

путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС) на 2025–2036 гг.: утв. распоряжением рук. Федер. агентства ж.-д. трансп. от 20.10.2025. СПб.: ПГУПС, 2025. 80 с.

**S. S. Davydov**

## Development of Interdisciplinary Engineering and Economic Competencies in Personnel Training for the Implementation of Strategic Transport Industry Projects

**Stanislav S. Davydov** — PhD in Economics, Associate Professor of the Department “Transport Economics”

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia*

**Abstract.** The article presents an analysis of the mechanisms for the development of interdisciplinary competencies that integrate engineering knowledge with applied economic expertise within the transport sector. The study examines the implementation experience of the “Priority 2030” program and the establishment of specialized research and educational laboratories in sector-specific higher education institutions. The findings underscore the necessity for profound synergy between academic curricula and the industrial requirements of JSC Russian Railways (RZD) to ensure technological sovereignty.

**Keywords:** engineering and economic education, Priority 2030, competencies, transport strategy

---

---

УДК 37.091.3+53.01

**Н. В. Дьяченко, И. А. Потапова, Е. Н. Бодунов**

## Применение метода аналогий при обучении физике студентов технических специальностей

**Дьяченко Наталия Владимировна**<sup>1</sup> — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Физика»

**Потапова Ирина Александровна**<sup>2</sup> — доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры высшей математики и физики

**Бодунов Евгений Николаевич**<sup>1</sup> — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика»

<sup>1</sup>*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация.** В статье показана целесообразность применения метода электромеханической аналогии в преподавании курса общей физики студентам технических специальностей. Применение данного метода позволяет студентам разных направлений и специальностей обучения освоить параллельно материал сразу из двух разделов физики — механики и электромагнетизма и углубить понимание процессов, с которыми они будут иметь дело в профессиональной деятельности.

**Ключевые слова:** колебательные процессы, электромеханическая аналогия, маятник, колебательный контур

Профессиональная подготовка студентов технических специальностей должна опираться на базовые знания, полученные при освоении курса общей физики. При этом студент каждого направления подготовки или специальности должен найти в этом курсе знания, созвучные его дальнейшей профессиональной деятельности [1]. У студента не должно формироваться впечатление, что знания общей физики конкретно ему не пригодятся и нужно изучать что-то другое. Так, например, студент, обучающийся по направлению «Электроэнергетика и электротехника», может недооценивать значение механики, и наоборот, студент, обучающийся по направлению «Строительство уникальных зданий и сооружений», не желает изучать электромагнитные явления. Причем некоторые студенты эти представления позволяют себе публично озвучивать лектору.

Задача дисциплины «Физика» («Общая физика») — показать, что фундаментальные законы природы неразрывно связаны между собой, как, например, закон сохранения энергии в определенных условиях выполняется во всех живых и неживых системах.

Взаимосвязь законов природы и подходов к их изучению в различных областях техники авторы предлагают продемонстрировать на примере раздела «Колебания» курса общей физики, проведя сравнение механических и электромагнитных колебаний и выявив аналогию протекания этих процессов, получившую название электромеханической.

Традиционно в учебных пособиях [2] приводится пример аналогии между колебаниями механического маятника (пружинного или математического) и колебаниями, происходящими в колебательном контуре. Так, состояние маятника в крайнем положении, имеющего максимальную потенциальную энергию, ассоциируется с моментом, когда конденсатор колебательного контура полностью заряжен и имеет максимальную потенциальную энергию электрического поля. Момент прохождения маятником положения равновесия с максимальной скоростью и максимальной кинетической энергией отождествляется с моментом достижения максимального тока в катушке индуктивности контура.

Для демонстрации более глубокой аналогии необходимо понять, какие характеристики аналогичны друг другу в обоих типах колебаний. Начать можно с записи уравнения движения механического маятника, основанного на втором законе Ньютона, и уравнения для заряда на обкладках конденсатора колебательного контура, основанного на законе Ома. Приведем эти уравнения для случая вынужденных колебаний пружинного, математического маятников и колебательного контура [3, 4]:

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = F_0 \cos \omega t, \quad (1)$$

$$ml^2\ddot{\phi} + rl^2\dot{\phi} + mgl\phi = F_0 l \cos \omega t, \quad (2)$$

$$L\ddot{Q} + R\dot{Q} + \frac{1}{C}Q = U_0 \cos \omega t. \quad (3)$$

Преобразование этих уравнений к более привычному виду дает:

$$\ddot{x} + \frac{r}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{F_0}{m}\cos \omega t, \quad (4)$$

$$\ddot{\phi} + \frac{r}{m}\dot{\phi} + \frac{g}{l}\phi = \frac{F_0}{m}\cos \omega t, \quad (5)$$

$$\ddot{Q} + \frac{R}{L}\dot{Q} + \frac{1}{LC}Q = \frac{U_0}{L}\cos \omega t. \quad (6)$$

Здесь (1) и (4) — уравнения колебаний пружинного маятника с грузом  $m$  и коэффициентом жесткости пружины  $k$ ;  $r$  — коэффициент трения или сопротивления среды;  $x$  — координата центра масс груза;  $F_0 \cos \omega t$  — периодическая внешняя сила. Формулы (2) и (5) представляют собой уравнения равенства моментов сил, действующих на математический маятник массой  $m$  с длиной подвеса  $l$ ,  $r$  — коэффициент трения или сопротивления среды, а  $\phi$  — угол малых отклонений маятника от положения равновесия. Уравнения (3) и (6) являются законом Ома для колебательного контура с ЭДС. ЭДС является вынуждающей периодической силой ( $U_0 \cos \omega t$ ),  $L$  — индуктивность катушки,  $C$  — емкость конденсатора,  $R$  — омическое сопротивление контура. Две точки и одна точка над величинами обозначают вторую и первую производную этих величин по времени соответственно.

Сравнение коэффициентов при соответствующих производных в этих трех уравнениях позволяет составить таблицу [5].

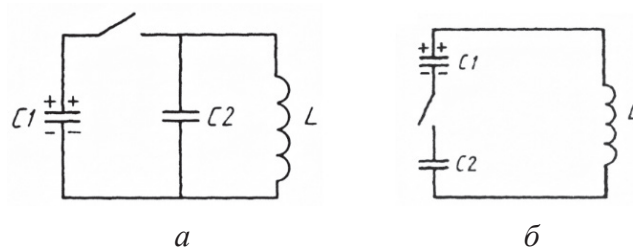
**ТАБЛИЦА.** Аналогии между коэффициентами в различных колебательных системах

№	Пружинный маятник	Математический маятник	Колебательный контур
1	$x$ — координата центра масс груза	$\varphi$ — угол отклонения маятника	$Q$ — заряд на обкладках конденсатора
2	$v$ — скорость груза	$\dot{\varphi}$ — угловая скорость маятника	$\dot{Q}$ — сила тока в контуре
3	$a$ — ускорение груза	$\ddot{\varphi}$ — угловое ускорение маятника	$\ddot{Q}$ — скорость изменения силы тока
4	$m$ — масса груза	$m$ — масса маятника	$L$ — индуктивность катушки
5	$k$ — коэффициент жесткости пружины	—	$\frac{1}{C}$ — обратная емкость конденсатора
6	$r$ — коэффициент сопротивления среды	$r$ — коэффициент сопротивления среды	$R$ — омическое сопротивление контура
7	$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ — частота собственных колебаний	$\omega_0^2 = \frac{g}{l}$ — частота собственных колебаний	$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ — частота собственных колебаний
8	$E_k = \frac{mv^2}{2}$ — кинетическая энергия груза	$E_k = \frac{ml^2}{2} \dot{\varphi}^2$ — кинетическая энергия груза	$E_k = \frac{LI^2}{2}$ — энергия магнитного поля в катушке
9	$E_p = \frac{LI^2}{2}$ — потенциальная энергия пружины	$E_p \approx mgl \frac{\varphi^2}{2}$ — потенциальная энергия маятника	$E_p = \frac{Q^2}{2C}$ — потенциальная энергия заряженного конденсатора

Ниже приведем примеры решения задач с использованием электромеханической аналогии.

*Задача 1.* Даны две электрические цепи (рис. 1а и 1б). Необходимо привести их механические аналоги.

*Решение.* На рис. 1а изображены два конденсатора, соединенные параллельно, причем один из них полностью заряжен.



**Рис. 1.** Пример электрических цепей

Полная емкость при параллельном включении конденсаторов рассчитывается по формуле:

$$C = C_1 + C_2. \quad (7)$$

В соответствии со строкой 5 таблицы это эквивалентно последовательному соединению пружин с жесткостями  $k_1$  и  $k_2$ , причем пружина  $k_1$  находится в сжатом состоянии:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}. \quad (8)$$

Катушка индуктивности  $L$  в соответствии со строкой 4 таблицы должна быть заменена на грузик массой  $m$ . На рис. 1б конденсаторы включены последовательно:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}. \quad (9)$$

Тогда

$$k = k_1 + k_2, \quad (10)$$

что соответствует параллельному соединению пружин. На рис. 2а и 2б изображены требуемые механические аналоги.

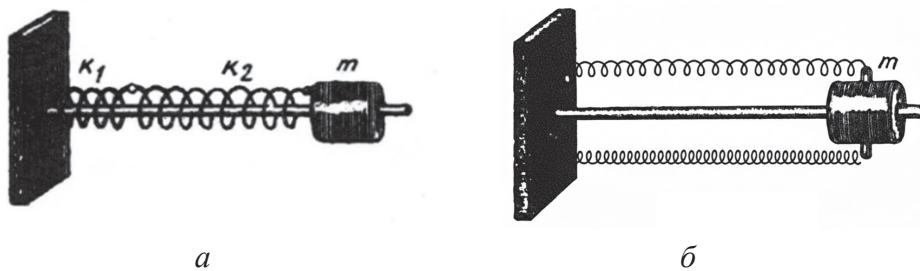


Рис. 2. Механические аналоги контуров на рис. 1

Задача 2. Найдите механический аналог контуру на рис. 3.

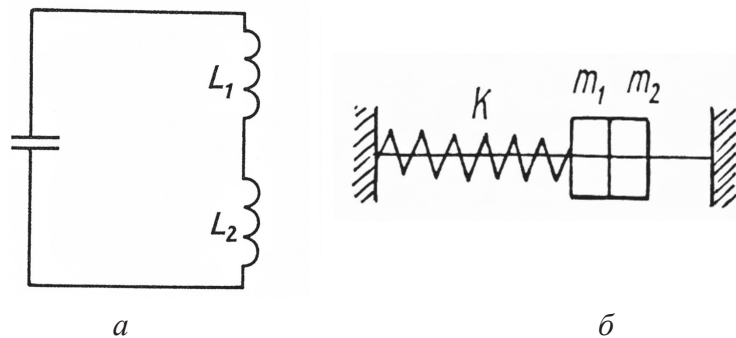


Рис. 3. Колебательный контур и его механический аналог

*Решение.* Здесь две катушки соединены последовательно, значит, их общая индуктивность:

$$L = L_1 + L_2. \tag{11}$$

Согласно строке 4 таблицы, это означает, что суммарная масса грузика:

$$m = m_1 + m_2. \tag{12}$$

В случае параллельного соединения катушек индуктивности их полная индуктивность рассчитывается по формуле:

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}. \tag{13}$$

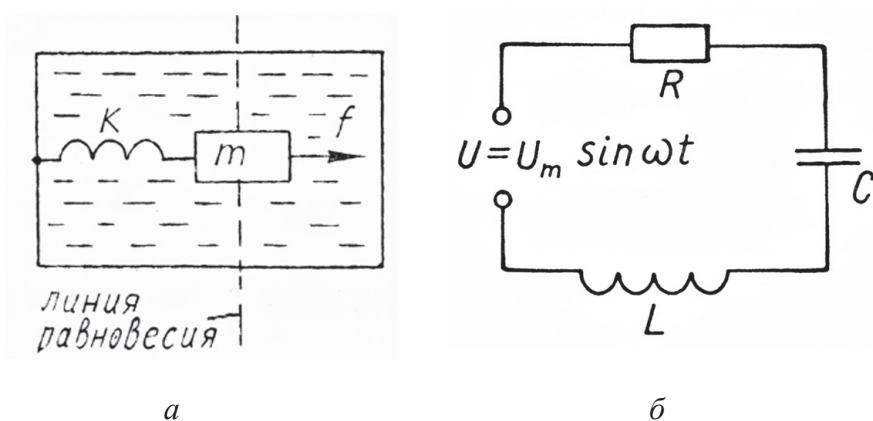
Это означает, что у грузика масса вычисляется как:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}, \tag{14}$$

$$m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}. \tag{15}$$

Конденсатор по-прежнему заменяется пружиной с жесткостью  $k \sim 1/C$ .

*Задача 3.* Груз массой  $m = 0,1$  кг (рис. 4), соединенный с пружиной жесткостью  $k = 2$  Н/м, совершает вынужденные колебания в среде с вязкостью  $\eta = 1$  Па·с под действием переменной силы  $F = 10 \sin(10t)$ . Найти максимальную скорость груза.



**Рис. 4.** Механическая система груза, колеблющегося в вязкой жидкости, и ее электромагнитный аналог

*Решение.* Составим электромагнитный аналог данной механической системы. Вынуждающая сила имеет эквивалент в виде переменной ЭДС с напряжением:

$$U = U_m \sin \omega t. \tag{16}$$

Вязкое трение заменяется на тепловые потери на активном сопротивлении  $R$ . Аналогом пружинки  $k$  является конденсатор  $C$ , а аналогом грузика  $m$  — катушка индуктивности  $L$ . Аналогом скорости движения грузика в соответствии со строкой 2 таблицы выступает сила тока в контуре. В контуре течет переменный ток, и величину его нужно считать через импеданс  $Z$  с учетом реактивных сопротивлений катушки и конденсатора:

$$I_m = \frac{U_m}{Z} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (17)$$

Произведем замену аналогичных величин в соответствии с таблицей и получим:

$$v_m = \frac{F_m}{\sqrt{\eta^2 + \left(\omega m - \frac{k}{\omega}\right)^2}}. \quad (18)$$

Подставим численные значения:

$$v_m = \frac{10}{\sqrt{1^2 + \left(10 \cdot 0,1 - \frac{2}{10}\right)^2}} \approx 7,8 \text{ м/с}. \quad (19)$$

*Ответ:*  $v_m \approx 7,8 \text{ м/с}$ .

Можно привести еще много примеров задач на электромеханическую аналогию, но ограниченный объем статьи не позволяет это сделать. Вместе с тем авторы надеются, что указанный подход даст положительный импульс студентам при освоении механических и электромагнитных разделов физики.

### Список источников

1. Индивидуализация образования — возможности и перспективы / А.П. Бобровский [и др.] // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2000. Т. 1. С. 498–500.
2. Вычислительный эксперимент по исследованию колебательного контура при дистанционном обучении физике / Е.Ю. Михтеева [и др.] // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2020. Т. 1. С. 327–330.
3. Интенсивный курс физики: электростатика, постоянный электрический ток, магнетизм: учеб. пособие / Е. Н. Бодунов [и др.]. СПб.: ПГУПС, 2015. 98 с.
4. Интенсивный курс физики: механика, молекулярная физика: учеб. пособие / Е. Н. Бодунов [и др.]. СПб.: ПГУПС, 2015. 142 с.
5. Певчев В.П. Составление электрических схем замещения электротехнических систем на основе метода аналогий: учеб. пособие. Тольятти: ТГУ, 2010. 87 с.

**N. V. Dyachenko, I. A. Potapova, E. N. Bodunov**

## Application of the Analogy Method in Teaching Physics to Students of Technical Specialties

**Natalia V. Dyachenko**<sup>1</sup> — Dr. Sci. in Engineering, Associate Professor, Professor of the Department “Physic”

**Irina A. Potapova**<sup>2</sup> — Dr. Sci. in Physics and Mathematics, Associate Professor, Professor of the Department of Higher Mathematics and Physics

**Evgeny N. Bodunov**<sup>1</sup> — Dr. Sci. in Physics and Mathematics, Associate Professor, Head of the Department “Physic”

<sup>1</sup>*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia*

**Abstract.** The article shows the expediency of using the method of electromechanical analogy in teaching the course of general physics to students of technical specialties. The application of this method allows students of different fields and specialties to master the material from two sections of physics at once — mechanics and electromagnetism — and to deepen their understanding of the processes they will deal with in their professional activities.

**Keywords:** oscillatory processes, electromechanical analogy, pendulum, oscillatory circuit

---

---

УДК 37.091.3+ 53.01

**Н. В. Дьяченко, И. А. Потапова, Г. Г. Хохлов**

## Экспериментальное определение сил трения при изучении законов вращательного движения

**Дьяченко Наталия Владимировна**<sup>1</sup> — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Физика»

**Потапова Ирина Александровна**<sup>2</sup> — доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры высшей математики и физики

**Хохлов Григорий Григорьевич**<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Физика»

<sup>1</sup>*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация.** В статье обсуждается методика экспериментального определения силы трения скольжения при выполнении лабораторной работы