

В.С. МАРКОВ, Є.В. ГОНЧАРОВ, І.В. ПОЛЯКОВ, Н.В. КРЮКОВА

ПОНЯТТЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ ПРИ ВИКЛАДАННІ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

У статті розглядається проблема розуміння учнями шкіл та студентами поняття електричного заряду. На основі власного досвіду викладання можемо відзначити, що студенти добре пам'ятають визначення електричного струму як спрямованого чи впорядкованого руху заряджених частинок, але погано пам'ятають чи взагалі не знають, що таке електричний заряд. Це не дуже добре, адже це поняття, яке пов'язане з такими величинами як електричний струм, напруга та електрорушійна сила. Взагалі поняття електричного та електромагнітного поля безпосередньо пов'язані із поняттям електричного заряду. Також розглядаються визначення електричного заряду, які наведені у ДСТУ, Вікіпедії та Електропедії. Робиться висновок на основі різних визначень електричного заряду, що може краще говорити про частинку або систему частинок, або фізичне тіло з певними властивостями, а не про властивість електрона як таку. Здається, що треба змінити, так би мовити, пріоритети або акценти у визначенні. Саме в цьому можливо полягає «ключ» для вирішення проблеми «відчуженості» поняття. Можна дати студентам такі визначення електричного заряду та електромагнітного поля: електричний заряд - дискретна скалярна величина, що характеризує властивості фізичного тіла (від електрона до макрооб'єкта) впливати на іншу таку ж величину з певною силою, обумовлювати появу електричного струму, електричної напруги, електрорушійної сили, напруженості електричного поля, електричної енергії, а електромагнітне поле - властивість чи здатність простору-часу здійснювати силову взаємодію між зарядами, зарядженими тілами з кінцевою швидкістю. А можна дати ще простіше формулювання, а саме електричний заряд – частинка або сукупність частинок, яка має силову взаємодію з іншими подібними частинками, матеріальну основу для утворення електричного струму та інших електричних величин. Можливо такі формулювання будуть більш зрозумілі учням загальноосвітніх шкіл, а також студентам вищих навчальних закладів.

Ключові слова: електричний заряд, електромагнітне поле, визначення електричного заряду.

V.S. MARKOV, Ye. V. HONCHAROV, I. V. POLIAKOV, N. V. KRIUKOVA

THE CONCEPT OF ELECTRIC CHARGE IN TEACHING ELECTRICAL ENGINEERING DISCIPLINES

The article considers the problem of understanding by schoolchildren and students of the concept of electric charge. Based on our own teaching experience, we can say that students remember well the definition of electric current as a directed or ordered movement of charged particles, but they remember poorly or do not know at all what electric charge is. This is not very good, because this is a concept that is associated with such quantities as electric current, voltage and electromotive force. In general, the concepts of electric and electromagnetic fields are directly related to the concept of electric charge. The definitions of electric charge, which are given in DSTU, Wikipedia and Electropedia, are also analyzed. A conclusion is drawn based on different definitions of electric charge, which may be better to talk about a particle or a system of particles, or a physical body with certain properties, rather than a property. It needs to change, so to speak, the priorities or accents in the definition. This is perhaps the "key" to solving the problem of the "tangibility" of the concept. You can give students the following definitions of electric charge and electromagnetic field: electric charge is a discrete scalar quantity that characterizes the properties of a physical body (from an electron to the Earth's surface) to influence another of the same quantity with a certain force, to cause the appearance of electric current, electric voltage, electromotive force, electric field strength, electric energy, and electromagnetic field is the property or ability of space-time to carry out force interaction between charges, charged bodies with a finite speed. Or you can give an even simpler formulation, namely, an electric charge is a particle or system of particles that has force interaction with other similar particles, a material basis for the formation of electric current and other electrical quantities. Perhaps such formulations will be more understandable to students of general education schools, as well as students of higher educational institutions.

Keywords: electric charge, electromagnetic field, definition of electric charge.

Одним із фундаментальних понять в електротехніці є поняття електричного заряду. На основі власного досвіду викладання можемо сказати, що студенти добре пам'ятають визначення електричного струму як спрямованого чи впорядкованого руху заряджених частинок, але погано пам'ятають чи взагалі не знають, що таке електричний заряд. Це не дуже добре, адже це поняття, яке пов'язане з такими величинами як електричний струм, напруга та електрорушійна сила. Взагалі поняття електричного та електромагнітного поля безпосередньо пов'язані із поняттям електричного заряду.

Під зарядженими частинками розуміються іони в електролітах акумуляторів чи вільні електрони в металах. Цікаво, що студенти доволі часто пам'ятають значення елементарного заряду і навіть масу електрона (відповідно, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг). Багато гірша справа у студентів із поняттями напруги та електрорушійної сили. Мабуть це трапляється тому, що рух якихось частинок, подібно до течії води уявити досить нескладно, а ось інші визначення фізичних величин уявити складніше.

Спробуємо розібратися у проблемі. По-перше, подивимся як взагалі визначено електричний заряд у діючому ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення [1].

Елементарний (електричний) заряд - властивість електрона та протона, яка характеризує їх взаємозв'язок із власним електричним полем та їх взаємодію із зовнішнім електричним полем, що визначається для електрона і протона чисельними значеннями, які рівні, але протилежні за знаком.

Електричний заряд тіла [системи тіл] - скалярна величина, що дорівнює алгебричній сумі елементарних електричних зарядів у тілі [системі тіл].

Носій заряду - частинка, яка містить один чи декілька елементарних електричних зарядів. Носієм заряду являється, наприклад, електрон, протон, іон; термін умовно відноситься також і до дірки у напівпровіднику.

Поверхнева густина електричного заряду скалярна величина, якою характеризують розподіл електричного заряду по поверхні тіла і яку в певній точці

© В.С. Марков, Є.В. Гончаров, І.В. Поляков, Н.В. Крюкова, 2025

визначають як границю відношення заряду до елементу поверхні, який його містить, коли цей елемент поверхні прямує до нуля.

А ось як сформульовано це визначення у Вікіпедії [2].

Електричний заряд (кількість електрики) - фізична скалярна величина, що показує здатність тіл бути джерелом електромагнітних полів і брати участь в електромагнітному взаємодії.

Виходить, що електричний заряд це щось таке, що створює електромагнітне поле, а електромагнітне поле це те, що впливає на електричний заряд. Це загальноприйняте визначення у фізиці, але якесь замкнене коло у визначенні. Хоча ми розуміємо, що первинним є електричний заряд, але без поля його начебто і немає. Читаємо далі.

Вперше електричний заряд було введено у законі Кулона у 1785 році. Одиниця виміру електричного заряду в Міжнародній системі одиниць (СИ) – кулон. Один кулон дорівнює електричному заряду, що проходить через поперечний переріз провідника зі струмом силою 1 А за час 1 с. Якщо два тіла, кожне з яких має електричний заряд ($q_1 = q_2 = 1$ Кл), розташовані у вакуумі на відстані 1 м, вони взаємодіють приблизно з силою в $9 \cdot 10^9$ Н.

Кулон - це величина заряду, що пройшов через поперечний переріз провідника при силі струму 1 А за час 1 с. Через основні одиниці СИ кулон виражається співвідношенням виду: Кл = А·с.

Елементарний електричний заряд (з точністю до знаку рівний заряду електрона) становить точно $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ Кл, тому 1 Кл дорівнює заряду $6\,241\,509\,074\,460\,762\,608$ електронів (округлено).

Тобто заряд – це дискретна величина. Та електричний заряд діє на інший з певною фізичною силою. Крім того, можна пригадати, що зараз у квантовій механіці вважається, що елементарні частинки обмінюються фотонами, які не мають маси.

Знов дивимось в [1], може визначення електричного та магнітного полів нам допоможуть.

Електричне поле – прояв електромагнітного поля, що характеризується впливом на електрично заряджену частинку з силою, яка пропорційна заряду частинки і не залежить від її швидкості.

Магнітне поле – прояв електромагнітного поля, що характеризує вплив на рухомі електрично заряджені частинки з силою, пропорційною заряду частинки та її швидкості.

Електромагнітне поле від матерії, що визначається в усіх точках двома векторними величинами, які характеризують дві його сторони, що називаються відповідно «електричне поле» та «магнітне поле», які чинять силовий вплив на заряджені частинки, що залежить від їх швидкості та величини їх заряду.

Тобто електромагнітне поле проявляється як вплив на електричні заряди нерухомі або рухомі. Немає зарядів і поля немає. Тут вже точно немає. Хоча електромагнітна хвиля це потік фотонів, які не мають а ні маси, а ні електричного заряду.

Все ж таки як пояснити школярам та студентам, та й взагалі широкому загалу, що таке електричний

заряд? Складність у тому, що неможливо дати визначення електричного заряду, зводячи до інших понять, що вже відомі учням. Наприклад, звести поняття заряду до таких «відчутних» понять простору-часу, як маса, відстань, час. Але можливо треба надати більш «відчутне» визначення? Наприклад, замінивши слово «властивість» на щось більш матеріальне? До речі, іноді у фізиків виникає ідея порівняти поняття електричного заряду з «гравітаційним зарядом» (масою), що дозволяє провести аналогію між електростатикою та гравітацією, корисну для навчання, як студентів, так і школярів.

Широко відома взаємодія електрично заряджених тіл, а саме, однойменно заряджені тіла відштовхуються, різнойменно притягуються одне до одного. Якщо заряди діють один на інший з певною силою, що нам відомо із закону Кулона, то можна сказати, що електричний заряд це є квадратний корінь з якоїсь сили, помножений на відстань та поділений на певний коефіцієнт. Але це знов нічого не пояснює.

Найпростіше і повсякденне явище, у якому виявляється факт існування у природі носіїв електричних зарядів, – електризація тіл у дотику. Здатність носіїв електричних зарядів як до взаємного тяжіння, і до взаємного відштовхування пояснюється існуванням двох різних видів електричних зарядів. Один вид електричного заряду називають позитивним, а інший негативним. Як вважається при дотику двох електрично нейтральних тіл в результаті тертя заряди переходять від одного тіла до іншого. У кожному з них порушується рівність суми позитивних і негативних зарядів, та тіла заряджаються різнойменно. Таким чином, заряд має два види, відомі як позитивний заряд (заряд протона, позитрон та ін.) і негативний заряд (заряд електрона). Кількісно заряд визначається за силовою взаємодією тіл, які мають електричні заряди. З такого визначення видно, що про заряд судять з електромагнітної взаємодії тіл.

Долучимся до міжнародного електротехнічного словнику (The World's Online Electrotechnical Vocabulary) так званої Електропедії (Electropedia) [3].

Електричний заряд (застаріле - кількість електроенергії) - адитивна скалярна величина, що приписується будь-якій частинці та, загалом, будь-якій системі частинок, для характеристики її електромагнітної взаємодії.

Примітка 1. Електричний заряд завжди є цілим кратним елементарного електричного заряду, за винятком кварків. Результат може бути позитивним, негативним або нульовим. Завдяки адитивності електричний заряд будь-якої системи частинок точно дорівнює сумі їх зарядів.

Примітка 2. Електричний заряд підпорядковується закону збереження. Він є інваріантним щодо перетворення Лоренца, а тому не залежить від вибору системи відліку.

Примітка 3. Електричні заряди підкоряються закону Кулона.

Примітка 4. Електричний струм через поверхню є похідною за часом від електричного заряду, що передається через цю поверхню.

Примітка 5. Заряджений конденсатор не є електрично зарядженим тілом, що несе позитивний або негативний електричний заряд. З цієї причини електричний заряд визначається в теорії схем як інтеграл часу від електричного струму на виводах (див. IEV 131-12-11).

Примітка 6. Термін «кількість електроенергії» не підтримується для цієї концепції. У IEV він використовується лише щодо електролітичних пристроїв, таких як вторинні елементи та батареї (див., наприклад, IEV 482-03-14).

Ось тут якось більш зрозуміліше. Електричний заряд це по суті частинка або система частинок, яка має певні властивості. Спробуємо розібратися із властивостями. По-перше, з електризацією.

При електризації тіла через вплив у ньому порушується рівномірний розподіл заряду. Вони перерозподіляються так, що в одній частині тіла виникає надлишок позитивного заряду, а в іншій негативних. Якщо ці дві частини роз'єднати, вони будуть заряджені різноіменно. Тобто це дійсно унікальна властивість непригаманна будь яким іншим явищам природи. По-друге, важливо розуміти, що таке точковий заряд.

Точковий електричний заряд – електрично заряджена матеріальна точка, ідеалізація, що вводиться для спрощення опису поля зарядженого тіла або системи тіл. Модель точкового заряду застосовується у ситуаціях, коли власними розмірами зарядженого об'єкта можна знехтувати порівняно з відстанню, на якій розглядається електростатична взаємодія. Саме для точкових зарядів сформульовано закон Кулона для сили взаємодії двох заряджених тіл у вакуумі. Також саме для точкового заряду записується вираз сили Лоренца як дія електромагнітного поля у класичній фізиці.

По-третє, важливо розуміти взаємодію зарядів. Для нерухомих заряджених тіл (матеріальних точок) взаємодія між ними носить кулонівський характер, тобто сила взаємодії тіл або частинок обернено пропорційна квадрату відстані між ними. У разі зарядів, що рухаються, сила електромагнітної взаємодії істотно залежить від модуля і напрямку відносної швидкості. В окремих випадках (у деяких системах відліку) електромагнітна взаємодія проявляється або лише як електрична, або тільки як магнітна. Але оскільки швидкість тіла залежить від системи відліку, то взаємодія носить відносний характер, визначається системою відліку. Ось чому в загальному випадку взаємодія двох заряджених тіл є електромагнітною.

Також при поясненні поняття заряду треба хоча б приблизно розуміти як вимірюється заряд. Існують різні способи виміру заряду. Наприклад, електростатичний метод, експеримент Міллікена, електромагнітний метод – вимірювання сили Лоренца або метод, пов'язаний з вимірюванням сили струму і часу, метод, пов'язаний з явищем електролізу, метод за допомогою дослідження спектрів на основі квантової теорії Бора, а також визначення заряду атома методом розсіювання заряджених частинок – експеримент Резерфорда.

З цих дослідів сучасна фізика приходить до висновку про існування атома електрики – елементарного заряду, що є невід'ємною властивістю ряду елементарних частинок - електронів, протонів та ін. Є багато

доказів дискретності електрики, зокрема, вже згадуваний експеримент Міллікена.

Як саме вимірюється заряд електрона e ? Маленька крапля олії в електричному полі рухатиметься з такою швидкістю, що будуть компенсовані сила тяжіння, сила Стокса (похідна від в'язкості повітря) та електрична сила. Сила тяжіння та сила Стокса можуть бути розраховані виходячи з розміру та швидкості падіння краплі без електричного поля, звідки може бути визначена й електрична сила, що діє на краплю. Оскільки електрична сила, у свою чергу, пропорційна добутку електричного заряду та відомої, заданої в експерименті, напруженості електричного поля, електричний заряд краплі масла може бути точно обчислений. У цих дослідах виміряні заряди різних крапель олії завжди були цілими кратними однієї невеликої величини, а саме заряду електрона e .

Дискретність заряду, як і маси спокою елементарних частинок, обумовлена однією з суттєвих особливостей мікросвіту, в якому дискретність властива і ряду характеристик руху, наприклад енергії.

Закон збереження електричного заряду один із найважливіших законів сучасної науки. У середній школі дається приблизно таке визначення, яке враховує атомістичне уявлення про електрику – різницю між числом позитивно заряджених та числом негативно заряджених частинок у замкненій системі, що залишається незмінною. У межах вищої школи можна дещо змінити формулювання, засноване на ідеї можливості виміру заряду: алгебраїчна сума зарядів у замкненій системі тіл залишається незмінною у часі.

Цей закон доводиться через:

- 1) одночасну появу протилежних за знаком, але рівних за модулем зарядів при контактній електризації тіл;
- 2) появу двох протилежно заряджених частинок у процесах народження електронно-позитронної пари, а також перетворення електронно-позитронної пари на фотони;
- 3) зведення будь-яких процесів електризації тіл через вплив, хімічна електризація в гальванічному елементі, фотоіонізація та ін.
- 4) розподіл рівних за значенням зарядів протилежних знаків;
- 5) співвідношення між струмами в розгалуженому електричному колі.

Крім закону збереження заряду, дуже важлива ще одна властивість заряду – його абсолютність, тобто, незалежність від швидкості руху зарядженої частки, отже, і від системи відліку.

Добре відомий факт нейтральності неіонізованих атомів та молекул. Заряди електронної оболонки атома і ядра точно рівні один одному, хоча характер руху електронів і ядер атомів зовсім різний. Крім того, відомо, що при хімічних перетвореннях рух електронів в оболонках атомів змінюється, що призводить до зміни характеру оптичних спектрів. Якщо б заряд хоч малою мірою залежав від швидкості руху частинок, то в хімічних реакціях могли б з'являтися некомпенсовані електричні заряди, що можна було б виявити. Так з найбільшою точністю порядку 10^{-20} е/атом встановлено, що

молекули водню електрично нейтральні, як і атоми гелію. А тим часом при однаковій кількості протонів і електронів у молекулі водню та атомі гелію руху електронів у них зовсім різні.

Інший приклад. Відомо, що при зміні температури металів у них некомпенсований заряд не з'являється, незважаючи на те, що характер руху електронів та іонів кристалічних ґрат різний і при нагріванні змінюється по-різному. Той факт, що тіла залишаються при нагріванні нейтральні, переконливо свідчить про інваріантність заряду.

Практика успішної роботи прискорювачів, що розганяють протони та інші заряджені частинки до швидкості близької швидкості світла і розрахованих у припущенні, що заряд не залежить від швидкості, є переконливим експериментальним доказом інваріантності заряду.

Отже, ще в школі повідомляють учням, що електричний заряд є особливою властивістю частинок, про яку судять по взаємодії між наелектризованими тілами, що складаються з цих частинок. Взаємодія між наелектризованими тілами зовні виглядає як дія тіл на відстані. Однак такий погляд на електричні явища, що існував до створення електродинаміки Фарадея – Максвелла, виявився неправильним. Дія одного зарядженого тіла на інше передається через особливе матеріальне середовище, що оточує заряд – через електричне поле. Той факт, що дія одного заряду на інший передається через посередника, яким є електричне поле, виявляється тоді, коли одному із зарядів надають руху. Інший заряд «відчує» цей рух не відразу, а через деякий (щоправда, звичай малий) час прямо пропорційній відстані, та обернено пропорційній швидкості світла.

Очевидно цей час тим більше, чим далі один від одного знаходяться заряди. Отже переміщення у просторі «сигналу» про рух одного заряду до другого заряду відбувається з кінцевою швидкістю яка приблизно дорівнює швидкості світла.

З цього був зроблений висновок, що між зарядженими тілами існує матеріальний посередник, який і забезпечує дію одного заряду на інший. Цей посередник назвали електричним або електромагнітним полем.

Реально здійснити досвід із зсувом заряду не можна, тому що швидкість розповсюдження електромагнітних сигналів дуже велика (швидкість світла). Щоб виявити запізнення "сигналу" необхідно, щоб зміщення заряду було дуже швидким, а відстань між зарядами дуже великою.

Сучасній радіотехніці відомі способи, що дозволяють приводити в швидкі коливальні рухи електрони та вимірювати час поширення електромагнітних сигналів (радіохвилі).

Дослід на заняттях з фізики, який демонструється у середній школі, – пробне заряджене тіло, наприклад, заряджений пінопластовий листочок, підвішений на ізолюючій нитці, підносимо до зарядженої кулі, розташованої на ізолюючій поверхні. Досвід показує, що у різних місцях простору нитка відхиляється на різні кути. Це свідчить про відмінність фізичних властивостей електричного поля у відповідних точках. Електричне поле, як відомо, діє і на заряди, що рухаються. Про це можна

судити з відхилення променя осцилографа під дією електричного поля зарядженої палички.

Як вже було зазначено, магнітне поле не діє на нерухомі заряди, а діє тільки на рухомі. За допомогою електромагнітного поля здійснюється взаємодія між зарядженими частинками, яка характеризується напруженнями чи індукціями електричних та магнітних полів.

Закон Кулона та принцип суперпозиції полів виражають основні властивості електростатичного поля. Решта висновків є наслідками цих двох експериментально встановлених фактів, які можна розглядати як експериментальні закони.

У самому формулюванні законів Кулона вказується на нерухомість заряджених тіл, що взаємодіють. Взаємодія зарядів здійснюється за допомогою електромагнітного поля, яке може поширюватися у просторі з кінцевою швидкістю. Час до закону не входить, а входить лише відстань. Будь-яке зміщення одного з зарядів позначиться іншому не відразу, а через деякий час, необхідний електромагнітному сигналу для того, щоб «пройти» відстань, що розділяє заряди. В силу цього взаємодія між зарядами не може визначатися лише відстанню між ними цієї миті. Якби швидкість електромагнітного поля була нескінченно великою, то закон Кулона був би однаково справедливий як для нерухомих, так і для зарядів, що рухаються. Але в цьому випадку поняття електромагнітного поля виявилось б зайвим. Але оскільки електромагнітні сигнали поширюються з кінцевою швидкістю, хоча і дуже великою, заряди, що рухаються, взаємодіють не так як нерухомі, і описати цю взаємодію не можна без розгляду електромагнітного поля.

Таким чином, ми бачимо, що під зарядом розуміють не просто якусь властивість, а саме частинку з певною властивістю або достатньо велике тіло, тобто матеріального об'єкт. Саме в цьому, можливо, полягає «ключ» для вирішення проблеми «відчутності» поняття.

Отже, можна дати студентам такі визначення електричного заряду та електромагнітного поля:

1) електричний заряд – дискретна скалярна величина, що характеризує властивості фізичного тіла (від електрона до макрооб'єкта) впливати на іншу таку ж величину з певною силою, обумовлювати появу електричного струму, електричної напруги, електрорушійної сили, напруженості електричного поля, електричної енергії.

2) електромагнітне поле – властивість чи здатність простору-часу здійснювати силову взаємодію між зарядами, зарядженими тілами з кінцевою швидкістю.

А можна дати ще простіше формулювання, а саме **електричний заряд – частинка або сукупність частинок, яка має силову взаємодію з іншими подібними частинками, та є матеріальною основою для утворення електричного струму та інших електричних величин.**

Можливо такі формулювання будуть більш зрозумілі учням загальноосвітніх шкіл, а також студентам вищих навчальних закладів. Хоча ми добре усвідомлюємо, що це досить дискусійне питання, але ми впевнені, що треба час від часу проводити певну ревізію

фізичних понять та визначень для кращого усвідомлення широким загалом учнів та спеціалістів.

Список літератури

- 1 Державний стандарт України. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. ДСТУ 2843-94.
- 2 https://uk.wikipedia.org/wiki/Електричний_заряд.
- 3 <https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/> Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary.

References (transliterated)

- 1 Derzhavnyi standart Ukrainy. Elektrotehnika. Osnovni poniattia. Terminy ta vyznachennia. DSTU 2843-94.
- 2 https://uk.wikipedia.org/wiki/Electrychnyi_zaryad.
- 3 <https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/> Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary.

Надійшла (received) 10.03.25

Відомості про авторів / About the authors

Марков Владислав Сергійович (Markov Vladyslav Sergiyovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри загальної електротехніки, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0703-0918>, e-mail: vladyslav.markov@khpі.edu.ua.

Гончаров Євген Вікторович (Honcharov Yevgen Viktorovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри загальної електротехніки; м. Харків; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1924-8906>; e-mail: yevhen.honcharov@khpі.edu.ua.

Поляков Ігор Володимирович (Polyakov Igor Volodymyrovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри загальної електротехніки, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9329-1705>, e-mail: ihor.v.poliakov@khpі.edu.ua.

Крюкова Наталія Валеріївна (Kriukova Nataliya Valeriivna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри загальної електротехніки; м. Харків; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4600-1159>, e-mail: nataliia.kriukova@khpі.edu.ua.