



ЛАВРІНЕНКО
Ольга Валеріївна
асистент кафедри
теоретичні основи
Електротехніки,
НТУ «ХП»
lavr.ol.va@gmail.com
(м. Харків)

ПЕРІОДИЗАЦІЯ РОЗВИТКУ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ В УКРАЇНІ 1930 р. – ПОЧАТОК ХХІ ст.

У статті висвітлено становлення та розвиток теоретичної електротехніки в Україні впродовж ХХ ст. – початку ХХІ ст. З'ясовано, що початкові дослідження в галузі теоретичної електротехніки розгорнулися на базі технічних вишів України ще на початку ХХ ст. і стали передумовами для становлення цього напрямку. Однак системного характеру вони набули зі створенням спеціалізованих кафедр, що визначило початок першого етапу. Організація Інституту електротехніки Академії наук УРСР дало змогу значно розширити наукові дослідження з теоретичної електротехніки. Характерною ознакою першого етапу стало формування теоретичної електротехніки як навчальної дисципліни, розроблення термінологічного апарату та виникнення наукових шкіл в галузі теоретичної електротехніки. Другий етап розвитку теоретичної електротехніки в Україні припадає на початок 1960–х рр.–1990 р. і характеризується диференціацією і формуванням нових наукових напрямів теоретичної електротехніки. У третьому етапі можна виділити два основні періоди: перший тривав впродовж 1991–2005 рр. і характеризувався освоєнням нових наукових напрямів та практичних задач теоретичної електротехніки в умовах розриву тісних економічних та технічних зв'язків з республіками колишнього Радянського Союзу та другий період 2006–2017 рр., якому притаманне поступове формування та розвиток новітніх теоретичних та технічних напрямків й задач, спрямованих на забезпечення потреб держави у високотехнологічній електротехнічній продукції.

Ключові слова: історія науки й техніки, теоретична електротехніка, історичний період, періодизація, термінологічний апарат, навчальна дисципліна, спеціалізована кафедра, Інститут електродинаміки НАН України, НТУ «ХП».

THE PERIODIZATION OF THE DEVELOPMENT OF THEORETICAL ELECTRICAL ENGINEERING IN UKRAINE IN 1930 – THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY

The article covers the formation and development of theoretical electrical engineering in Ukraine during the twentieth century – beginning of the XXI century. It is found that the initial research in the field of theoretical electrical engineering were grounded on the basis of technical universities of Ukraine in the early twentieth century and became the prerequisites for this direction. However, they acquired a systemic character with the creation of specialized departments, which determined the beginning of the first stage. Organization of the Institute of Electrical Engineering of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR gave a chance to expand significantly the scientific research in theoretical electrical engineering. The characteristic feature of the first stage was the formation of theoretical electrical engineering as a discipline, the development of terminology apparatus and the emergence of scientific schools in the field of theoretical electrical engineering. The second stage of development of theoretical electrical engineering in Ukraine dates back to the early 1960's – 1990 and is characterized by differentiation and formation of new scientific directions of theoretical electrical engineering. In the third stage, there are two main periods: the first lasted during 1991–2005 and was characterized by the development of new scientific directions and practical problems of theoretical electrical engineering in terms of breaking close economic and technical ties with the republics of the former Soviet Union and the second period 2006–2017, which is characterized by the gradual formation and development of new theoretical and technical directions and tasks aimed at meeting the needs of the state for high-tech electrical products.

Keywords: *history of science and technology, theoretical electrical engineering, historical period, periodization, terminological apparatus, academic discipline, specialized department, Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine, NTU «KhPI».*

ПЕРИОДИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ В УКРАИНЕ 1930 г. – НАЧАЛО XXI в.

В статье освещено становление и развитие теоретической электротехники в Украине в период XX в – начало XXI в. Выяснено, что начальные исследования в области теоретической электротехники развернулись на базе технических ВУЗов Украины еще вначале XX в. и стали предпосылками для становления этого направления. Однако системный характер они приобрели с созданием специализированных кафедр, что определило начало первого этапа. Организация Института электротехники Академии наук УССР позволило значительно расширить научные исследования по теоретической электротехнике. Характерным признаком первого этапа стало формирование теоретической электротехники как учебной дисциплины,

розробка термінологічного апарату і виникненням научних шкіл в області теоретичної електротехніки. Другим етапом розвитку теоретичної електротехніки в Україні є початок 1960-х рр.–1990 рр. і характеризується диференціацією і формуванням нових наукових напрямків дослідження по теоретичній електротехніці. В третьому етапі можна виділити два основні періоди: перший тривав в період 1991–2005 рр. і характеризується освоєнням нових наукових напрямків і практичних завдань теоретичної електротехніки в умовах розриву тісних економічних і технічних зв'язків з республіками колишнього Радянського Союзу і другим періодом 2006–2017 рр., якому притаманне поступове формування і розвиток найновіших теоретичних і технічних напрямків і завдань, спрямованих на забезпечення потреб держави в високотехнологічній електротехнічній продукції.

Ключові слова: *історія науки і техніки, теоретична електротехніка, історичний період, періодизація, термінологічний апарат, навчальна дисципліна, спеціалізована кафедра, Інститут електродинаміки НАН України, НТУ «ХПІ».*

Постановка проблеми. Важливим інструментарієм історичного дослідження є створення періодизації проблеми. Вивчення матеріалу на достатньо тривалому часовому інтервалі є більш ефективним, якщо виділити окремі періоди, які мають власні характерні риси. Це сприятиме більш глибокому розкриттю закономірностей розвитку історичних процесів. У дослідженні становлення науки про електрику на теренах України впродовж ХХ ст. було використано метод періодизації, що дало змогу встановити особливості формування теоретичної електротехніки як науки та навчальної дисципліни, виявити визначальні ознаки розвитку цього напрямку в системі Національної Академії наук України та на базі вищих технічних навчальних закладів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Простежити особливості розвитку напрямку теоретичної електротехніки в Україні дозволяє фундаментальна праця за загальною редакцією І.О. Глебова [1, с. 83–105], де проведена спроба періодизації електротехніки. У монографії систематизовано великий обсяг матеріалу і окремий розділ присвячено розвитку теоретичної електротехніки. До проблеми періодизації електротехніки зверталася дослідниця О.Д. Симоненко [2, с. 91–112]. Авторка підкреслила важливість

методу періодизації в історико–технічних дослідженнях і запропонувала схему періодизації електротехнічної науки, де виокремила три основні етапи розвитку: перший етап, що охопив 1830–1870 рр., характеризується виникненням залученням теоретичних знань фізики для розвитку винахідницької діяльності в галузі електротехніки; другий етап з 1870 р. по 1890 р. незважаючи на досить невеликий термін (всього двадцять років) позиціонується О.Д. Симоненко, як важливий етап виникнення спеціальних електротехнічних знань. І третьому етапу з 1890 р. по 1920 р. притаманні такі риси, як становлення електротехнічної науки, що стає основою для розвитку промисловості. Але наведена класифікація потребує розширення і додаткового уточнення. Періодизація розвитку електротехнічної галузі України представлена у монографії О.Є. Тверитникової [3, с. 20–22].

Мета і завдання дослідження – на основі залучення наукової літератури удосконалити періодизацію розвитку теоретичних основ електротехніки в Україні, виокремити та обґрунтувати основні етапи накопичення знань в галузі електрики і магнетизму, виявити події та явища, що стали ключовими в становленні електротехніки як наукового напрямку в Україні впродовж ХХ ст. – початку ХХІ ст.

Виклад основного матеріалу. Теоретична електротехніка, як самостійна наукова дисципліна сформувалась внаслідок синтезу фізичних уявлень про електричні та магнітні поля, електричні ланцюги, математичні методи для дослідження та розрахунку електромагнітних явищ в технічних пристроях та системах. Історія розвитку теоретичної електротехніки невіддільна від розвитку електротехніки та фізики, оскільки відкриття нових фізичних явищ та законів одночасно призводило до появи нових електротехнічних пристроїв [4].

Теоретична електротехніка досліджує електричні, магнітні та електромагнітні явища та процеси в різних фізичних середовищах, складних технічних системах та пристроях, вивчає закони, яким вони підлягають та фізичні особливості цих явищ та процесів. На основі цих законів вчені розробляють конкретні математичні та фізичні моделі, нові методи аналізу та

синтезу з метою створення сучасних та вдосконалення існуючих електротехнічних систем і пристроїв, та для подальшого забезпечення ефективного практичного використання в них енергії електромагнітного поля. Теоретична електротехніка поступово сформувалася, як самостійна наукова галузь, в результаті синтезу фізичних уявлень про електричні та магнітні поля та прикладних математичних методів дослідження та розрахунку електромагнітних явищ в різноманітних технічних пристроях [5, с. 86].

Наукові основи електротехніки почали складатися наприкінці XVIII ст. з появою перших фундаментальних законів. Незважаючи на те, що у цей час у науці панувала механіка, дослідження електричних і магнітних явищ поширювалися. Це підтверджувалося діяльністю таких учених як Г. Кавендіша, У. Гільберта, С. Грея, Б. Франкліна, Г.В. Ріхмана, М.В. Ломоносова, П. Мушенбрука та ін. Після ствердження Ф.У. Епіноса про спорідненість електричних і магнітних явищ та пояснення теорії біполярного електричного флюїду, яке він обґрунтував у праці 1759 р., відбувався досить стрімкий розвиток теорії електрики [6, с. 170].

Було розпочато кількісне вивчення електричних явищ Ш. Кулоном, який запропонував фундаментальний закон електростатики – закон взаємодії електричних зарядів. Встановлено низку основних положень: закон взаємодії електричних струмів А. Ампером та закон дії струму на магніт Ж.Б. Біо Ф. Саваром. Крім того Г.С. Омом запропоновано основний закон електричного кола, М. Фарадеєм – закон електролізу, Д.П. Джоулем – закон теплової дії струму та К. Гауссом теорема електростатики. Крім того відкрито явище електромагнітної індукції (М. Фарадей, 1831 р.) та закономірності розподілу електричного струму в розгалуженому колі (Г. Кірхгоф, 1845 р.). Важливими досягненнями цього етапу було встановлення електричної природи магнетизму [7, с. 63–65] (табл. 1).

Також необхідно підкреслити, що в цей період плідно працював український вчений С. Стубелевич, який досліджував різні питання магнетизму, статичної електрики у Вільнюському університеті [8, с. 65].

Подальший розвиток теорії електрики пов'язаний з дослідженнями М. Фарадея, який внаслідок експериментальної перевірки принципу збереження енергії відкрив два фундаментальних положення: закон індукції і закон взаємодії магнетизму і світла. Це відкриття було дуже важливим для розуміння електромагнітних явищ і основою для створення теорії електромагнітного поля [2].

Наступним кроком у розвитку науки про електрику були дослідження Ч.П. Штейнмеца, який розробив теоретичні основи використання пристроїв змінного струму та теорію методів їх розрахунків. Символічний метод розрахунку кіл змінного струму, запропонований вченим, знайшов застосування при аналізі роботи асинхронних електродвигунів [9].

Отже, ретельний аналіз розвитку науки про електрику впродовж XVIII ст. – XIX ст. дозволяє стверджувати, що наукові дослідження вчених цього періоду стали основою для формування окремих розділів теоретичної електротехніки, зокрема дослідження А. Ампера, Г.С. Ома, Г. Кірхгофа сприяли становленню теорії електричних кіл. У результаті узагальнення висновків М. Фарадея, Дж. Максвела, Г. Герца сформувалася теорія електромагнітного поля. Роботи американського вченого, німецького походження Ч.П. Штейнмеца дозволили виокремитися теорії електричних кіл змінного струму. Теорія і методи розрахунку перехідних процесів сформувалася внаслідок теоретичних розвідок О. Хевісайда, П.С. Лапласа, Ж.М. Дюамеля.

В Україні передумовою зародження напряму теоретичної електротехніки була діяльність учених вищої технічної школи [10]. Вже наприкінці XIX ст. – початку XX ст. на базі вищих технічних навчальних закладів Києва, Харкова, Одеси та Катеринослава відбувалося становлення системних наукових досліджень у галузі теоретичної електротехніки. І, хоча дослідження проводилися вченими–одинаками, їхня діяльність сприяла створенню потужних наукових осередків в царині теоретичної електрики у подальші роки.

У Харківському технологічному інституті (ХТІ) з 1892 р. викладання електротехніки розпочав професор фізики О.К. Погорелко та професор

електрохімії М.П. Клобуков. Найвагоміший внесок в розвиток теоретичної електротехніки в ХТІ зробив П.П. Копняєв. Свою роботу в інституті він розпочав у 1898 р. і відразу вчений впровадив до навчального плану низку дисциплін електротехнічного профілю. Важливим результатом плідної діяльності П.П. Копняєва була серія фундаментальних теоретичних праць, що стали практично першими в Україні працями з загальної електротехніки, теорії електричних машин постійного і змінного струму, електричних вимірювань, електричної тяги, електричного устаткування [3].

Становлення електротехнічної освіти та розвиток теоретичних досліджень в Київському політехнічному інституті пов'язано з ім'ям вченого М.А. Артем'єва. Він був першим завідувачем кафедри електротехніки в інституті яка була заснована у 1900 р. та брав участь у створенні електротехнічної лабораторії високої напруги 100 кВ. Під час роботи на кафедрі, М.А. Артем'єв захистив докторську дисертацію і у 1909 р. опублікував підручник з електротехніки.

Кафедра електротехніки у Катеринославському вищому гірничому училищі була заснована 18 лютого 1906 р. Розширення досліджень кафедри відбувалося за ініціативи Г.Є. Євреїнова, який враховуючи потреби регіону, зосередився на гірничій електротехніці. Під його керівництвом сформувався новий науковий напрям – дослідження в галузі гірничої електротехніки, відбувалася підготовка інженерів за новою спеціалізацією. Вчений був автором праць, що висвітлюють теоретичні питання електроприводу гірничих машин і механізмів, підземного електромеханічного обладнання [11].

Електротехнічні дослідження в Одеському політехнічному інституті започаткували у 1918 р. Л.І. Мандельштам та М.Д. Папалексі, вони викладали студентам такі базові курси як фізика, метрологія, теоретична електротехніка та теорія електромагнітних коливань [12, с. 34–35].

Важливе значення для становлення теоретичної електротехніки наприкінці ХІХ ст. – початку ХХ ст. та розвитку досліджень у подальші роки в Україні мала діяльність учених Львівської політехніки. Кафедра електротехніки

Національного університету (НУ) «Львівська політехніка» була заснована 27 жовтня 1890 р. та мала в своєму доробку значні фундаментальні теоретичні, методичні та практичні досягнення, викладені в роботах таких видатних науковців як Р. Дзеслевський, С. Фризе, К. Олеарський, В. Круковський та Г. Сокольницький [13].

Отже, наприкінці XVIII ст. та впродовж XIX ст. було закладено базу для подальшого розвитку електротехнічної науки. Передумовами зародження наукових досліджень у галузі теоретичної електротехніки в Україні була діяльність науковців технічних інститутів країни, які стали авторами перших теоретичних праць з різних питань електротехніки та ініціаторами створення спеціалізованих наукових лабораторій.

Початок формування напряму теоретичної електротехніки, як фундаментальної наукової та навчальної дисципліни в Україні, віднесено до 1930 р. Основними характеристиками першого етапу слід вважати формування мережі електротехнічних кафедр на базі вищих навчальних закладів політехнічної освіти та перші спроби систематизації теоретичних знань, накопичених внаслідок методичної та практичної роботи вчених–електротехніків технічних вишів України. В цей час відбувалося організаційне становлення напряму, що сприяло поживленню наукових досліджень та розширенню дослідної тематики.

Відкриття першого спеціалізованого електротехнічного закладу в Україні – Харківського електротехнічного інституту (ХЕТІ), а також створення кафедр теоретичних основ електротехніки (ТОЕ) в КПІ та ХЕТІ дали змогу значно розширити спектр електротехнічних спеціальностей та поглибити наукові дослідження. Зокрема, в ХЕТІ під керівництвом О.М. Данилевського та О.М. Ефроса досліджувалися проблеми операційного числення. Вченими була розвинута ідея англійського вченого О. Хевісайда, який запропонував основні положення операційного числення та теорему розкладання. Фундаментальні результати спільної наукової роботи О.М. Данилевського та О.М. Ефроса над пошуком універсального методу розв'язання задач розрахунку перехідних

процесів в колах енергосистем різного класу були викладені вченими в монографії «Операційні обчислення і контурні інтеграли», у якій обґрунтовано застосування спеціальних математичних методів для розв'язання важливих теоретичних задач електротехніки [14, с. 183–213].

В цей час в ХЕТІ відбувалася формування теоретичних основ електротехніки як навчальної дисципліни. Завідувач кафедри ТОЕ О.П. Сукачов розпочав формування спеціальних навчальних програм курсу, розробку розширеного лабораторного практикуму та впровадження цієї дисципліни як додаткової при навчанні в аспірантурі [15, арк. 21–27]. Упровадження курсу ТОЕ до навчальних планів відбувалося і в КПІ під керівництвом І.Д. Горбачевського.

Однак, більш інтенсивного розвитку напрям теоретичної електротехніки набув в Україні у 1950–ті–1960–ті рр. Фундаментальні дослідження в галузі електротехніки проводилися Інститутом електротехніки АН УРСР. Це наукові розвідки в галузі: електричних станцій та енергосистем, автоматики та електроапаратури, електровимірювань, електричних машин та електроприводу. Наукомісткі дослідження потребували значної теоретичної основи і тому було створено окремий відділ теоретичної електротехніки [16, с. 6–7].

В Інституті електродинаміки АН УРСР (ІЕД) Г.Є. Пуховим було започатковано новий науковий напрям – основи теорії квазіаналогових систем. Численні теоретичні дослідження вченого сприяли створенню нової установи – Інституту проблем моделювання в енергетиці АН УРСР.

Розвиток напрямку теоретичної електротехніки продовжувався на профільних кафедрах ВТНЗ. У Львівському політехнічному інституті Г.Є. Пуховим, Б.І. Блажкевичем та С.І. Кирпатовським проводилися роботи зі створення нових методів розрахунків електричних ланцюгів та розроблення теорії електричних машин; створення основ теорії електричних давачів та розроблення теорії електричних кіл з багатополюсними елементами [17].

Теоретичні роботи В.Л. Беніна в ХІІІ стали основою для розвитку напрямку автоматичного управління та регулювання потужності, вимірювання та

перетворювання в енергетичних системах, сприяли новим розробкам в галузі діагностування дизель-генераторів та двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Значну і дуже важливу роботу зі створення електротехнічної термінології проведено О.П. Сукачовим. Його проект, який охоплював всю систему термінів з теоретичної електротехніки, складався з 233 визначень та понять, був прийнятий за основу для збірника рекомендованих термінів «Термінологія теоретичної електротехніки» 1958 р. [18].

Другий етап обмежується розвитком теоретичної електротехніки в Україні 1960–1990 рр. Це обумовлено тим, що у цей час відбувається диференціація напрямів розвитку електротехнічної галузі і відповідно до цього зростають вимоги до фахівців. Автоматизація виробництва, залучення обчислювальної техніки сприяють розширенню теоретичних досліджень із застосуванням сучасних математичних методів. Крім того створюються і впроваджуються нові методики організації навчального процесу, що сприяє переосмисленню ролі дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» у підготовці інженерів-електриків та науковців.

У цей час внесок у розвиток теоретичної електротехніки в Україні зробили такі науковці, як: О.М. Мілях (теорія індуктивно-ємнісних перетворювачів джерел напруги в джерела струму); М.Г. Максимович (розробка матричних методів дослідження складних електричних кіл і теорія нееквівалентних перетворень електричних кіл); В.П. Сігорський (розробка теорії алгоритмів аналізу транзисторних схем, теорія і синтез багатозначних елементів і структур дискретної техніки); О.В. Тозоні (розробка методів розрахунку електромагнітних кіл у нелінійних середовищах за допомогою ЕОМ); В.Б. Клепиков (основи теорії нового класу електромеханічних систем); О.О. Маєвський (інтегральні методи досліджень вентильних ланцюгів і засоби підвищення енергетичних показників глибокорегульованих напівпровідникових перетворювачів); Є.І. Сокол (розроблення мікропроцесорних систем управління напівпровідниковим перетворювачами електроенергії); В.С. Руденко та В.І. Сенько (розвинуто основи теорії перетворювальної техніки, теорії електромагнітних процесів у

напівпровідникових перетворювачах); В.С. Перхач (математичне моделювання в електроенергетиці) та ін.

У третьому етапі можна виділити два основні періоди: перший тривав впродовж 1991–2005 рр. і характеризувався освоєнням нових наукових напрямів та практичних задач теоретичної електротехніки в умовах розриву тісних економічних та технічних зв'язків з республіками колишнього Радянського Союзу. В складних економічних та політичних умовах початку 1990–х рр. наукові співробітники НАН України та вищої електротехнічної школи намагалися зберегти та розвинути накопичений інтелектуальний капітал з урахуванням нових практичних потреб України.

Другий період 2006–2017 рр. – характеризується поступовим формуванням та розвитком новітніх теоретичних та технічних напрямків й задач, спрямованих на забезпечення потреб держави в високотехнологічній електротехнічній продукції, в умовах швидкого економічного росту електроенергетичного комплексу України. Наукові колективи дослідних та навчальних закладів працюють над подальшим розвитком теоретичних та прикладних досліджень в галузі теоретичної електротехніки і спрямовані на вирішення актуальних проблем моделювання та прогнозування дії електромагнітного поля, захисту навколишнього середовища від електромагнітного впливу об'єктів енергетики та впровадження та практичну реалізацію важливих наукових результатів інноваційного розвитку промислового комплексу України.

На сучасному етапі наукова школа академіка НАН І.М. Чиженка розвиває напрям напівпровідникових перетворювачів електричної енергії компенсаційного типу. Вдосконалення напівпровідникових перетворювачів модуляційного типу на кафедрі теоретичної електротехніки НТУ «КПІ» розвивається під керівництвом професора І. В. Сенька. Особлива увага вчених приділяється розвитку теорії системного аналізу електромагнітних процесів у НП на основі розробки методів моделювання таких процесів, створення нових структур інверторів напруги та алгоритмів керування ними [19].

Вчені наукової школи члена–кореспондента НАН України А.А. Щерби, розробляють математичні і фізичні моделі аналізу неоднорідних електричних полів і процесів старіння структурно модифікованої поліетиленової ізоляції [20, арк. 24], а також наукову концепцію формування багатоканальних електроіскрових розрядів у гетерогенних середовищах. Під керівництвом А.А. Щерби також ведуться розробки методів математичного і фізичного моделювання електрофізичних процесів, що виникають у діелектричних, провідних і магнітних середовищах під дією електромагнітного поля [21, арк. 14].

На кафедрі НУ «Львівська політехніка» під керівництвом професора П.Г. Стахіва продовжує діяльність наукова школа математичного моделювання динамічних процесів складних електричних кіл та електротехнічних систем [22].

Низку перспективних досліджень проводять науковці кафедри ТОЕ НТУ «ХП», зокрема дослідження з вивчення та аналізу квазістаціонарних магнітних полів в неоднорідних середовищах з використанням розривних функцій (В.М. Боев); розробку систем автоматичного керування та діагностики різних технічних об'єктів (А.М. Борисенко); математичне моделювання електрофізичних процесів в неоднорідних середовищах з нелінійними електричними параметрами під впливом електромагнітних полів (М.М. Резинкіна) [23, с. 4–7].

Фундаментальні теоретичні дослідження проводяться науковцями ІЕД НАН України [24]. Так під керівництвом Н.А. Шидловської розвинуто теорію аналізу нелінійних електричних кіл з тепловими втратами, розроблено аналітичні методики синтезу схем нового класу електричних кіл, вперше одержані структури, схеми, параметри елементів електричних кіл коригуючих пристроїв із урахуванням однофазного активного вхідного опору для стаціонарних і нестаціонарних навантажень постійного струму та нелінійних навантажень.

За ініціативи В.Г. Кузнєцова розроблені математичні моделі аналізу частотних характеристик трифазних систем з несиметричною структурою, запропоновані нові схематичні рішення силових багатофазних фільтрів [25,

арк. 7]. Ю.П. Ємцем проведені аналітичні дослідження формування сил у діелектричній системі, що складається з двох паралельних один одному довгих циліндрових тіл кругового перерізу, розташованих в однорідному поперечному електричному полі.

Під керівництвом К.А. Липківського розроблено оригінальну методику розрахунку миттєвих та інтегральних значень струмів, напруг і енергетичних показників імпульсних перетворювачів напруги довільної періодичної форми в ланцюгах високого порядку за допомогою рівнянь другого порядку шляхом декомпозиції та матричного припасування [26, с. 47].

Висновки. Отже, у розвитку теоретичної електротехніки в Україні доцільно виокремити три основні етапи: I етап (1930–1960 рр.) – це становлення теоретичної електротехніки як самостійної наукової та навчальної дисципліни; II етап (1961–1990 рр.) відзначається створенням спеціальних електротехнічних знань як основи розвитку електротехнічної промисловості; III етап (1991–2017 рр.) – це сучасний етап розвитку теоретичної електротехніки в Україні, який було умовно поділено на два періоди. Виділення цих етапів обумовлене тим, що кожен з них мав певний вплив на формування напряму теоретичної електротехніки в Україні. Узагальнення основних відомостей та одержаної наукової інформації розкрито в періодизації історичного розвитку теоретичної електротехніки (табл.1), з урахуванням початкового етапу накопичення знань, який має важливе значення для формування прикладного апарату теоретичної електротехніки як самостійної науки.

Таблиця 1. Основні етапи становлення і розвитку теоретичної електротехніки в Україні (1930 р. – початок ХХІ ст.)

Етапи	Характеристика етапу	Основні події досліджуваного періоду
<p>Створення наукового фундаменту для розвитку електротехнічної галузі</p> <p><u>1759 – 1889 рр.</u></p>	<p>Встановлення закономірностей у галузі статичної електрики і магнетизму.</p> <p>Відкриття основних законів електричного струму, електромагнітного кола.</p> <p>Формування електромагнітної теорії. Формування теоретичної бази за допомогою розвинутого математичного апарату</p>	<p>1759 р. – перша спроба математичного опису електричних на магнітних явищ, Ф.У. Епінус</p> <p>1785 р. – основний закон взаємодії електричних зарядів, Ш. Кулон</p> <p>1800 р. – перше джерело постійного струму, А. Вольта</p> <p>1820 р. – закон взаємодії електричних струмів, А. Ампер</p> <p>1826 р. – основний закон електричного кола, Г. Ом.</p> <p>1830 р. – основна теорема електростатики, К. Гаусс</p> <p>1831 р. – відкриття явища електромагнітної індукції, М. Фарадей</p> <p>1845 р. – відкриття закономірностей розподілу електричного струму в розгалуженому колі, Г. Кірхгоф</p> <p>1873 р. – «Трактат з електрики і магнетизму», Дж. Максвелл</p> <p>1880–1882 р. Роботи І. Пулюя присвячені катодним променям</p> <p>1888 р. – експериментально доведено існування електромагнітних хвиль, Г. Герц</p> <p>1889 р. – Символічний метод розрахунку кіз змінного струму Ч.П. Штейнмец</p>
<p>Передумови розвитку теоретичної електротехніки в Україні</p> <p><u>1890 – 1929 рр.</u></p>	<p>Створення мережі вищих технічних навчальних закладів в Україні.</p> <p>Зародження наукових колективів з електротехніки, розвиток електротехнічної науки з розвиненою дослідницькою структурою.</p> <p>Видання перших навчальних посібників</p> <p>Відкриття електротехнічних лабораторій</p>	<p>Технічна Академія м. Львів</p> <p>1890 р. – створення кафедри електротехніки, перший керівник Р. Дзеслевський</p> <p>1892 р. – створення першої електротехнічної лабораторії</p> <p>1898 р. – видання першого академічного підручника Р. Дзеслевський «Енциклопедія електротехніки»</p> <p>1906 р. – відкриття електротехнічного відділення</p> <p>1922 р. – захист першої дисертації з теоретичної електротехніки С.Фрізе</p> <p>Харківський технологічний інститут</p> <p>1892 р. – початок викладання електротехніки, О.К. Погорелко, М.П. Клобуков</p> <p>1901 р. – створення кафедри електротехніки</p> <p>1900–1912 – видання П.П. Копняєвим серії книг з електротехніки («Курс електротехніки» 1900 р.; «Електротехніка» Ч.1, Ч.2; 1902 р. «Початок електротехніки», 1904 р.; «Курс електротехніки: змінний струм» 1909 р.; «Курс електротехніки: основи електрики та магнетизму» 1912 р.)</p> <p>1907 р. – модернізація і розширення електротехнічної лабораторії</p> <p>1921 р. – відкриття електротехнічного факультету</p> <p>Київський політехнічний інститут</p> <p>1900 р. – створення кафедри електротехніки,</p> <p>1901 р. – відкриття першої електротехнічної лабораторії високої напруги 100 кВ</p> <p>1909 р. – М.А. Артем'єв опублікував підручник з електротехніки, який базувався на його лекційному курсі.</p> <p>1918 р. – відкриття електротехнічного факультету О.О. Скоморохов</p> <p>Катеринославське вище гірниче училище</p> <p>1906 р. – створення кафедри електротехніки</p> <p>1921 р. – відкриття електромеханічного відділення (Г.Є. Євреїнов)</p> <p>Одеський політехнічний інститут</p> <p>1918–1922 рр. – викладання електротехнічних дисциплін на кафедрі фізики Л.І. Мандельштам, М.Д. Папалексі</p>

<p>I етап</p> <p>Становлення теоретичної електротехніки як самостійної наукової та навчальної дисципліни в Україні</p> <p><u>1930–1960 рр.</u></p>	<p>Відкриття спеціалізованих кафедр з теоретичної електротехніки</p> <p>Формування лекційних курсів, розробка методичних посібників</p> <p>Формування термінологічного апарату дисципліни</p> <p>Формування основних наукових напрямів дослідження</p>	<p>1930 р. – відкриття Харківського електротехнічного інституту</p> <p>1930 р. – відкриття кафедри ТОЕ, (КПІ, керівник – І.Д. Горбачевський)</p> <p>1931 р. – відкриття кафедри ТОЕ (ХЕТІ, керівник П.П. Копняєв)</p> <p>1932–1939 рр. формування базових лекційних курсів з ТОЕ (ХЕТІ, О.П. Сукачов)</p> <p>1934 р. – видання багатотомної академічної роботи "Загальна електротехніка" (ЛПІ, С. Фризе)</p> <p>1933–1934 рр. – розширення електрот лабораторії (ЛПІ, В. Круковський)</p> <p>1935–1937 рр. – розробка тензорних та матричних методів розрахунку електричних кіл для аналізу режимів електросистем (ХЕТІ, О.М. Мілях)</p> <p>1937 р. – видання книги «Операційні обчислення і контурні інтеграли» (ХЕТІ, О.М. Данилевський, О.М. Ефрос)</p> <p>1939 р. – створення Інституту енергетики АН УРСР (В.М. Хрущов)</p> <p>1947–1950 рр. – інтенсивне становлення кафедри ТЗЕ, модернізація лекційних курсів (ЛПІ, Г.Є. Пухов)</p> <p>1945–1950 рр. – розробка теорії електричних кіл з багатополосними елементами (ЛПІ, Б.І. Блажкевич)</p> <p>1946 р. – розробка теорії вентильних компенсаційних перетворювачів (КПІ, І.М. Чиженко)</p> <p>1948–1953 рр. – розробка загальної системи понять теоретичної електротехніки та їх визначень (ХЕТІ, О.П. Сукачов)</p> <p>1951–1960 рр. – розробка теорії прохідного електричного чотириполюсника (ЛПІ, Ю.Т. Величко, ОАЗ, Е.В. Зелях)</p>
<p>II етап</p> <p>Послідовний плідний розвиток теоретичної електротехніки</p> <p><u>1961– 1990 рр.</u></p>	<p>Диференціація і формування нових наукових напрямів дослідження з теоретичної електротехніки</p>	<p>1953–1967 рр. – розробка матричних методів дослідження складних електричних кіл і теорія нееквівалентних перетворень електричних кіл (ЛПІ, М.Г. Максимович)</p> <p>1964–1970 рр. – розробка теорії алгоритмів аналізу транзисторних схем, теорія і синтез багатозначних елементів і структур дискретної техніки (КПІ, В.П. Сігорський)</p> <p>1964–1966 рр. – теорія індуктивно-ємнісних перетворювачів джерел напруги в джерела струму (ІЕД, О.М. Мілях)</p> <p>1966 р. – метод розрахунків перехідних процесів у ланцюгах електричних машин постійного та змінного струму (ЛПІ, Т.П. Губенко)</p> <p>1968 р. – розроблено теорію побудови автоматичних вимірювачів комплексних електричних величин, створено цифрові електричні мости змінного струму (ІЕД, Ф.Б. Гриневич)</p> <p>1964–1988 рр. – розробка методів розрахунку електромагнітних кіл у нелінійних середовищах за допомогою ЕОМ (Інститут Кібернетики АН УРС, О.В. Тозоні)</p> <p>1980 р. – розроблено наукові основи аналізу складних електромагнітних полів у надпотужних турбогенераторах (ІЕД, Г.Г. Счастливий та ін.)</p> <p>1980–ті рр. – математичне моделювання процесів електроенергетичних систем з вентильними пристроями (ЛПІ, В. С. Перхач)</p> <p>1985 р. – розроблено теорію, принципи побудови та створено нове покоління вимірювальних перетворювачів струму для електроенергетичних систем (ІЕД, Б.С. Стогній, Г.Г. Счастливий та ін.)</p>
<p>III етап</p> <p>Сучасний етап розвитку теоретичної електротехніки в Україні</p> <p><u>1991 – 2017 рр.</u></p>	<p>Становлення і розвиток української наукової школи з теоретичної електротехніки в перші роки незалежності.</p> <p>Нові наукові напрями досліджень в умовах інноваційного розвитку промислового комплексу України</p>	<p>1991–1996 рр. – розробка математичної моделі аналізу частотних характеристик трифазних систем з несиметричною структурою (ІЕД, В.Г. Кузнєцов)</p> <p>1992–1996 рр. – новий підхід до аналізу електромагнітних процесів в трифазних чотирипровідних системах з нелінійними навантаженнями (ІЕД, А.К. Шидловський)</p> <p>1995–2000 рр. – аналіз квазістаціонарних магнітних полів в неоднорідних середовищах з використанням розривних функцій (ХПІ, Боев В.М.)</p> <p>1996–2014 – математичне моделювання динамічних процесів електричних кіл та електротехнічних систем (ЛПІ, Стахів П.Г., Гоголюк О.П.)</p> <p>2001р. – розвинуто теорію аналізу нелінійних електричних кіл з тепловими втратами (ІЕД, Н.А. Шидловська)</p> <p>2001–... розробка теорії виникнення багатоканальних електророзрядних струмів (ІЕД, КПІ, Щерба А.А.)</p> <p>2007–... наукова концепція моделювання і чисельного розрахунку квазістаціонарних електричних полів енергетичних об'єктів (КПІ, ХПІ, Щерба А.А., Резинкіна М.М.)</p>

Список використаних джерел та літератури

1. История электротехники / под ред. И. А. Глебова. Москва: изд. МЭИ, 1999. 524 с.
2. Симоненко О. Д. Электротехническая наука в первой половине XX века: монография. Москва: Наука, 1988. 144 с.
3. Тверитникова О. Є. Зародження і розвиток науково–технічної школи професора П.П. Копняєва. Монографія. Харків: НТУ «ХП», 2010. 212 с.
4. Поливанов К. М. Очерки по истории развития энергетической техники. Развитие теоретической электротехники/ под редакцией Л. Д. Белькинда. Москва, Ленинград: Госэнергоиздат, 1956. 48 с.
5. Страхов С. В. Современное состояние и перспективы развития курса «Теоретические основы электротехники». *Электричество*. 1964. №4. С. 86–87.
6. Шендеровський В. А., Кравчук Л. В. З історії розвитку науки про електромагнетизм. *Вісник НТУ «ХП»*. 2008. № 53(25). С. 169–181.
7. Храмов Ю. А. История физики. Київ: Феникс, 2006. 1176 с.
8. Кравчук Л. В. Шендеровський В. А., Коростяна Н. П. Відкриття Стефана Стубелевича в галузі електродинаміки. *Вісник НТУ «ХП»*. 2009. № 48(17). С. 65–72.
9. Белькинд Л. Д. Чарлз Протеус Штейнмец (1867–1923). Серия: Научно–биографическая серия. Москва, 1965. 124 с.
10. Лавріненко О. В. Формування теоретичної електротехніки як фундаментальної наукової та навчальної дисципліни в Україні на початку ХХ ст. *Матеріали 18-ї Всеукраїнської наукової конференції «Актуальні питання історії науки і техніки»*. Краматорськ, 2019. С. 168–173.
11. Савчук В.С., Сях А.В. Георгій Євгенович Євреїнов – знакова постать гірничої науки. *Наддніпрянська Україна: історичні процеси, події, постаті*. Дніпропетровськ: Видавництво ДНУ. 2012. Вип 10. С.193–204.
12. Цымбал Е. И., Никулин В. В. Одесский политехнический институт: краткий исторический очерк (1918–1968). Киев, 1968. 222 с.
13. Лавріненко О. В. Наукова електротехнічна школа Львівського політехнічного інституту наприкінці ХІХ ст. – початку ХХ ст. *Virtus: Scientific Journal*. №38. 2019. С.172–176.
14. Эфрос А. М., Данилевский А. М. Операционные исчисления и контурные интегралы. Харьков, 1937. 383 с.
15. *Державний архів Харківської області*. Харківський електротехнічний інститут. Ф. Р–5404. Оп. 2. Спр. 18. 162 арк.
16. Демирчан К.С., Нетушил А.В. Развитие теоретических основ электротехники за 60 лет Советской власти. *Электричество*. 1977. №12. С.3–11.
17. Блажкевич Б.І. Основні методи аналізу лінійних електричних кіл. Київ: Видавництво АН УРСР, 1961. 280 с.
18. Сукачев А. П. Определение понятий, относящихся к области электромагнитных явлений и электрических и магнитных цепей. *Труды Харьковского политехнического института*. 1954. Т. 3. С. 79–140.
19. Сенько В. І., Михайленко В. В., Юрченко М. М., Юрченко О. М., Чуняк Ю. М. Аналіз електромагнітних процесів у колах з напівпровідниковими

перетворювачами з сімнадцятизонним регулюванням вихідної напруги. *Технічна електродинаміка*. Київ, 2016. № 5. С. 23–25.

20. *Науково–технічний архів ІЕД НАН України*. Звіт про діяльність Інституту електродинаміки АН України у 1991 р., Ф 263., Оп.1, Спр.709, 74 арк.

21. *Науково–технічний архів ІЕД НАН України*. Звіт про діяльність Інституту електродинаміки НАН України у 2012 р., Спр.1208, 200 арк.

22. Стахів П. Г., Козак Ю. Я., Гоголюк О. П. Підвищення ефективності алгоритмів побудови макромоделей об'єктів електроенергетичних систем. *Технічна електродинаміка*. Київ, 2014. № 5. С. 29–31.

23. Звіт з науково–дослідної роботи за 2015/2016 н. р. Поточне діловодство кафедри ТОЕ НТУ «ХП». 2016. 43 с.

24. Лаврінченко О. В. Розвиток теоретичної електротехніки в інституті Електродинаміки НАН України (1991–2017 рр.) «Гілея: науковий вісник»: збірник наукових праць. 2019. Випуск 144 (№5) Ч.1. Історичні науки. С. 63–69.

25. *Науково–технічний архів ІЕД НАН України*. Звіт про діяльність Інституту електродинаміки АН України у 1993 р., Спр.770, 42 арк.

26. Шидловський А. К., Липківський К. О. Розвиток досліджень по перетворенню та стабілізації параметрів електромагнітної енергії в Інституті електродинаміки НАН України. *Технічна електродинаміка*. Київ, 2007. № 3. С. 46–50.

References

1. (1999). *Istorija jelektrotehniki* / edited by Glebov, I. A. [History of Electrical Engineering]. Moscow, 524. [in Russian].

2. Simonenko, O. D. (1988). *Jelektrotehnicheskaja nauka v pervoj polovine XX veka: monografija*. [Electrotechnical science in the first half of the XX century: monograph]. Moscow. 184. [in Russian].

3. Tverytnykova, O. Ye. (2010). *Zarodzhennia i rozvytok naukovo–tekhnichnoi shkoly profesora P.P. Kopniaieva. Monohrafiia*. [The origin and development of scientific–technical school professor PP Kopnyaeva. Monograph.]. Kharkiv. 212. [in Ukrainian].

4. Polivanov, K. M. (1956). *Ocherki po istorii razvitija jenergeticheskoi tehniki. Razvitie teoreticheskoi jelektrotehniki/ pod redakciej L. D. Bel'kinda*. [Essays on the history of the development of energy technology. The development of theoretical electrical engineering / edited by L. D. Belkind.]. Moscow, Leningrad. 48. [in Russian].

5. Strahov, S. V. (1964). *Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija kursa «Teoreticheskie osnovy jelektrotehniki»* [Current status and development prospects of the course «Theoretical Foundations of Electrical Engineering»]. *Jelektrichestvo*. [Electricity]. Moscow. 4. 86–87. [in Russian].

6. Shenderovskiy, V. A., & Kravchuk, L. V. (2008). *Z istorii rozvytku nauky pro elektromahnetyzm*. [From the history of the development of the science of electromagnetism]. *Visnyk NTU «KhPI»*. [Bulletin of NTU "KhPI"]. Kharkiv. 53(25). 169–181. [in Ukrainian].

7. Hramov, Ju. A. (2006). *Istorija fiziki*. [History of Physics]. Kyiv. 1176. [in Russian].

8. Kravchuk, L. V., Shenderovskiy, V. A., & Korostiana, N. P. (2009). *Vidkryttia Stefana Stubelevycha v haluzi elektrodynamiky*. [Opening of Stefan Stubelevich in the field of electrodynamics]. *Visnyk NTU «KhPI»*. [Bulletin of NTU "KhPI"]. Kharkiv. 48(17). 65–72. [in Ukrainian].

9. Bel'kind, L. D. (1965). *Charlz Proteus Shtejnmech (1867–1923)*. *Serija: Nauchno–biograficheskaja serija* [Charles Proteus Steinmets (1867–1923). Series: Biographical Series]. Moscow. 124. [in Russian].

10. Lavrinenko, O. V. (2019). *Formuvannia teoretychnoi elektrotekhniky yak fundamentalnoi naukovoï ta navchalnoi dystsypliny v Ukraini na pochatku XXI st.* [Formation of theoretical electrical engineering as a fundamental scientific and educational discipline in Ukraine at the beginning of the twentieth century] *Materialy 18–i Vseukrainskoi naukovoï konferentsii «Aktualni pytannia istorii nauky i tekhniky»* [Proceedings of the 18th All–Ukrainian Scientific Conference «Current issues of History of Science and Technology»] Kramatorsk. 168–173. [in Ukrainian].

11. Savchuk, V. S., & Siukh, A. V. (2012). Heorhii Yevhenovych Yevreinov – znakova postat hirnychoï nauky. [Georgy Yevreinov is a landmark figure in mining science]. *Naddniprianska Ukraina: istorychni protsesy, podii, postati*. [Georgy Yevreinov is a landmark figure in mining science]. Dnipropetrovsk. 10. 193–204. [in Ukrainian].

12. Cymbal, E. I., & Nikulin, V. V. (1968). *Odesskij politehničeskij institut: kratkij istoričeskij očerok (1918–1968)* [The Odessa Polytechnic Institute, historically brief essay (1918–1968)]. Kiev. 222. [in Russian].

13. Lavrinenko, O. V. (2019) *Naukova elektrotekhnichna shkola Lvivskoho politekhnichnoho instytutu naprykintsi XIX st. – pochatku XX st.* [Scientific Electrotechnical School of Lviv Polytechnic Institute at the end of XIX century. – beginning of the XX century.] *Virtus: Scientific Journal*. 38. 172–176. [in Ukrainian].

14. Jefros, A. M., & Danilevskij, A. M. (1937). *Operacionnyje ischislenija i konturnyje integraly*. [Operational calculations and contour integrals]. Har'kov. 383. [in Russian].

15. *Derzhavnyi arkhiv Kharkivskoi oblasti.* [State archive of Kharkiv region. Kharkov]. *Kharkivskiy elektrotekhnichnyi instytut*. [Kharkov Electrotechnical Institute]. F. P–5404, Op. 2, Spr. 18, Ark. 162. [in Russian].

16. Demirchan, K.S., & Netushil, A.V. (1977). *Razvitie teoreticheskikh osnov jelektrotehniki za 60 let Sovetskoj vlasti*. [The development of the theoretical foundations of electrical engineering over 60 years of Soviet power]. *Jelektrichestvo*. [Electricity]. Moscow. 12. 3–11. [in Russian].

17. Blazhkevych, B.I. (1961). *Osnovni metody analizu liniinykh elektrychnykh kil*. [Basic methods of analysis of linear electric circuits]. Kiev. 280. [in Ukrainian].

18. Sukachev, A. P. (1954). *Opredelenie ponjatij, odnosjashhihsja k oblasti jelektromagnitnyh javlenij i jelektricheskikh i magnitnyh cepej*. [Definition of concepts related to the field of electromagnetic phenomena and electrical and magnetic circuits]. *Trudy Har'kovskogo politehničeskogo instituta*. [Proceedings of Kharkov Polytechnic Institute]. Kharkiv T. 3. 79–140. [in Russian].

19. Senko, V. I., Mykhailenko, V. V., Yurchenko, M. M., Yurchenko, O. M., & Chuniak, Yu. M. (2016). *Analiz elektromahnitnykh protsesiv u kolakh z napivprovodnykovyvy peretvoriuvachamy z simnadtsiatyzonnym rehuliuivanniam vykhidnoi napruhy* [Analysis of electromagnetic processes in circuits with semiconductor converters with seventeen-zone output voltage control] *Tekhnichna elektrodynamika*. [Technical electro-dynamics] Kiev. 5. 23–25. [in Ukrainian].

20. *Naukovo–tekhnichnyi arkhiv IED NAN Ukrainy*. [Scientific and technological archive IED NAS of Ukraine]. *Zvit pro diialnist Instytutu elektrodynamiky AN Ukrainy u 1991 r.* [Activity Report of the Institute of Electro-dynamics of the Academy of Sciences of Ukraine in 1991]. F. 263, Op. 1, Spr. 709, Ark. 74. [in Ukrainian].

21. *Naukovo–tekhnichnyi arkhiv IED NAN Ukrainy*. [Scientific and technological archive IED NAS of Ukraine]. *Zvit pro diialnist Instytutu elektrodynamiky AN Ukrainy u 2012 r.* [Activity Report of the Institute of Electro-dynamics of the Academy of Sciences of Ukraine in 2012] F. 263, Op. 1, Spr. 1208, Ark. 200. [in Ukrainian].

22. Stakhiv, P. H., Kozak, Yu. Ya., & Hoholiuk, O. P. (2014). *Pidvyshchennia efektyvnosti alhorytmiv pobudovy makromodelei ob'ektiv elektroenerhetychnykh system*. [Improving the efficiency of construction of macromodels of objects of power systems]. *Tekhnichna elektrodynamika*. [Technical electro-dynamics]. Kyiv. 5. 29–31. [in Ukrainian].

23. *Zvit z naukovo–doslidnoi roboty za 2015/2016 n. r.* [2015/2016 Research Report]. *Potochne dilovodstvo kafedry TOE NTU «KhPI»*. [Current office management of the Department of TOE NTU "KhPI"]. 43. [in Ukrainian].

24. Lavrinenko, O. V. (2019) *Rozvytok teoretychnoi elektrotekhniky v instytuti Elektrodynamiky NAN Ukrainy (1991–2017 rr.)* [Development of Theoretical Electrical Engineering at the Institute of Electro-dynamics of NAS of Ukraine (1991–2017)] «Hileia: naukovyi visnyk»: zbirnyk naukovykh prats. [Gilea: The Bulletin of the Scientific: Collection of Scientific Papers] Kyiv. 144 (1). 63–69.

25. *Naukovo–tekhnichnyi arkhiv IED NAN Ukrainy* [Scientific and technological archive IED NAS of Ukraine]. *Zvit pro diialnist Instytutu elektrodynamiky AN Ukrainy u 1993 r.* [Activity Report of the Institute of Electro-dynamics of the Academy of Sciences of Ukraine in 1993]. F. 263, Op. 1, Spr. 770, Ark. 42. [in Ukrainian].

26. Shydlovskiy, A. K., & Lypkivskiy, K. O. (2007). *Rozvytok doslidzhen po peretvorenniu ta stabilizatsii parametriv elektromahnitnoi enerhii v Instytuti elektrodynamiky NAN Ukrainy* [Development of research on transformation and stabilization of electromagnetic energy parameters at the Institute of Electro-dynamics of NAS of Ukraine.]. *Tekhnichna elektrodynamika*. [Technical electro-dynamics]. Kyiv. 3. 46–50. [in Ukrainian].

Рецензент:

**Бородай І.С., д.і.н., професор
Коваленко Н.П., д.і.н., с.н.с.**

Надійшла до редакції 19.11.2019 р.