



**Игорь Павлович Попов**

Igor P. Popov



**Олег Юрьевич Моисеев**

Oleg Yu. Moiseev



**Дмитрий Германович Неволин**

Dmitry G. Nevolin



**Валерий Васильевич Харин**

Valerij V. Harin

## О стабилизаторе частоты вращения для транспортных машин и механизмов

### On stabilizer of rotation frequency for transport machines and mechanisms

#### Аннотация

В статье описан механизм обеспечения постоянства частоты вращения стабилизированного ротора. Установлено, что расстояние от груза до оси вращения, а также линейная скорость груза являются функциями от момента импульса. Показано, что конструктивные параметры устройства (ротора) подобраны таким образом, что при изменении кинетического момента изменяются и радиус ротора, и его линейная скорость, причем они оба влияют на угловую скорость конкурирующим (противоположным) образом, так что она остается неизменной. Отмечено, что стабилизированный ротор может найти применение в транспортных системах, в том числе для стабилизации частоты вращения силовых генераторов.

**Ключевые слова:** частота вращения, стабилизированный ротор, груз, линейная скорость, момент импульса.

#### Abstract

The article describes the mechanism to ensure consistent rotation frequency of a stabilized rotator. It is stated, that the distance from weight to the rotation axis, and also the linear velocity of weight are the functions from the moment of impulse. It is shown, that the structural parameters of the device (rotator) are selected in such a way that under the change of kinetic moment the rotator radius and its linear velocity are also changed, and both of them influence on the angular velocity by the competing (opposite) way so that it remains the same. It is noted, that the stabilized rotator can be used in transport systems, as well as for the stabilization of the rotation frequency of power generators.

**Keywords:** rotation frequency, stabilized rotator, weight, linear velocity, impulse moment.

#### Авторы | Authors

**Игорь Павлович Попов**, главный инженер проекта; ЗАО «Курганстальмост»; e-mail: [uralakademia@kurganstalmost.ru](mailto:uralakademia@kurganstalmost.ru) | **Олег Юрьевич Моисеев**, д-р транспорта, действительный член Российской академии транспорта, технический директор; ЗАО «Курганстальмост»; e-mail: [uralakademia@kurganstalmost.ru](mailto:uralakademia@kurganstalmost.ru) | **Дмитрий Германович Неволин**, д-р техн. наук, действительный член Российской академии транспорта, профессор кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»; Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург; e-mail: [innotrans@mail.ru](mailto:innotrans@mail.ru) | **Валерий Васильевич Харин**, канд. техн. наук, действительный член Российской академии транспорта, заместитель генерального директора по научной и инновационной деятельности; ЗАО «Курганстальмост»; e-mail: [uralakademia@mail.ru](mailto:uralakademia@mail.ru)

**Igor P. Popov**, chief project engineer; CJSC "Kurganstalmost"; e-mail: [uralakademia@kurganstalmost.ru](mailto:uralakademia@kurganstalmost.ru) | **Oleg Yu. Moiseev**, transport director, full member of the Russian Transport Academy, technical director; CJSC "Kurganstalmost"; e-mail: [uralakademia@kurganstalmost.ru](mailto:uralakademia@kurganstalmost.ru) | **Dmitry G. Nevolin**, Doctor of technical Science, full member of the Russian Transport Academy, professor of the chair "Design and Operation of Automobiles"; Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg; e-mail: [innotrans@mail.ru](mailto:innotrans@mail.ru) | **Valerij V. Harin**, PhD. of technical science, full member of the Russian Transport Academy, deputy CEO on scientific and innovation activity; CJSC "Kurganstalmost"; e-mail: [uralakademia@mail.ru](mailto:uralakademia@mail.ru)

## Введение

Тема стабилизации вращений ротатора достаточно актуальна [1–4], в том числе в транспортной технике, например для генераторов энергетических установок.

В работах [5–7] представлены основы теории стабилизированного ротатора. В частности, установлено, что его собственная частота вращения равна

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

и совпадает с собственной частотой колебаний маятника с идентичными параметрами  $m$  и  $k$  [8–10].

Целью работы является описание механизма обеспечения постоянства частоты вращения стабилизированного ротатора (рис. 1).

## Стабилизация частоты вращения

При выполнении технологически простого условия равенства деформации пружин  $\Delta x$  расстоянию  $r$  от центра масс груза до оси вала

$$r = \Delta x$$

баланс сил приобретает вид:

$$F = \frac{mv^2}{r} = k\Delta x = kr.$$

Или

$$\frac{mv^2}{r} = kr.$$

При этом

$$v^2 = \frac{k}{m}r^2 = \omega^2 r^2.$$

Из этой формулы следует выражение (1).

Момент импульса стабилизированного ротатора

$$L = mvr.$$

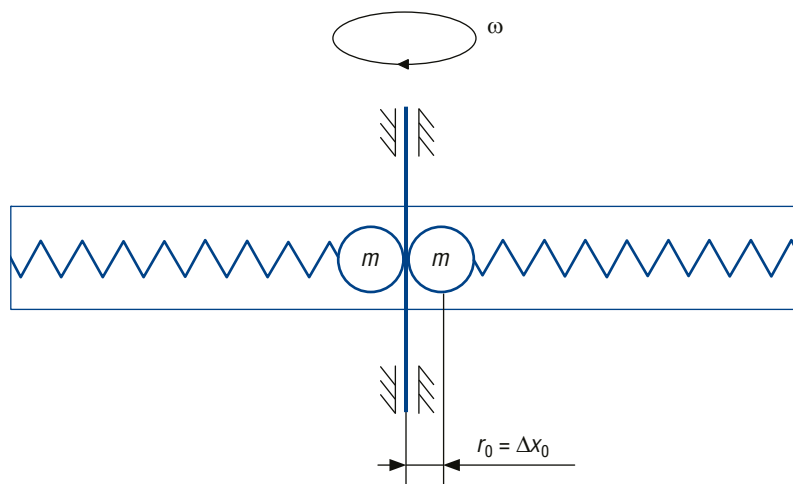


Рис. 1. Стабилизированный ротатор

Отсюда

$$r = \frac{L}{mv}. \quad (2)$$

При этом

$$v = \omega r. \quad (3)$$

Поэтому (2) приобретает вид:

$$r = \frac{L}{m\omega r}.$$

Отсюда

$$r^2 = \frac{L}{m\omega}.$$

С учетом (1) последнюю формулу можно записать в следующей форме:

$$r^2 = \frac{L}{m} \sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{L}{\sqrt{mk}}.$$

Отсюда

$$r = L^{1/2} (mk)^{-1/4}.$$

$(mk)^{-1/4}$  — величина неизменяющаяся. Она далее заменяется постоянным коэффициентом  $C_1 = (mk)^{-1/4}$ .

Таким образом,

$$r = C_1 L^{1/2}. \quad (4)$$

Другими словами, расстояние от груза до оси вращения является функцией от момента импульса.

Из (2) следует

$$v = \frac{L}{mr}. \quad (5)$$

С учетом (3)

$$r = \frac{v}{\omega}.$$

Подстановка последнего выражения в (5) дает

$$v = \frac{L}{m} \frac{\omega}{v}.$$

Отсюда

$$v^2 = \frac{L}{m} \omega.$$

С учетом (1) последняя формула приобретает вид:

$$v^2 = \frac{L}{m} \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Отсюда

$$v = L^{1/2} k^{1/4} m^{-3/4}.$$

$k^{1/4} m^{-3/4}$  — величина неизменяющаяся. Она далее заменяется постоянным коэффициентом  $C_2 = k^{1/4} m^{-3/4}$ .

Таким образом,

$$v = C_2 L^{1/2}. \quad (6)$$

Другими словами, линейная скорость груза является функцией от момента импульса.

Пусть при  $L = L_0$  радиус в соответствии с (4) равен  $r = C_1 L_0^{1/2} = r_0$ , а линейная скорость груза в соответствии с (6) равна  $v = C_2 L_0^{1/2} = v_0$ .

Если момент импульса изменится и станет равным  $L = aL_0$ , то радиус тоже изменится и станет равным  $r = C_1 (aL_0)^{1/2} = a^{1/2} r_0$ , т.е. увеличится в  $a^{1/2}$  раз.

Линейная скорость тоже изменится и станет равной  $v = C_2 (aL_0)^{1/2} = a^{1/2} v_0$ , т.е. тоже увеличится в  $a^{1/2}$  раз.

При этом угловая скорость

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{a^{1/2} v_0}{a^{1/2} r_0} = \frac{v_0}{r_0} = \omega_0,$$

т.е. останется такой же, какой была при предыдущем значении момента импульса  $L = L_0$ .

## Заключение

Рассмотрен механизм обеспечения постоянства частоты вращения стабилизированного ротатора. Показано, что угловая скорость ротатора при изменении момента импульса не меняется. Это обусловлено тем, что при изменении момента импульса в одинаковой мере изменяются радиус ротатора и линейная скорость груза. Ключевым условием обеспечения стабилизации вращения является равенство деформации пружин расстоянию от центра масс груза до оси вала. **ИТ**

## Список литературы

1. Попов И. П. Годографы суперпозиций вращений // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2020. № 3 (144). С. 41–45. ISSN 1729-6552.
2. Попов И. П. Сложение вращательных синхронных движений // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2020. № 3. С. 37–41. ISSN 0234-6206.
3. Попов И. П. Математическая модель суммирования вращательных движений // Прикладная математика и вопросы управления. 2020. № 4. С. 32–45. DOI: 10.15593/2499-9873/2020.4.03.
4. Попов И. П. Комбинация круговых движений в машинах и механизмах // Frontier Materials & Technologies. 2021. № 4. С. 48–56. DOI: 10.18323/2782-4039-2021-4-48-56.
5. Попов И. П. Ротатор с фиксированной скоростью вращения // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2022. № 3(155). С. 3–7. DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_3\_3.
6. Пат. 2795752 RU, МПК6 G09B 23/06. Механическая модель циклотронного движения — стабилизированный ротатор / И. П. Попов, М. В. Давыдова (Россия). № 2022111659; заявл. 27.04.2022; опубл. 11.05.2023, Бюл. № 14.
7. Пат. 2796041 RU, МПК6 G05D 13/10. Центробежный стабилизатор вращения / И. П. Попов, М. В. Давыдова (Россия). № 2022111651; заявл. 27.04.2022; опубл. 16.05.2023, Бюл. № 14.
8. Попов И. П. Резонансы и антирезонансы в механических системах // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2021. № 2(147). С. 14–22. ISSN 1729-6552.
9. Попов И. П. Реактансы и сасептансы механических систем // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2021. № 70. С. 64–75. DOI 10.17223/19988621/70/6
10. Попов И. П. О резонансе и антирезонансе // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2019. № 4. С. 45–48. ISSN 0234-6206.

## References

1. Popov I. P. Hodographs of superpositions of rotations // Defense complex for scientific and technological progress of Russia. 2020. No. 3 (144). Pp. 41–45. ISSN 1729-6552.
2. Popov I. P. Addition of rotational synchronous movements // Problems of mechanical engineering and automation. 2020. No. 3. Pp. 37–41. ISSN 0234-6206.
3. Popov I. P. Mathematical model of summation of rotational movements // Applied mathematics and control issues. 2020. No. 4. Pp. 32–45. DOI: 10.15593/2499-9873/2020.4.03.
4. Popov I. P. Combination of circular movements in machines and mechanisms // Frontier Materials & Technologies. 2021. No. 4. Pp. 48–56. DOI: 10.18323/2782-4039-2021-4-48-56.
5. Popov I. P. Rotator with fixed rotation speed // Defense complex for scientific and technological progress of Russia. 2022. No. 3(155). Pp. 3–7. DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_3\_3.
6. Pat. 2795752 RU, MPK6 G09B 23/06. Mechanical model of cyclotron motion — stabilized rotator / I. P. Popov, M. V. Davydova (Russia). No. 2022111659; application No. 04/27/2022; publ. 05/11/2023, Bulletin No. 14.
7. Pat. 2796041 RU, MPK6 G05D 13/10. Centrifugal rotation stabilizer / I. P. Popov, M. V. Davydova (Russia). No. 2022111651; application. 04/27/2022; publ. 05/16/2023, Bulletin No. 14.
8. Popov I. P. Resonances and antiresonances in mechanical systems // Defense complex for scientific and technological progress of Russia. 2021. No. 2(147). Pp. 14–22. ISSN 1729-6552.
9. Popov I. P. Reactances and sasseptances of mechanical systems // Bulletin of Tomsk State University. Mathematics and mechanics. 2021. No. 70. Pp. 64–75. DOI 10.17223/19988621/70/6
10. Popov I. P. On resonance and antiresonance // Problems of mechanical engineering and automation. 2019. No. 4. Pp. 45–48. ISSN 0234-6206.