

УДК 537.311.6

ИСКУССТВЕННАЯ (ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ) УПРУГОСТЬ**В.Д. Павлов***Владимирский электромеханический завод (г. Владимир)*

© Павлов В.Д., 2026

Аннотация. В отличие от квазиупругих объектов, для которых закон Гука выполняется лишь в отношении малых деформаций, под искусственной упругостью следует понимать величину, удовлетворяющую закону Гука при любых возможных перемещениях. Искусственная упругость может быть компонентом систем автоматики, а также механического линейного гармонического осциллятора и колебательных устройств с однородными элементами. Описан маятник $k_L m$, который в равной мере можно рассматривать как электрический колебательный контур $C_m L$. В электромеханической $k_L m$ ($C_m L$)-системе могут возникать свободные гармонические колебания, обусловленные взаимным преобразованием кинетической энергии груза в энергию магнитного поля катушки индуктивности. Искусственная упругость принципиально отличается от аналогии между коэффициентом упругости и индуктивностью, поскольку электромагнитные аналогии неприменимы в качестве элементов механических систем. Искусственная упругость может использоваться в устройствах автоматики.

Ключевые слова: упругость, индуктивность, балансировка, регулирование, маятник, контур.

DOI: 10.46573/2658-7459-2026-1-59-63**ВВЕДЕНИЕ**

В классической механике механическая величина «коэффициент упругости k » определяется законом Гука. «Натуральная» упругость обуславливается свойствами вещества упругого объекта (под последним обычно имеется в виду пружина) и его формой.

В отличие от квазиупругих объектов, для которых закон Гука выполняется лишь в отношении малых деформаций:

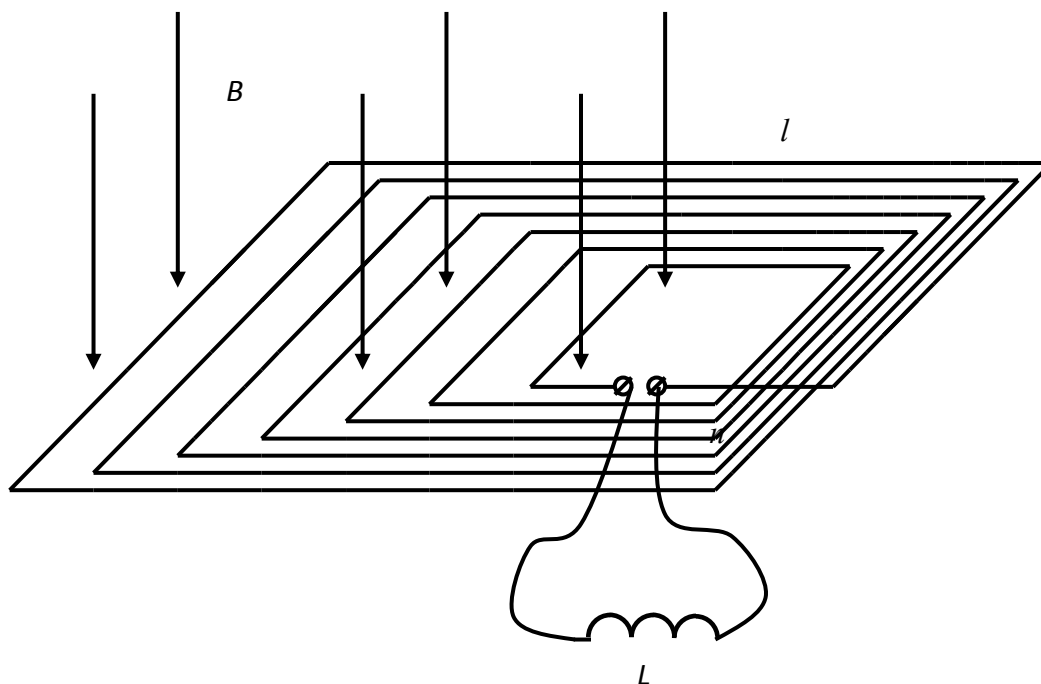
$$dF = -kdx,$$

под искусственной упругостью следует понимать величину, удовлетворяющую закону Гука при любых возможных перемещениях.

Искусственная упругость может быть компонентом систем автоматики, а также механического линейного гармонического осциллятора и колебательных устройств с однородными элементами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На рисунке представлено устройство, обладающее свойствами искусственной или индуктивной упругости. Количество проводящих рамок – n , длина их активной части – l , индукция магнитного поля – B [1–3], индуктивность катушки – L [4]. Масса, активное сопротивление и индуктивность рамок не учитываются.



Устройство, обладающее искусственной, или индуктивной упругостью

При перемещении устройства в рамках возникает ЭДС электромагнитной индукции $e_i = -Blndx / dt$ [5–8]. В соответствии со вторым законом Кирхгофа

$$Bl n \frac{\partial x}{\partial t} = -L \frac{\partial i}{\partial t}.$$

Здесь $-L \partial i / \partial t$ – напряжение на катушке. Пусть для компактности

$$Bl n = y^{0,5}.$$

Интеграл исходного выражения

$$y^{0,5} \int_0^t \frac{\partial x}{\partial t} dt = -L \int_0^t \frac{\partial i}{\partial t} dt,$$

$$y^{0,5} x = -Li.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С учетом последнего равенства закон Ампера [9] запишется в виде

$$F = y^{0,5} i = -\frac{y}{L} x = -k_L x ,$$

где $k_L = \frac{y}{L}$ – коэффициент индуктивной упругости, найденный с использованием закона Гука.

Это и есть искусственная (электромагнитная) упругость.

В математическом отношении данное выражение идентично формуле для упругой индуктивности

$$L_k = \frac{y}{k} .$$

Искусственная (индуктивная) упругость в сочетании с инертным грузом может образовывать маятник, частота которого

$$\omega = \sqrt{\frac{k_L}{m}} = \sqrt{\frac{y}{Lm}} .$$

Сравнение данной формулы с выражением для частоты электрического колебательного контура

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

позволяет получить формулу для искусственной, или инертной емкости:

$$C_m = \frac{m}{y} ,$$

из которой, в свою очередь, выводится искусственная, или емкостная масса [10]:

$$m_C = yC .$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный выше $k_L m$ -маятник в равной мере можно рассматривать как $C_m L$ -электрический колебательный контур.

В электромеханической $k_L m$ ($C_m L$)-системе могут возникать свободные гармонические колебания, обусловленные взаимным преобразованием кинетической энергии груза в энергию магнитного поля катушки индуктивности.

Искусственная упругость принципиально отличается от аналогии между коэффициентом упругости и индуктивностью, поскольку электромагнитные аналоги не применяются в качестве элементов механических систем, и может использоваться в устройствах автоматики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов И.П. Свойства магнитных монополей и силовые линии магнитного поля // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2025. № 3 (27). С. 53–60. DOI: 10.46573/2658-7459-2025-3-53-60
2. Павлов В.Д. Интерпретация результатов измерения кванта магнитного потока // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2025. № 1 (25). С. 61–67. DOI: 10.46573/2658-7459-2025-1-61-67
3. Попов И.П. Рассеяние магнитного потока в трансформаторах // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2020. № 4 (8). С. 81–88. DOI: 10.46573/2658-7459-2020-4-81-88
4. Попов И.П. Трииндуктивный осциллятор // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 1 (13). С. 50–55. DOI: 10.46573/2658-7459-2022-50-55
5. Безденежных В.И. Мгновенное значение момента, развиваемого синхронным генератором при индуктивной и емкостной нагрузке // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2025. № 2 (26). С. 36–39. DOI: 10.46573/2658-7459-2025-2-36-39
6. Попов И.П. Амплитудно-частотные особенности режимов нагрузки синхронной электрической машины // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2020. № 2 (6). С. 49–56.
7. Попов И.П. Электромеханический маховик с искусственным (емкостным) моментом инерции // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2021. № 1 (9). С. 58–63. DOI: 10.46573/2658-7459-2021-1-58-63
8. Попов И.П. Влияние сети на реактивную мощность // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2023. № 1 (17). С. 55–60. DOI: 10.46573/2658-7459-2023-1-55-60
9. Попов И.П. Приоритет электродинамики над механикой на примере второго закона Ньютона // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2024. № 3 (23). С. 62–69. DOI: 10.46573/2658-7459-2024-3-62-69
10. Павлов В.Д. Электромеханический аккумулятор // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2025. № 3 (27). С. 47–53. DOI: 10.46573/2658-7459-2025-3-47-53

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ПАВЛОВ Валентин Дмитриевич – кандидат технических наук, начальник научно-информационного отдела, Владимирский электромеханический завод, 600901, Россия, г. Владимир, ул. Ноябрьская, д. 127. E-mail: pavlov.val.75@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Павлов В.Д. Искусственная (электромагнитная) упругость // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2026. № 1 (29). С. 59–63.

ARTIFICIAL (ELECTROMAGNETIC) ELASTICITY

V.D. Pavlov

Vladimir Electromechanical Plant (Vladimir)

Abstract. Unlike quasi-elastic objects, for which Hooke's law is fulfilled only for small deformations, artificial elasticity should be understood as a value that satisfies Hooke's law for any possible movements. Artificial elasticity can be a component of automation systems, as well as a mechanical linear harmonic oscillator and oscillating devices with uniform elements. A pendulum kLm is described, which can equally be considered as a CmL electric oscillatory circuit. In the considered electromechanical kLm (CmL) system, free harmonic vibrations can occur due to the mutual conversion of the kinetic energy of the load into the energy of the magnetic field of the inductance coil. Artificial elasticity is fundamentally different from the analogy between the coefficient of elasticity and inductance, since electromagnetic analogues cannot be used as elements of mechanical systems. Artificial elasticity can be used in automation devices.

Keywords: elasticity, inductance, balancing, adjustment, pendulum, contour.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

PAVLOV Valentin Dmitrievich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Scientific and Information Department, Vladimir Electromechanical Plant, 127, Noyabrskaya st., Vladimir, 600901, Russia. E-mail: pavlov.val.75@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Pavlov V.D. Artificial (electromagnetic) elasticity // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2026. No. 1 (29), pp. 59–63.