

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА**

Окунева В.В., Зубков С.Н. Диэлектрические перчатки как средство индивидуальной защиты: статистика дефектов и процедуры проверки // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2024. № 3 (23). С. 52–62.

**DIELECTRIC GLOVES AS A MEANS OF PERSONAL PROTECTION:  
DEFECT STATISTICS AND VERIFICATION PROCEDURES**

*V.V. Okuneva, S.N. Zubkov*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article is devoted to the issues related to personal protective equipment (PPE), dielectric gloves, their classification, testing methods. Different types of dielectric gloves are compared. Recommendations on the choice of the type of dielectric gloves to reduce the level of occupational risks at work are given.

**Keywords:** PPE, dielectric gloves, PPE tests, occupational health and safety.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*OKUNEVA Victoria Valeryevna* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: Bukashka\_89@inbox.ru

*ZUBKOV Sergey Nikolaevich* – Master's Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: sergei2076@mail.ru

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Okuneva V.V., Zubkov S.N. Dielectric gloves as a means of personal protection: defect statistics and verification procedures // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2024. No. 3 (23), pp. 52–62.

УДК 537.811; 531.311

**ПРИОРИТЕТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ НАД МЕХАНИКОЙ  
НА ПРИМЕРЕ ВТОРОГО ЗАКОНА НЬЮТОНА**

*И.П. Попов*  
*Курганский государственный университет (г. Курган)*

© Попов И.П., 2024

**Аннотация.** В статье отмечено, что приоритет электродинамики над механикой можно обосновать тем, что главная аксиома динамики – второй закон Ньютона – выводится из соотношений электромагнетизма. Показано, что формула второго закона

Ньютона получается при использовании метода прямого и обратного формальных преобразований механических и электромагнитных величин. Это дает возможность изменить статус второго закона Ньютона с постулата на соотношение, полученное в результате абстрактного математического моделирования. Указано, что в качестве практического аспекта полученных результатов можно рассматривать искусственную электромагнитную массу, которая неотличима от «натуральной» в части соответствия второму закону Ньютона; искусственная электромагнитная масса может использоваться в следящих приводах систем автоматического управления для обеспечения балансировки движущихся инертных узлов и агрегатов, масса которых может изменяться в процессе работы, а регулирование возможно электрическим путем за счет изменения емкости или напряженности магнитного поля.

**Ключевые слова:** второй закон Ньютона, постулат, масса, сила, оригинал, образ.

**DOI:** 10.46573/2658-7459-2024-3-62-69

### **ВВЕДЕНИЕ**

Второй закон Ньютона является основной аксиомой динамики [1–4] и представляет собой постулат, базирующийся на экспериментальных данных.

Задача настоящей статьи заключается в том, чтобы вывести формулу второго закона Ньютона, не опираясь при этом на результаты соответствующих опытов. Таким образом, актуальность работы обусловлена снижением степени феноменологичности начал механики.

За решение указанной задачи иногда принимают вывод формулы второго закона Ньютона с использованием функции Лагранжа и принципа наименьшего действия Гамильтона. Однако в функцию Лагранжа входит кинетическая энергия, формула которой вытекает из второго закона Ньютона. Соответственно, при таком подходе второй закон Ньютона выводится из самого себя, что может расцениваться как тавтология.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Задачу возможно решить широко распространенным методом, основанным на преобразовании оригинала  $G$  в образ  $g (g = A(G))$ , совершении над образом необходимых действий и обратном преобразовании результата  $l = f(g)$  из пространства образов в пространство оригиналов ( $L = A^{-1}(l)$ ).

Данный метод, в частности, лежит в основе операционного исчисления, широко распространенного в теории автоматического управления и электротехнике. В качестве прямого и обратного преобразований там используются преобразования Лапласа или Карсона.

Аналогичный подход применяется в ходе вычислений громоздких произведений, где в качестве прямого преобразования используется логарифмирование, а в качестве обратного – потенцирование.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Решение на микроуровне.** В качестве отправного пункта могут выступать соотношения, выражающие массу электрона через электромагнитные величины [5]:

$$m_e = k \frac{e^2 \mu_0}{b}, \quad (1)$$

где  $e$  – электрический заряд электрона;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $b$  – величина, имеющая размерность длины;  $k$  – безразмерный коэффициент, конкретное значение которого не имеет принципиальной важности для целей настоящей работы.

Пусть электрически нейтральная частица массой  $m_e$  движется в направлении  $\mathbf{r}$  со скоростью  $\mathbf{v} = v \frac{\mathbf{r}}{r}$ .

Выражение (1), строго говоря, не предполагает какой-то конкретной геометрической формы электрона, при этом оно позволяет временно формально представить рассматриваемую частицу в виде эквивалентной безмассовой заряженной сферы радиуса  $k_1 b$ . Это представление соответствует прямому преобразованию ( $g = A(G)$ ). Здесь  $k_1$  – коэффициент пропорциональности, который при дальнейшем согласовании прямого и обратного преобразований определяется однозначно.

Энергия электростатического поля равномерно заряженной сферы радиуса  $k_1 b$  и зарядом  $e$  определяется выражением

$$W_\varepsilon = \frac{1}{2} \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 k_1 b}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная [6]. В качестве среды можно рассматривать вакуум, относительная диэлектрическая проницаемость которого равна единице.

Поскольку заряженная сфера поступательно движется, имеет место магнитное поле, напряженность которого  $\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0 c^2} [\mathbf{v}, \mathbf{E}]$ , где  $c$  – скорость света, а  $\mathbf{E}$  – напряженность электрического поля. Энергии электрического и магнитного полей соотносятся следующим образом:

$$dW_\varepsilon = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} dV = \frac{E^2}{2c^2 \mu_0} dV;$$

$$dW_\mu = \frac{\mu_0 H^2}{2} dV = \frac{\mu_0}{2} \left\{ \frac{1}{\mu_0 c^2} [\mathbf{v}, \mathbf{E}] \right\}^2 dV = k_2 \frac{E^2 v^2}{2\mu_0 c^4} dV = k_2 dW_\varepsilon \frac{v^2}{c^2},$$

где  $k_2$  – коэффициент пропорциональности, обусловленный пространственной конфигурацией магнитного поля. Этот коэффициент меньше единицы, поскольку часть радиальных силовых линий электростатического поля ориентирована вдоль направления движения и по этой причине не вносит вклад в формирование магнитного поля.

С учетом выражения (2)

$$W_\mu = k_2 W_\varepsilon \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{2} \frac{k_2 e^2 v^2}{4\pi\varepsilon_0 k_1 b c^2} = k \frac{e^2 \mu_0 v^2}{2b}.$$

Здесь учитывается, что

$$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}.$$

Соответствующим образом подбирая  $k_1$ , можно добиться равенства

$$k = \frac{k_2}{4\pi k_1}.$$

Сила является градиентом энергии:

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= \frac{dW_\mu}{d\mathbf{r}} = k \frac{e^2 \mu_0}{2b} \frac{d(v^2)}{d\mathbf{r}} = k \frac{e^2 \mu_0}{b} \mathbf{v} \frac{d\mathbf{v}}{d\mathbf{r}} = k \frac{e^2 \mu_0}{b} \mathbf{v} \frac{d\mathbf{v}/dt}{d\mathbf{r}/dt} = \\ &= k \frac{e^2 \mu_0}{b} \mathbf{v} \frac{1}{\mathbf{v}} \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = k \frac{e^2 \mu_0}{b} \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}. \end{aligned}$$

На этом временное формальное электромагнитное представление прекращается. С помощью выражения (1) производится обратный переход к механическому рассмотрению движения электрически нейтральной инертной частицы (т.е. обратное преобразование ( $L = A^{-1}(l)$ )).

$$\mathbf{F} = m_e \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}.$$

Это формула второго закона Ньютона, полученная без применения экспериментальных данных, основанных на использовании инертных частиц.

**Решение на макроуровне.** Для установления вида преобразования  $g = A(G)$  ( $L = A^{-1}(l)$ ) в этом случае может быть рассмотрен электромеханический трансформер (рисунок).

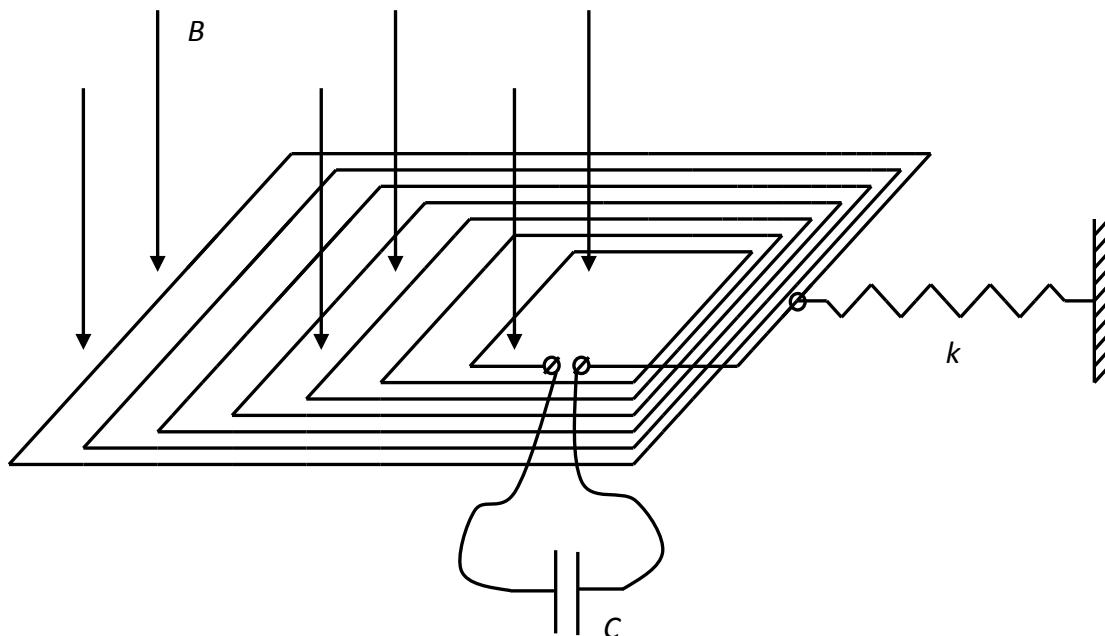


Схема электромеханического трансформера

Электромеханический трансформер имеет следующие параметры (см. рисунок): коэффициент жесткости пружины  $k$ , магнитную индукцию  $B$  (в магнитном поле находится  $n$  проводников с длиной активной части  $l$ ) [7–10], электрическую емкость конденсатора  $C$ . Активное сопротивление, потери на трение, индуктивность, емкость и масса проводников во внимание не принимаются.

Механическое и электрическое состояния трансформера описываются системой двух уравнений в соответствии с законами Гука, Ампера и вторым законом Кирхгофа:

$$\begin{cases} kx = -Blni \\ Bln \frac{dx}{dt} = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t idt \end{cases}, \quad (3)$$

где  $x$  – перемещение якорной обмотки;  $Blni$  – сила в соответствии с законом Ампера;  $Bln \frac{dx}{dt}$  – электродвижущая сила электромагнитной индукции. Правая часть второго уравнения – это напряжение на конденсаторе;  $B, l, n$  – величины, обуславливающие электромеханическое взаимодействие. Для компактности их можно объединить в параметрический коэффициент

$$y = (Bln)^2.$$

При подстановке первого уравнения системы (3) во второе с учетом последнего выражения и последующем дифференцировании по времени получается классическое дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{yC} x = 0.$$

В отличие от традиционных колебательных систем, состоящих из однородных элементов, рассматриваемый трансформер представляет собой осциллятор, включающий элементы разной физической природы – механической и электромагнитной.

Собственная частота колебаний трансформера

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{yC}}.$$

Сопоставление ее с формулой для собственной частоты колебаний механического маятника

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

позволяет сделать вывод, что изображенный на рисунке трансформер, за исключением пружины, представляет собой неотличимый в части взаимодействия с другими объектами аналог инертного тела с эквивалентной массой

$$m = yC. \quad (4)$$

Полученная формула, связывающая массу с электромагнитными величинами, может выступать в качестве отправного пункта решения поставленной задачи.

Пусть инертное тело массой  $m$  движется со скоростью  $v$ . Выражение (4) позволяет временно формально представить его в виде эквивалентного безмассового трансформера (не беря во внимание пружину). Это представление соответствует прямому преобразованию ( $g = A(G)$ ).

Дифференцирование второго уравнения системы (3) дает возможность получить выражение

$$i = y^{0,5} C \frac{d^2 x}{dt^2}.$$

С учетом последнего соотношения закон Ампера можно записать в виде

$$F = Blni = yC \frac{d^2 x}{dt^2}.$$

На этом временное формальное электромагнитное представление прекращается. С помощью выражения (4) производится обратный переход к механическому рассмотрению движения инертного тела (т.е. обратное преобразование ( $L = A^{-1}(l)$ )). При этом, согласно последней формуле для силы,

$$F = m \frac{d^2 x}{dt^2}.$$

Это формула второго закона Ньютона, полученная без применения экспериментальных данных, основанных на использовании инертных тел.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исторически механика как наука появилась значительно раньше электродинамики, поэтому формально-математический аппарат последней в основном заимствовался у первой. Однако главные законы электродинамики невозможно получить, пользуясь исключительно механическими представлениями. Другими словами, электродинамика из механики не вытекает.

В работе показано обратное, а именно то, что основные механические явления вполне могут быть объяснены с позиций электродинамики. Это можно расценивать как приоритет электродинамики перед механикой.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов И.П. Уравнение трогания поезда // *Известия РАН. Механика твердого тела*. 2021. № 2. С. 88–97.
2. Попов И.П. Элементы баллистического расчета при гравитационном маневре космического аппарата // *Космические аппараты и технологии*. 2021. Т. 5. № 2. С. 77–81.

3. Попов И.П. К расчетам параметров пассивных гравитационных маневров межпланетных космических аппаратов // *Труды МАИ*. 2021. № 118. URL: <http://maï.ru/> (дата обращения: 22.07.2024).
4. Попов И.П. Импедансы и адмитансы механических систем // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2020. № 5 (343). С. 3–11.
5. Попов И.П. Сведение постоянной Планка к классическим фундаментальным константам // *Вестник Удмуртского университета. Физика и химия*. 2014. Вып. 3. С. 51–54.
6. Попов И.П. Полный учет энергии электростатического поля заряженных сфер // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2024. № 1 (21). С. 45–56.
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.
8. 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.
9. Попов И.П. Искусственный момент инерции // *Труды МАИ*. 2022. № 123. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=165307> (дата обращения: 23.07.2024).
10. Попов И.П. Конденсатор механической энергии // *Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России*. 2023. № 4 (160). С. 37–402.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

*ПОПОВ Игорь Павлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов, ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», 640020, Россия, г. Курган, ул. Советская, д. 63/4. E-mail: [uralakademia@kurganstalmost.ru](mailto:uralakademia@kurganstalmost.ru)

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

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.

**PRIORITY OF ELECTRODYNAMICS OVER MECHANICS  
USING THE EXAMPLE OF NEWTON'S SECOND LAW***I.P. Popov**Kurgan State University (Kurgan)*

**Abstract.** In the article it is noted that the priority of electrodynamics over mechanics can be justified by the fact that the main axiom of dynamics - Newton's second law - is derived from the relations of electromagnetism. It is shown that the formula of Newton's second law is obtained by using the method of forward and backward formal transformations of mechanical and electromagnetic quantities. This makes it possible to change the status of Newton's second law from a postulate to a relation obtained as a result of abstract mathematical modeling. It is indicated that as a practical aspect of the obtained results it is possible to consider an artificial electromagnetic mass, which is indistinguishable from the “natural” one in terms of compliance with Newton's second law; the artificial electromagnetic mass can be used in tracking drives of automatic control systems to provide balancing of moving inert units and aggregates, the mass of which can change during operation, and regulation is possible electrically by changing the capacitance or magnetic field strength.

**Keywords:** Newton's second law, postulate, mass, force, original, image.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

*POPOV Igor Pavlovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Mechanical Engineering, Machine Tools and Instruments, Kurgan State University, 63/4, Sovetskaja St., Kurgan, 640020, Russia. E-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Popov I.P. Priority of electrodynamics over mechanics using the example of Newton's second law // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2024. No. 3 (23), pp. 62–69.