



## СИНТЕЗ МЕХАНИЗМА С ФИКСИРОВАННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ

В статье обоснована и определена схема механизма с фиксированной частотой вращения. Установлено, что неизменность частоты циклотронного движения обусловлена равенством кинетической и потенциальной (в терминах «макромеханики») энергий электрона. Предложено указанное обстоятельство использовать для стабилизации частоты вращения механического устройства. Показано, что в состав такого механизма должен входить груз с возможностью запаса кинетической энергии и пружина для аккумуляции потенциальной энергии.

Ротатор, маятник, частота, стабилизация, выбег, энергия, момент импульса, циклотронное движение.

Для нормальной работы многих технических систем требуется стабилизированная частота вращения. К таким системам относятся генераторные установки переменного тока, насосные станции, конвейерные линии, обрабатывающие станки, ветрогенераторы и многие другие.

Существующие ротаторы могут свободно вращаться с любой скоростью, поэтому для их стабилизации используют специальные устройства, как правило, следящего типа, что приводит к усложнению и удорожанию конструкций.

В этой связи представляет интерес возможность создания ротатора с фиксированной частотой свободного вращения подобно вращению электрона при циклотронном движении.

Из ключевого обстоятельства, определяющего возможность обобщения циклотронного движения на механику, заключающегося в том, что лагранжиан электрона вдвое больше его кинетической энергии, что применительно к механическому устройству следует трактовать как равенство кинетической и потенциальной энергий, следует, что в состав механизма должны входить элементы, которые в состоянии запаса оба этих вида энергии, а именно груз и пружина. Собственная частота вращения механизма строго фиксирована и замечательным образом совпадает с собственной частотой колебаний маятника с идентичными параметрами.

Механические и электромагнитные явления и процессы во многих случаях математически изоморфны [1–5]. Это дает возможность обобщать достижения одной научной специальности на другую. В этом смысле представляет интерес циклотронное движение электрического заряда [6, 7], которое характеризуется *фиксированной частотой вращения*. Это следует из баланса сил

$$F = qvB = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow$$

$$v = \frac{qB}{m} r = \omega r \Rightarrow \omega = \frac{qB}{m}.$$

Здесь  $q$  – величина электрического заряда,  $v$  – тангенциальная скорость заряда,  $B$  – магнитная индукция,  $m$  – масса заряженной частицы,  $r$  – радиус циклотронного движения,  $\omega$  – частота вращения.

Частота действительно не зависит ни от скорости, ни от радиуса.

Ключевым обстоятельством для возможности обобщения циклотронного движения на механику является то, что лагранжиан электрона, движущегося поперек постоянного магнитного поля, вдвое больше его кинетической энергии

$$L = \frac{mv^2}{2} + e(\mathbf{v}, \mathbf{A}).$$

Векторный потенциал магнитного поля равен

$$\mathbf{A} = \frac{1}{2}[\mathbf{B}, \mathbf{r}].$$

При этом  $\mathbf{v} = [\boldsymbol{\omega}, \mathbf{r}]$ . Таким образом,

$$L = \frac{mv^2}{2} + \frac{q^2 B^2 r^2}{2m}.$$

Второе слагаемое равно

$$\frac{q^2 B^2 r^2}{2m} = \frac{q^2 B^2}{2m} \frac{m^2 v^2}{q^2 B^2} = \frac{mv^2}{2}.$$

$$L = 2 \frac{mv^2}{2}.$$

Целью работы является нахождение механического аналога циклотронного движения и определение схемы соответствующего устройства, которое уместно назвать стабилизированным ротатором.

Тема стабилизации вращений достаточно актуальна [8–10].

### Синтез стабилизированного ротатора

Как отмечалось выше, из ключевого обстоятельства, определяющего возможность обобщения циклотронного движения на механику, заключающегося в том, что лагранжиан электрона вдвое больше его кинетической энергии, что применительно к стабилизи-

рованному ротору следует трактовать как равенство кинетической и потенциальной энергий, следует, что в состав стабилизированного ротора должны входить элементы, которые в состоянии запасать оба этих вида энергии, а именно груз (массой  $m$ ) и пружина (с коэффициентом упругости  $k$ ).

В соответствии с характером циклотронного движения и, соответственно, ротора имеет место радиус вращения ( $r$ ) и циклическая частота ( $\omega$ ).

Из равенства энергий следует

$$\frac{k(\Delta x)^2}{2} = \frac{mv^2}{2} = \frac{mr^2\omega^2}{2} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m} \frac{\Delta x}{r}}.$$

Здесь  $\Delta x$  – величина абсолютной деформации пружины.

Неизменность циклической частоты обеспечивается очевидным ключевым условием

$$\Delta x = r.$$

Установленные необходимые обстоятельства определяют принципиальную схему стабилизированного ротора, которая представлена на рисунке.

Схема состоит из ротора, установленного на оси. В роторе с помощью упругих элементов, со смещением относительно оси вращения закреплен груз. При вращении ротора под действием центробежной силы груз перемещается от центра. Поэтому с увеличением момента импульса возрастает момент инерции механизма таким образом, что угловая скорость остается неизменной.

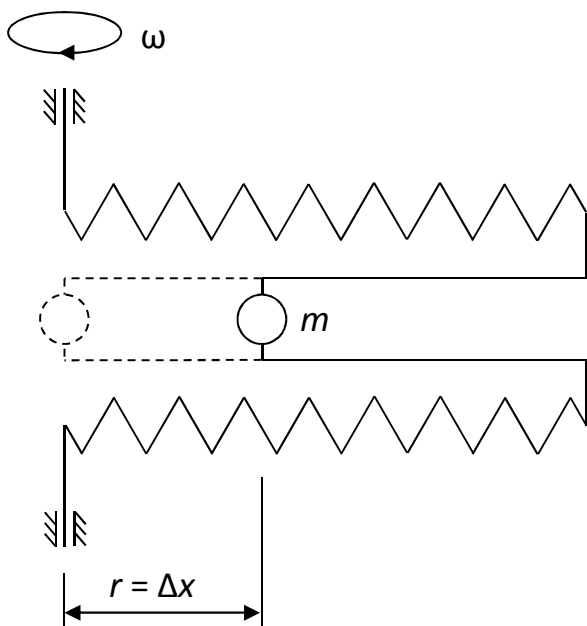


Рис. Стабилизированный ротор

Собственная частота вращения стабилизированного ротора

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

строго фиксирована (не зависит ни от момента инерции, ни от момента импульса) и замечательным образом совпадает с собственной частотой колебаний маятника с идентичными параметрами.

Таким образом, обеспечение равенства кинетической и потенциальной энергий приводит к тому, что частота свободного вращения механизма не может быть произвольной.

Достоинством предложенной схемы является ее простота. Недостатком – то, что при наличии вращающего момента угловая скорость может отличаться от собственной подобно тому, как частота вынужденных колебаний маятника может не совпадать с собственной частотой.

Стабилизированный ротор можно использовать везде, где требуется стабилизация частоты вращения.

### Литература

1. Попов, И. П. Применение искусственной массы для балансировки механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 1 (11). – С. 19–21.
2. Попов, И. П. Механические реактансы при гармонических колебаниях исполнительных органов машин и механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 4 (14). – С. 65–67.
3. Попов, И. П. Диссипативная, реактивная и полная мощности виброприводов машин / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 3 (5). – С. 72–74.
4. Попов, И. П. Использование реактивного момента электромагнитного маховика для изменения положения объектов в пространстве / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 3 (5). – С. 75–77.
5. Попов, И. П. Механическая реактивная инерционная мощность в механических системах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 3 (13). – С. 63–65.
6. Павлов, В. Д. Теоремы об излучении заряда / В. Д. Павлов // Инженерная физика. – 2021. – № 6. – С. 37–40. DOI: 10.25791/infizik.6.2021.1213
7. Павлов, В. Д. Энергетика излучения электрического заряда и ее следствия / В. Д. Павлов // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2021. – № 4. – С. 5–8. DOI: 10.31040/2222-8349-2021-0-4-5-8
8. Гречишников, В. А. Динамическая стабилизация вращения круга внутришлифовального станка / В. А. Гречишников, Е. С. Антипина, С. Н. Жилин, Г. В. Кукинова, В. Б. Романов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2016. – № 2 (37). – С. 8–12.
9. Распопов, В. Я. Индикаторные гиросtabilизаторы / В. Я. Распопов // Справочник. Инженерный журнал. – 2016. – № 11. – С. 1–20. DOI: 10.14489/hb.suppl.2016.11.pp.001-020
10. Попов, И. П. Наложение вращений в механизмах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 4 (10). – С. 19–23.

***I.P. Popov***  
*Kurgan State University*

### **SYNTHESIS OF MECHANISM WITH FIXED ROTATION SPEED**

The article substantiates and defines the scheme of a mechanism with a fixed speed. It has been established that the invariance of the frequency of cyclotron motion is due to the equality of the kinetic and potential (in terms of "macro-mechanics") energies of the electron. It is proposed to use this circumstance to stabilize the rotational speed of a mechanical device. It is shown that such a mechanism should include a load with the possibility of storing kinetic energy and a spring for accumulating potential energy.

Rotator, pendulum, frequency, stabilization, run-out, energy, angular momentum, cyclotron motion.