

## Список использованных источников

1. Яворский, Б. М. Курс физики: учеб. пособие для вузов: Т. 2. / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, Л. В. Милковский. – Изд. 4-е, перераб. – М., «Высш. школа», 1977. – 375 с.
2. Матвеев, А. Н. Электричество и магнетизм / А. Н. Матвеев. – Изд.: «Лань», 2010. – 464 с.
3. Тамм, И. Е. Основы теории электричества: учеб. пособие для вузов. / И. Е. Тамм. – 11-е изд., испр. и доп. – М: Физматлит, 2003. – 616 с.

УДК 537.8 :519. 87

**А. А. Луцэвіч<sup>1</sup>, С. У. Якавенка<sup>2</sup>**

**A. Lutsevich<sup>1</sup>, S. Yakovenko<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Міжнародны дзяржаўны экалагічны інстытут імя А. Д. Сахарова Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта*

*<sup>2</sup>УА «Беларускі дзяржаўны педагагічны ўніверсітэт імя Максіма Танка» (Мінск, Беларусь)*

## МАТЭМАТЫЧНАЯ МАДЭЛЬ ФІЗІЧНЫХ ПРАЦЭСАЎ У LC-КОНТУРЫ

## THE MATHEMATICAL MODEL OF PHYSICAL PROCESSES IN LC-CIRCUITS

Артыкул прысвечаны аналізу фізічных працэсаў, якія адбываюцца ў вагальным контуры пры ўзнікненні ў ім электрамагнітных ваганняў. Разгледжаны фізічны сэнс асноўных паняццяў тэмы "Электрамагнітныя ваганні і хвалі". Раскрыта макраструктура дзейнасці вучняў па рашэнні тыповых вучэбных задач па тэме.

The article is devoted to the analysis of physical processes that occur in an oscillatory circuit when electromagnetic oscillations occur in it. The physical meaning of the basic concepts of the topic "Electromagnetic oscillations and waves" is considered.

**Ключавыя словы:** вагальны контур; электрамагнітныя ваганні; кандэнсатар; шпуля індуктыўнасці; цыклічная частата; перыяд ваганняў; дабротнасць контуру; максімальныя значэнні зараду; сілы току і напружання.

**Keywords:** oscillatory circuit; electromagnetic oscillations; capacitor; inductor; cyclic frequency; oscillation period; quality factor of the circuit; maximum values of charge; current and voltage.

Вучэбнай праграмай па фізіцы для XI класа ўстаноў агульнай сярэдняй адукацыі на вывучэнне раздзелу «Ваганні і хвалі», які складаецца з чатырох тэм, прадугледжана 46 гадзін на базавым узроўні і 95 гадзін на павышаным узроўні. Перад тым як прыступіць да вывучэння матэрыялу тэмы «Электрамагнітныя ваганні і хвалі», навучэнцы павінны засвоіць і навучыцца прымяняць асноўныя паняцці, заканамернасці, матэматычныя мадэлі і формулы, якія даюць магчымасць колькасна апісаць працэсы ў механічных вагальных сістэмах.

Згодна з асноўнымі патрабаваннямі да вынікаў вучэбнай дзейнасці пасля вывучэння тэмы «Электрамагнітныя ваганні і хвалі», навучэнцы павінны: ведаць і разумець фізічны сэнс асноўных паняццяў тэмы (LC-контур, электрамагнітныя ваганні, пераменны электрычны ток) і іх фізічных характарыстык; умець рашаць якасныя, графічныя, разлі-

ковья задачи па тэме выкарыстоўваючы формулы залежнасці зараду і сілы току ў ідэальным  $LC$ -контурцы ад часу, формулу Томсана, формулы: для разліку энергіі электрамагнітных ваганняў, дзеючых значэнняў сілы току і напружання, даўжыні і частоты электрамагнітнай хвалі [1].

У навучальным дапаможніку па фізіцы [2] для 11 класа прыведзеныя вышэй пытанні падрабязна разгледжаны з апорай на веды і ўменні, атрыманыя вучнямі раней. Так, напрыклад, формула Томсана атрымана на аснове сцвярджэння, што працэсы, якія адбываюцца ў вагальным контурцы, аналагічныя ваганням спружыннага маятніка пры адсутнасці трэння: аналагам каардынаты пры ваганнях спружыннага маятніка з'яўляецца зарад кандэнсатара, аналагам праекцыі скорасці грузу – сіла току ў вагальным контурцы і г. д.

З мэтай фарміравання ў навучэнцаў працэдур самастойнай пазнавальнай дзейнасці, вопыту прымянення навуковых метадаў пазнання, развіцця ўмення бачыць некалькі варыянтаў рашэнняў праблемы прывядзем вынікі аналізу фізічных працэсаў у вагальным контурцы ( $LC$ -контурцы), да якіх неабходна падвесці навучэнцаў, выкарыстоўваючы даступны ім матэматычны апарат [3,4].

1.  $LC$ -контурцы называюць электрычны ланцуг, у склад якога ўваходзяць паслядоўна злучаныя кандэнсатар і шпуля індуктыўнасці. Вагальны контур, актыўнае супраціўленне якога можна прыняць роўным нулю называюць ідэальным. Стан устойлівай раўнавагі  $LC$ -контурцы як вагальнай сістэмы адпавядае мінімуму патэнцыяльнай энергіі ( $q = 0$ ). Сістэма самаадвольна вяртаецца ў гэты стан (разрад кандэнсатара) і праходзіць яго па інерцыі дзякуючы з'яве самаіндукцыі. Менавіта таму ў контурцы могуць існаваць электрамагнітныя ваганні.

2. Змяненні сілы току ў контурцы абумоўлены існаваннем двух палёў: патэнцыяльнага электростатычнага поля кандэнсатара і вільсвага электрычнага поля шпулі. Прычым змены гэтых палёў адбываюцца так, што ў любы момант часу модулі іх напружанасцей аднолькавыя, а напрамкі процілеглыя. Калі б гэта ўмова не выконвалася, то з прычыны роўнасці нулю актыўнага супраціўлення контурцы, ток у ім узростаў бы неабмежавана (што супярэчыць закону захавання энергіі).

3. Поўная энергія ідэальнага  $LC$ -контурцы, ў працэсе ваганняў захоўваецца:  $W(t) = W_{\text{мех}} + U + W_{\text{эм}}(t) = \text{const}$ . Калі ўлічыць што электрамагнітныя ваганні ў ідэальным контурцы не суправаджаюцца змяненнямі яго механічнай і ўнутраннай энергіі. Таму, у адвольны момант часу электрамагнітная энергія  $W_{\text{эм}}(t)$  ідэальнага  $LC$ -контурцы:  $W_{\text{эм}}(t) = \frac{q^2(t)}{2C} + \frac{LI^2(t)}{2} = \frac{q_0^2}{2C} + \frac{LI_0^2}{2} = \text{const}$ .

4. Цыклічная частата  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  і перыяд  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  уласных электрамагнітных ваганняў у  $LC$ -контурцы не залежаць ад таго, якім спосабам контур атрымаў першапачатковы запас энергіі і вызначаюцца толькі электраёмнасцю  $C$  кандэнсатара і індуктыўнасцю  $L$  шпулі.

5. Максімальныя значэнні зараду  $q_0$  кандэнсатара і сілы току  $I_0$  ў шпулі вызначаюцца першапачатковым запасам энергіі, перададзенай контурцы. Значэнні гэтых велічынь звязаны  $q_0 = \frac{I_0}{\omega} = I_0\sqrt{LC}$ . Калі ўлічыць, што па азначэнні  $C = \frac{q_0}{U_0}$ , максімальнае значэнне напружання

на кандэнсатары  $U_0 = \frac{I_0}{\omega C} = I_0\sqrt{\frac{L}{C}}$ .

6. Ваганні ў рэальным контурцы суправаджаюцца незваротнымі стратамі энергіі, атрыманай ім ад знешняй крыніцы энергіі (напрыклад у выніку зарадкі кандэнсатара ад крыніцы току), якія абумоўлены: награваннем праваднікоў, паколькі актыўнае супраціўленне рэальнага контурцы не роўна нулю; выпраменьваннем электрамагнітных хваль, перапалярызацыяй дыэлектрыка, які знаходзіцца паміж абкладкамі кандэнсатара, і перамагнічваннем стрыжня шпулі. Таму, уласныя ваганні ў рэальным контурцы з'яўляюцца затухаючымі.

7. Тэрэтычны разлік паказвае, што цыклічная частата ўласных электрамагнітных ваганьняў у рэальным контуры, актыўнае супраціўленне якога роўна  $R$ , вызначаецца па формуле  $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ . З гэтай формулы вынікае, што калі  $\frac{R^2}{4L^2} = \frac{1}{LC}$ , то цыклічная частата становіцца роўнай нулю, а перыяд ваганьняў бясконца вялікім. Гэта азначае, што калі актыўнае супраціўленне контуру  $R \geq \sqrt{\frac{4L}{C}}$ , то ваганні ў контуры не ўзнікаюць, бо ўся энергія, назапашаная ў кандэнсатары, рассеяваецца пры адным яго разрадзе. Супраціўленне контуру, пры якім вагальны працэс пераходзіць у аперыядычны, называюць крытычным, г. зн.  $R_K \geq 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ , дзе  $\sqrt{\frac{L}{C}}$  – хвалевае супраціўленне контуру. Адносіна хвалевага супраціўлення контуру да яго актыўнага супраціўлення называецца дабротнасцю  $Q$  гэтага контуру:  $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$ . Чым больш дабротнасць контуру, тым павольней ідзе ў ім працэс затухання электрамагнітных ваганьняў.

8. Паколькі асноўным відам страт энергіі ў контуры з’яўляюцца цеплавыя, то затуханне можна не ўлічваць, калі цеплавыя страты за перыяд у шмат разоў меншыя за энергію контуру ( $\frac{1}{2}I_0^2RT \ll \frac{1}{2}\frac{LI_0^2}{2}$ ), адкуль вынікае, што гэта магчыма калі актыўнае супраціўленне контуру  $R \ll \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L}{C}}$ .

Рашэнне задач па тэме «Вагальны контур. Свабодныя электрамагнітныя ваганні ў контуры. Формула Томсана. Ператварэнні энергіі ў вагальным контуры» грунтуецца на выкарыстанні формул для разліку перыяду (частаты) уласных электрамагнітных ваганьняў і закону захавання і ператварэння энергіі ў ідэальным або рэальным вагальным контуры. Таму ў працэсе аналізу сітуацыі, прыведзенай у задачы, неабходна спачатку выявіць невядомыя параметры контура і магчымасць іх знаходжання зыходзячы з мадэлі “ідэальны вагальны контур”.

Пасля гэтага неабходна запісаць формулы для разліку імгненнага значэнняў зараду і напружання на кандэнсатары і сілы току ў шпулі індуктыўнасці. Для разліку энергетычных характарыстык неабходна дадаткова запісаць формулу для поўнай энергіі контура ў адвольны момант часу. Заўважым, што максімальныя значэнні зараду і напружання на кандэнсатары, і сілы току ў шпулі звязаны суадносінамі:  $q_0 = CU_0$ ,  $I_0 = q_0\omega$ .

Калі стратамі энергіі ў контуры нельга пагрэбаваць, то для разліку частаты (перыяду) уласных ваганьняў неабходна карыстацца формулай:

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

Пры рашэнні некаторых больш складаных задач па гэтай тэме дадаткова неабходна карыстацца формуламі для разліку ёмістасці плоскага кандэнсатара  $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$ , індуктыўнасці шпулі  $L = \mu_0\mu \frac{N^2}{l} S$  і даўжыні электрамагнітнай хвалі  $\lambda = vT = 2\pi v \sqrt{LC}$  на якую рэзаніруе вагальны контур.

#### Спісок іспользованных істочников

1. Фізіка. XI клас // Вучэбная праграма па вучэбным прадмеце «Фізіка» для XI класа ўстаноў адукацыі, якія рэалізуюць адукацыйныя праграмы агульнай сярэдняй адукацыі з беларускай мовай навучання і адукацыі. Пастанова МА РБ ад 21.06.2021 №131.

2. Жылко, В. У. Фізіка: вучэб. дапаможнік для 11-га кл. устаноў агульнай. сярэд. адукацыі з бел. мовай навучання / В. У. Жылко, Л. Р. Марковіч, А.А. Сакольскі. – Мінск: Народная асвета, 2021. – 287 с.

3. Луцевич, А. А. Физика / А. А. Луцевич, С. В. Яковенко. – Минск: Высшая школа, 2000. – 495 с.

4. Малишевский, В. Ф. Основы электродинамики / В. Ф. Малишевский, А. А. Луцевич. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 143 с.

УДК 004.032.26

**Р. Д. Москалевич, П. А. Хорошевич**

**R. Moskalevich, P. Khoroshevich**

*УО «Белорусский государственный педагогический университет*

*имени Максима Танка» (Минск, Беларусь)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ**

### **APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN TEACHING PHYSICS**

В статье дана характеристика нейросетей как дидактического средства, используемого в сфере образования, так как их применение способствует повышению эффективности обучения. Проанализированы возможности применения нейросетей в обучении физике. Подчеркивается, что нейросети могут выполнять задачи, обычно требующие человеческого интеллекта. Приведен пример решения задачи по физике с помощью нейросети.

The article characterizes neural networks as a didactic tool used in the field of education, since their use contributes to improving the effectiveness of learning. The possibilities of using neural networks in teaching physics are analyzed. It is emphasized that neural networks can perform tasks that usually require human intelligence. An example of solving a physics task using a neural network is given.

**Ключевые слова:** нейронные сети; машинное обучение; обучение физике; образовательные технологии; искусственный интеллект.

**Keywords:** neural networks; machine learning; teaching physics; educational technologies; artificial intelligence.

Использование искусственного интеллекта в образовании является сегодня особенно актуальным: во многих учебных заведениях всего мира искусственный интеллект получает все большее распространение, так как он способствует повышению эффективности обучения.

**Постановка проблемы.** Сложность и абстрактность физики как учебного предмета часто создают проблемы и для преподавателей, и для студентов (учеников). Специалисты во всем мире пытаются найти и находят способы и средства, облегчающие процесс познания этого сложного учебного предмета, способствующие более глубокому пониманию фундаментальных концепций. На наш взгляд, одним из способов сделать процесс обучения физике захватывающим и увлекательным является применение технологий, основанных на искусственном интеллекте, что открывает неисчерпаемые возможности для увеличения эффективности усвоения учебного материала, делая изучаемый предмет более интерактивным и доступным.

Однако следует признать, что, несмотря на огромный дидактический потенциал искусственного интеллекта, нейронные сети не находят широкого применения в обучении физике в школе, прежде всего, в связи с неинформированностью обучаемых о таких интеллектуальных системах.

Так, проведенный нами опрос среди учащихся старших классов (100 респондентов) средней школы № 92 г. Минска показал, что учащиеся в подавляющем большинстве (96 %)