir, Vladimir State University Publ., 2004, 100 p.
- [8] Ryakhovsky O.A., Blinov D.S., Pleshakov Yu.D., Sokolov P.A. *Vestnik mashinostroyeniya — Russian Engineering Research*, 2000, no. 8, pp. 8–10.

- [9] Sokolov P.A. *Ratsionalnyy vybor prednatyaga v planetarnykh rolikovintovykh peredachakh s uchetom tochnosti izgotovleniya*. Diss. cand. tekhn. nauk [Rational selection of preload in planetary roller-screw drives with due regard for manufacturing accuracy. Cand. eng. sc. diss.]. Moscow, 1997, 137 p.
- [10] Blinov D.S., Zenkina, Ya.P. *Mashiny i ustanovki: proektirovanie, razrabotka i ekspluatatsiya — Machines and Plants: Design and Exploiting*, 2017, no. 3, pp. 15–34. <https://doi.org/10.24108/aplts.0317.0000069>

**Ryakhovsky O.N.**, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Machine Design Principles, Bauman Moscow State Technical University. Author of over 100 scientific publications in the field of calculation, design and research of machine parts and mechanical transmissions.

**Vorobyev A.N.**, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Machine Design Principles, Bauman Moscow State Technical University. Author of over 30 scientific publications in the field of calculation, design and research of machine parts.

**Marokhin A.S.**, engineer, Department of Wheeled Vehicles, Bauman Moscow State Technical University. Author of over 10 scientific publications in the field of calculation, design and research of machine parts.

**Khachirova O.A.**, student, Department of Machine Design Principles, Bauman Moscow State Technical University. e-mail: khachirovaolga@yandex.ru