

ДО 75-РІЧЧЯ ІНСТИТУТУ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ НАН УКРАЇНИ

О.В. Кириленко*, академік НАН України
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна.
E-mail: ied1@ied.org.ua

Стисло розглянуто історію та здобутки Інституту електродинаміки НАН України за 75 років його існування, пов'язані зі становленням і розвитком наукових досягнень в галузях енергетики, електротехніки та енергетичного машинобудування України. Бібл. 65.

Ключові слова: Інститут електродинаміки НАН України.

У цьому році виповнюється 75 років від дня створення Інституту електродинаміки НАН України. Перед тим, як зупинитися на основних результатах наукової діяльності інституту, варто зробити короткий екскурс до його історії [1]. 5 травня 1947 р. рішенням Ради Міністрів Української РСР Інститут енергетики АН УРСР був розділений на два самостійні інститути: Інститут електротехніки та Інститут теплоенергетики АН УРСР. З цього часу практично і починається історія Інституту електродинаміки НАН України. Новоутворений Інститут електротехніки до кінця 1947 р. повністю розгорнув свою роботу. На цей час у його складі вже було п'ять лабораторій: регулювання та моделювання, струмів високої частоти, електричних станцій і енергосистем, електричних вимірювань, автоматики і електроапаратури, а у 1948 р. інституту була передана ще електролабораторія у м. Харкові. На 1 січня 1948 р. в Інституті електротехніки працювало 57 співробітників, у тому числі 15 наукових працівників, 11 інженерів та 5 аспірантів.

Післявоєнна відбудова промисловості, в першу чергу електроенергетики, України вимагала широких наукових досліджень у різних галузях електротехніки, енергетичного машинобудування, розв'язання різноманітних проблем загальної енергетики України. Інститут очолив і всебічно розвивав проведення зазначених наукових досліджень. На 1 січня 1961 р. в інституті було вже 6 лабораторій, в яких працювало 180 співробітників основного штату та навчалася в аспірантурі 25 аспірантів. Наукові кадри інституту поповнювалися переважно за рахунок припливу талановитої молоді з різних ВУЗів України. В той же час почалася реорганізація інституту. На базі лабораторій було створено наукові відділи. Інститут електротехніки у 1963 році було перейменовано у Інститут електродинаміки АН УРСР.

Наукова діяльність інституту остаточно була спрямована на підвищення ефективності процесів генерування, передавання, перетворення та використання електричної енергії. Така спрямованість вплинула на формування структури інституту та визначення основних напрямів наукової діяльності. Зазначені наукові напрями, які було сформовано в перші 15 років діяльності інституту, на сьогодні залишилися майже без змін:

- режими електроенергетичних систем і об'єктів та керування ними;
- перетворення і стабілізація параметрів електромагнітної енергії;
- системи та комплекси електромеханічного перетворення енергії;
- інформаційно-вимірювальні системи і метрологічне забезпечення в електроенергетиці.

Науковий напрям – режими електроенергетичних систем і об'єктів та керування ними.

Зазначений напрям наукових досліджень Інституту електродинаміки НАН України, за яким працюють три відділи (моделювання електроенергетичних об'єктів та систем, автоматизації електричних систем, оптимізації систем електропостачання), безпосередньо стосується режимів

електроенергетичних систем (ЕЕС) і об'єктів. Еволюційний розвиток ЕЕС відбувається завдяки новим результатам наукових досліджень та розробок, що знаходять практичне використання в електроенергетиці, призводячи до покращення властивостей та показників функціонування ЕЕС. Фундаторами цього напрямку досліджень були видатні вчені – академіки В.М. Хрущов та С.О. Лебедев, класичні праці яких з дослідження та розрахунку режимів ЕЕС широко відомі і набули подальшого розвитку в Інституті. Дослідження у цьому напрямі продовжили: докт.техн.наук Л.В. Цукернік, докт.техн.наук І.М. Сирота, академіки НАН України Б.С. Стогній та О.В. Кириленко, член-кореспондент НАН України В.Г. Кузнецов, докт.техн.наук А.М. Авраменко, докт.техн.наук О.Ф. Буткевич, канд.техн.наук В.О. Крилов, докт.техн.наук П.О. Черненко, канд.техн.наук В.Л. Прихно, докт.техн.наук Ю.І. Тугай, докт.техн.наук Є.М. Танкевич, докт.техн.наук М.Ф. Сопель, докт.техн.наук В.В. Павловський, докт.техн.наук І.В. Блінов та інші.

У 75-у річницю створення Інституту слід згадати хоча б узагальнено (викладення більшого за тематикою та обсягом матеріалу потребує іншого формату публікації, не зіставного з форматом даної статті) тематику виконаних в Інституті досліджень та розробок, що сприяли не лише формуванню, але і подальшому розвитку даного наукового напрямку, оскільки саме зі створенням під керівництвом С.О. Лебедева першої на європейському континенті цифрової електронної обчислювальної машини "МЕСМ" та введенням її у 1951 р в експлуатацію задля розв'язання практичних задач і було започатковано використання цифрових електронних обчислювальних машин для дослідження режимів ЕЕС та засобів керування ними. В інституті було виконано піонерські роботи із застосування зазначених машин для розрахунків усталених режимів ЕЕС. На шляху, що почався формально 75 років тому (а фактично навіть трішки раніше), було одержано численні результати, що набули наукового визнання та практичного використання в ЕЕС, і такий процес триває.

Однією із важливих задач планування та реалізації електричних режимів ЕЕС (а саме з досліджень режимів ЕЕС, як вже зазначалося, і було започатковано науковий напрям) є задача визначення запасу статичної стійкості ЕЕС в таких режимах. Розв'язання цієї задачі має свою історію з часів колишнього СРСР, яка стосується як формування самої методики аналізу стійкості складних ЕЕС, так і розрахунку критеріїв аперіодичного та коливного порушення стійкості. Розділи цієї історії також "писалися" в Інституті виконанням досліджень та розробленням відповідних програмних засобів аналізу статичної, а згодом і динамічної стійкості, розрахунку аварійних режимів складних автоматично регульованих ЕЕС, які було впроваджено в ЕЕС колишнього СРСР. Було також одержано вагомий теоретичні результати та розроблено відповідні програмні засоби для розрахунків складнонесиметричних режимів, визначення для складних електричних систем уставок струмових захистів від КЗ на землю, максимальних струмових захистів і дистанційних захистів від усіх видів коротких замикань, зокрема в мікропроцесорних терміналах 7SA513 і 7SA522 фірми Siemens, REL521(511) та REL670 фірми ABB, L60 фірми General Electric, враховуючи особливості цих захистів та вимог до їх функціонування за умов експлуатації в ЕЕС України [2].

Також Інститутом зроблено вагомий внесок в дослідження, що стосуються оцінювання стану ЕЕС, з розробленням комплексу відповідних програмних засобів, найбільшого поширення серед яких в ЕЕС набув програмний комплекс "КОСМОС". Було виконано дослідження та розроблення програм з прогнозування обсягів електроспоживання ЕЕС на різних рівнях часової декомпозиції керування [3], що дало змогу визначити способи з підвищення точності відповідних прогнозів, зокрема з використанням методики ієрархічного прогнозування. Задля підвищення точності короткострокового прогнозування обсягів виробленої електроенергії джерелами відновлюваної енергії розроблено відповідні моделі з використанням штучних нейронних мереж глибокого навчання [4]. Для посилення функціональних можливостей систем моніторингу та автоматизованих систем оперативно-диспетчерського керування з мінімізацією негативного впливу людського чинника на адекватність та ефективність прийняття рішень з керування, досліджено підходи до створення інтелектуальних засобів оброблення та використання інформації в системах автоматизованого оперативного керування електроенергетичних об'єктів та електричних мереж у вигляді "Систем підтримки оперативного персоналу у прийнятті рішень", що стали їхнім "інтелектуальним розширенням". Було розроблено технологію побудови таких систем для автоматизованого розв'язання складних задач оперативного керування, для яких були відсутні засоби автоматизованого розв'язання, що могло призводити до помилок оперативно-диспетчерського персоналу, насамперед у разі виникнення аварійних ситуацій [5]. Принципи та технологічні рішення щодо побудови таких систем та різні варіанти їхніх реалізацій було впроваджено на об'єктах і в електричних мережах України та за її межами.

Звертаючись до першої половини вже пройденого 75-річного шляху, очевиднішою стає значущість одержаних в Інституті результатів, які залишаються слугувати електроенергетиці, набувши хрестоматійного значення для широкого кола фахівців електроенергетиків. Наприклад, внаслідок виконаних досліджень процесів замикання на землю в мережах з ізольованою нейтраллю під керівництвом докт.техн.наук І.М. Сироти було розроблено теорію трансформаторів струму (ТС) нульової послідовності та ТС з підмагнічуванням кабельного та шинного типів, створено низку захистів від замикань на землю в мережах 6-35 кВ, а також захисти від замикань на землю генераторів. Наприкінці 1960 р. під керівництвом академіка НАН України Б.С. Стогнія (на той час – ще канд.техн.наук) були розпочаті і виконані глибокі наукові дослідження високовольтних вимірювальних перетворювачів струму та напруги – основних джерел вимірювальної інформації про режими роботи електроенергетичних об'єктів. Внаслідок таких досліджень розроблено теорію, принципи побудови, методи випробування та нове покоління вимірювальних перетворювачів струму, що вперше у вітчизняній практиці високовольтних вимірювань струму забезпечили нормовані метрологічні характеристики як в усталених, так і перехідних режимах ЕЕС. Вагомим практичним результатом цих робіт стала організація на базі виробничого об'єднання "Запоріжтрансформатор" серійного виробництва каскадних триступеневих ТС для першої у світі лінії електропередачі напругою 1150 кВ Екібастуз-Урал.

Було розроблено наукові засади побудови багатофункціональних мікропроцесорних систем, призначених задля розв'язання широкого кола актуальних задач моніторингу [6] та діагностування електроенергетичних об'єктів і систем, з урахуванням технологічних особливостей функціонування ЕЕС та можливостей удосконалення систем оперативного та автоматичного керування на всіх рівнях ієрархії керування. Розроблено і широко впроваджено у виробництво апаратно-програмні комплекси різного функціонального призначення (14 типів), об'єднані загальною назвою "Регіна", до яких належить і інформаційно-діагностичний комплекс "Регіна", призначений для реєстрації аналогових та дискретних сигналів, аналізу розвитку аварійних ситуацій, оцінювання функціонування пристроїв релейного захисту та автоматики, визначення місця пошкодження у разі коротких замикань на лініях електропередачі, визначення залишкового ресурсу високовольтних вимикачів, побудови добової відомості режимів та багато іншого. З часом було проведено дослідження та створено на базі сімейства комплексу "Регіна" системи автоматичного контролю ізоляції під робочою напругою за параметром "комплексна провідність" трансформаторів струму, лінійних ізоляторів та високовольтних ввідів силових трансформаторів, пристроїв для діагностування стану високовольтних вимикачів з визначенням ресурсу спрацьовування [7].

З появою технології векторних вимірювань параметрів режиму було розроблено високоточні засоби моніторингу у вигляді електровимірювальних реєструвальних пристроїв (ЕВРП) "Регіна-Ч", що функціонують в масштабі реального часу з "прив'язкою" до супутникових сигналів точного часу [8]. На базі ЕВРП "Регіна-Ч" в ОЕС України створено та введено в дію першу чергу системи моніторингу електромеханічних перехідних режимів ЕЕС. З урахуванням можливості одержання якісно нової інформації у вигляді векторів напруги, вимірюваних у різних точках об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України, у відділі, очолюваному академіком НАН України О.В. Кириленком, було розроблено спеціальні моделі задля визначення в реальному часі допустимості поточних режимів ОЕС України за запасами статичної стійкості. З використанням зазначених результатів, вперше на теренах пострадянського простору створено і впроваджено в Кримській енергосистемі сучасну систему моніторингу з контролем в реальному часі допустимості її поточних режимів, зокрема і за запасами статичної стійкості в контрольованому перетині з іншою ("материковою") частиною ОЕС України. З використанням результатів векторних вимірювань ЕВРП "Регіна-Ч" параметрів режиму ОЕС України було досліджено процеси виникнення низькочастотних електромеханічних коливань (НЧК), зокрема і тих, що мали місце в ОЕС України [9], визначено вимоги до методів і засобів аналізу та оцінювання в реальному часі безпеки коливного порушення стійкості, яку становлять для енергооб'єднань такі коливання [4, 10], розроблено відповідні засоби аналізу та оцінювання в реальному часі НЧК з їх використанням у складі програмних засобів ЕВРП "Регіна-Ч". Виконано дослідження стійкості за частотою ОЕС України, передбачаючи її ізольований режим роботи та значну частку відновлюваних джерел енергії в структурі її генеруючої потужності [4].

Під керівництвом член-кореспондента НАН України В.Г. Кузнецова виконано низку комплексних досліджень, зокрема з аналізу та координованої оптимізації режимів ЕЕС, з підвищення надійності розподільних мереж на базі методів контролю стану ізоляції з розробленням відповідних

методів раннього діагностування її стану. Іншу низку досліджень та відповідних розробок було підпорядковано вирішенню проблеми покращення показників якості електроенергії, зокрема створення високоефективних коригуючих пристроїв для електричних мереж низької напруги, схемно-технічних рішень з комплексного обмеження несиметрії та несинусоїдальності напруги на тягових підстанціях залізниць, симетруючих пристроїв для широкого класу однофазних навантажень та інше. Задля вирішення іншої проблемної задачі з підвищення надійності функціонування ЕЕС виконано ґрунтовні дослідження умов виникнення небезпечних ферорезонансних процесів та розроблено заходи, що дають змогу запобігти появі таких процесів чи їх придушенню у разі виникнення [11]. З урахуванням різних схемно-режимних умов ЕЕС та співвідношень параметрів виконано комплекс досліджень, за яких можливе виникнення небезпечних резонансних процесів в ЕЕС, внаслідок чого розроблено засоби визначення умов ефективного використання пристроїв керованої комутації для зменшення амплітуд параметрів режиму та тривалості перехідних процесів в ЕЕС [12, 13].

Розвиток ЕЕС більшості країн світу відбувається у напрямі декарбонізації та створення максимально ефективної структури генеруючих потужностей зі значною часткою відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). З урахуванням зазначених тенденцій досліджувалися також варіанти подальшого розвитку і ОЕС України [14-16], зокрема і за умов об'єднання ринку електричної енергії України з ринками країн Європи [17]. Було виконано дослідження впливу зростання частки ВДЕ в структурі генеруючої потужності ОЕС України та виробленої ними електроенергії на ринкову вартість електроенергії в Україні [18] та режими ОЕС України під час балансування стохастичних змін потужності ВДЕ. Встановлено, що спорудження системи накопичувачів електроенергії, призначеної для балансування стохастичних змін потужності ВДЕ в ОЕС України, без урахування впливу їх розподілу (за місцем та потужністю) на навантаження контрольованих перетинів ОЕС України може призводити до наднормативного переобтяження окремих контрольованих перетинів ОЕС України внаслідок ввімкнення зазначених накопичувачів. Щоб уникнути небезпеки таких переобтяжень із загрозою порушення стійкості ОЕС України, розроблено метод та комплекс програмних засобів для визначення оптимального розподілу (за місцем та потужністю, запобігаючи зазначеним переобтяженням) в ОЕС України таких накопичувачів [19]. З урахуванням потреби запровадження нових механізмів задля забезпечення надійного функціонування ОЕС України за умов подальшого розвитку ВДЕ також досліджено питання економічної доцільності використання систем накопичення електроенергії в розподільних електричних мережах для регулювання їхніх режимів [20, 21].

Науковий напрям – перетворення і стабілізація параметрів електромагнітної енергії – в інституті започаткував чл.-кор. АН України О.М. Мілях, а продовжили і розвинули: академіки НАН України А.К. Шидловський і А.Ф. Жаркін, члени-кореспонденти НАН України І.В. Волков, В.Г. Кузнецов, Б.П. Борисов, А.А. Щерба, Н.А. Шидловська, В.М. Михальський, І.П. Кондратенко та В.О. Новський, к.т.н. Ю.І. Драбович, доктори технічних наук К.О. Липківський, М.М. Юрченко, І.В. Мостовяк, Е.М. Чехет, В.С. Федій, В.М. Ісаков, М.С. Комаров, В.Б. Павлов, Ю.М. Гориславець, О.Д. Подольцев, О.Є. Антонов, І.М. Кучерява, Н.І. Супруновська, О.М. Юрченко, І.А. Шаповал, С.М. Захарченко, В.В. Мартинов, Ю.В. Руденко та інші. За цим напрямом отримано фундаментальні результати [23], які дали змогу інституту стати провідною науковою установою не тільки в Україні, але й серед країн колишнього СРСР та далекого зарубіжжя.

За останні п'ять років з цього наукового напрямку проведено комплекс теоретичних і експериментальних досліджень з розробки ефективних засобів перетворення електромагнітної енергії, забезпечення електромагнітної сумісності та взаємодії широкого класу перетворювачів електромагнітної енергії як з системою електропостачання, так і з енергомісткими технологічними навантаженнями [24-39]. Подальший розвиток отримала теорія активної фільтрації багатofазних систем електроживлення, спрямована на мінімізацію потужності втрат у лінії передачі. Розроблено комбіновану систему керування паралельним активним фільтром у системі координат методу двох ватметрів, яка залежно від умов використання реалізує одну з чотирьох стратегій активної фільтрації. Створено моделі технологічного обладнання з компонуванням елементів силової схеми із дотриманням вимог щодо мінімізації активних втрат потужності та розробленні відповідного обладнання [26]. Визначено найбільш ефективні умови роботи джерел розподіленої генерації з позицій підвищення однорідності графіків електричного навантаження мережі, зростанні її пропускної спроможності [28]. Розроблено алгоритми керування фізичними процесами в електроплавильних установках, для яких створено нові електромагнітні системи та системи їх живлення на основі напівпровідникових перетворювачів, які здатні реалізувати зазначені алгоритми

керування. Це дає змогу суттєво підвищити ефективність технологічних процесів плавлення та оброблення чорних і кольорових металів та сплавів, у тому числі тугоплавких металів і сплавів відповідального призначення, а також покращити якість металевих виробів [29, 30]. Створено нові методи зниження рівня магнітного поля біля трифазних високовольтних кабельних ліній і розрахункову модель для визначення необхідних характеристик і конфігурацій композиційних магнітних екранів для зменшення рівня магнітного поля до чинних санітарних норм [37-39].

Визначено основні положення концепції живлення магнітно-напівпровідникових імпульсних перетворювачів від відновлюваних джерел енергії, розроблено їхні математичні моделі, а також проведено розрахунки режимів роботи та взаємного впливу. Розроблено принципи побудови енергоефективних пристроїв регулювання та стабілізації параметрів електричної енергії в розрядно-імпульсних системах плазмоерозійної обробки гетерогенних струмопровідних середовищ. Розроблено нові системи фазового автоматичного підстроювання частоти високочастотних транзисторних інверторів установок індукційного нагрівання з послідовним резонансним контуром на виході та керуванням інвертора за допомогою модуляції щільності імпульсів.

Під керівництвом член-кореспондента НАН України А.А. Щерби отримано наукові результати з розвитку методів багатомасштабного моделювання та електротеплових аналогій для розрахунку взаємно зв'язаних мультифізичних процесів в установках термообробки металів для потреб кабельної промисловості України. Впровадження результатів підвищило на 10-15% енергоефективність і на 50% ресурс установок виготовлення мідної та алюмінієвої катанок для виробництва кабелів світового рівня якості зі зшитою поліетиленовою (ЗПЕ) ізоляцією на заводі "Південкабель" (м. Харків). Використання вказаних методів також спрощує оцінку надійності та ресурсу вказаних кабелів у системах електропостачання воєнного сьогодення.

Значимо, що самовіддана праця колективу заводу "Південкабель" (стратегічного партнера нашого інституту), незважаючи на сучасну значну небезпеку для працюючих і періодичну руйнацію будівельних конструкцій і обладнання підприємства, забезпечує безперервну роботу атомних та інших електростанцій і постійне відновлення електроенергозабезпечення у Харкові та інших містах, селищах і підприємствах України. Практично обґрунтовано, що використання кабелів зі ЗПЕ ізоляцією в електроенергосистемі є одним з найбільш ефективних методів підвищення її стійкості та надійності. Це підтверджує своєчасність розробки та впровадження в серійне виробництво вітчизняної високоякісної кабельно-провідникової продукції, за яку автори розробки – співробітники інституту і заводу "Південкабель" отримали Державну премію України в галузі науки і техніки.

На даний час заплановано удосконалити методи діагностики надійності та ресурсу установок виготовлення високоякісних мідної та алюмінієвої катанок для виробництва вітчизняних кабелів зі ЗПЕ ізоляцією, Планується також дослідити вплив якості електроенергії на надійність і ресурс кабельних ЛЕП у сучасних умовах експлуатації. Буде також створено високоефективну електророзрядну установку для отримання українським підприємством "Голдсідс" поверхнево активних компонентів мінеральних добрив для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур в умовах вітчизняного сьогодення.

Під керівництвом член-кореспондента НАН України В.М. Михальського розроблено нові ефективні методи керування напівпровідниковими перетворювачами та електромеханічними системами для забезпечення їх електромагнітної сумісності з джерелами електроенергії (в тому числі з відновлюваними) за підтримки заданих параметрів вихідної енергії. Зокрема розроблено наукові основи створення комплексів генерування електроенергії на основі машини подвійного живлення з перетворювачами у колах ротора і статора, що дає змогу створювати комплекси генерування електроенергії з функціями компенсації реактивної потужності та активної фільтрації струму. Авторів розробки "Енергоефективні електромеханічні системи широкого технологічного призначення" відзначено Державною премією України в галузі науки і техніки.

У подальшому заплановано розробити алгоритми керування напівпровідниковими перетворювачами, адаптивними до зміни параметрів мережі живлення, використовуючи декомпозицію складових повної потужності, задля досягнення енергоощадного ефекту передачі електроенергії в мережах із розосередженою генерацією, що дасть змогу підвищити показники якості електроенергії в точках загального приєднання.

Під керівництвом академіка НАН України А.Ф. Жаркіна розроблено принципи побудови та алгоритми керування новою комбінованою системою регульованого електроприводу на основі двигунів постійного струму з високоефективними системами збудження на постійних магнітах і

мотор-колесами, що забезпечує високу мобільність електротранспортного засобу подвійного призначення. Результати впроваджено на низці підприємств України для створення військових транспортних засобів.

Розроблено засоби керованого електромагнітного перемішування рідкого металу, необхідного для електронно-променевого плавлення і лиття тугоплавких і хімічно активних металевих сплавів, що збільшує у 2-3 рази масу металевих заготовок відповідального призначення та підвищує їхні механічні властивості. Створено електротехнологічну установку ЕТУ-250 (потужністю до 250 кВт) індукційної електротермічної обробки металевих деталей і вузлів при ремонті енергетичного і транспортного обладнання подвійного призначення. В порівнянні з традиційними установка підвищує продуктивність праці в 1,5-2 рази, споживаючи на 20-30% менше електроенергії та поліпшуючи екологію виробництва.

Під керівництвом член-кореспондентів НАН України І.П. Кондратенка та В.М. Михальського розроблено принципи побудови генераторів розрядних імпульсів струму, призначених для електродинамічної обробки конструктивних матеріалів і зварних з'єднань відповідальних конструкцій. Розроблені генератори забезпечують вихідні імпульсні струми амплітудою до 10 кА і є конкурентоспроможними на світовому ринку. Разом з Інститутом електрозварювання імені Є.О. Патона розпочато роботи з виготовлення електротехнічного обладнання на базі створених генераторів для підприємств аерокосмічної галузі Китайської Народної Республіки [35].

Під керівництвом д.т.н. О.М. Юрченка розвинуто теорію побудови транзисторних перетворювачів для індукційного нагрівального обладнання в напрямках підвищення частоти вихідного струму до 1МГц і більше, реалізації модульної структури систем керування та напівпровідникових перетворювачів із двочастотним вихідним струмом для термообробки деталей неоднорідних циліндричних форм [36]. Крім того отримано результати з удосконалення методів і технічних засобів підвищення ефективності напівпровідникових високочастотних перетворювачів напруги потужних систем живлення електронно-променевого та плазмового технологічного обладнання для інтенсифікації та підвищення продуктивності і якості відповідних технологічних процесів.

Науковий напрям – системи та комплекси електромеханічного перетворення енергії. Значний внесок вчені інституту зробили у наукові дослідження, пов'язані з підвищенням ефективності та надійності процесів електромеханічного перетворення енергії. Основоположником цього напрямку був член-кореспондент НАН України І.М. Постніков. Під його керівництвом та керівництвом його учнів академіка НАН України Г.Г. Щастливого, докт. техн. наук А.І. Ліщенко, А.А. Войтеха, А.М. Кравченка, О.І. Тітко, Г.М. Федоренка, В.І. Виговського, В.І. Смородіна, В.І. Кисленка, А.О. Афоніна, П.Ф. Вербового, Л.І. Мазуренка та багатьох інших отримано важливі наукові і практичні результати, створено наукову школу.

За останні роки отримано значний науковий доробок. Питання вдосконалення потужних турбогенераторів і гідроенергетичних машин вирішувалися під керівництвом член-кореспондента НАН України О.І. Тітко його колегами д.т.н. Г.М. Федоренком, д.т.н. О.Г. Кенсіцьким, д.т.н. К.А. Кучинським та іншими [40, 41]. На основі фундаментальних досліджень електромагнітних віброзміщуючих сил та статистичного моделювання вібраційних процесів турбогенераторів (ТГ) України визначено, що наявність дефектів в статорі за відповідних умов слабо впливає на вертикальні складові віброзміщень підшипників ротора, де встановлено датчики штатної системи контролю. На основі цього фізичного явища розроблено новий ефективний спосіб діагностики і вперше введено критеріальну функцію вертикальних віброзміщень в навантажувальних режимах і режимі холостого ходу та розроблено критерій граничного накопичення дефектів статора і методику визначення залишкового ресурсу ТГ. Дослідження енергоблоків ТЕС України зі статистичними даними «передісторії» в 10–20 років показали, що застосування цієї розробки на практиці дасть змогу майже повністю виключити аварійні ситуації та відмови ТГ з великими об'ємами відновлюваних робіт та отримати економії витрат на ремонтні роботи в десятки мільйонів гривень за рік.

Інститут електродинаміки у творчому співтоваристві з ДП з-д «Електроважмаш» та фахівцями Дністровської ГАЕС виконав роботу щодо доведення до проектних параметрів найпотужнішого в Європі гідроенергетичного двигуна типу СВО 1255/255-40 УХЛ4. В результаті досліджень теплових та вентиляційних процесів статора і ротора в різних режимах навантаження встановлено суттєву залежність максимальних температур елементарних провідників стержнів обмотки статора ТГ від коефіцієнта теплопровідності корпусної ізоляції обмотки. Спільно з ІНМ й ІТТФ НАН України запропоновано технологію нової ізоляції з підвищенням теплопровідності у 2÷2,2 рази, застосування

якої в гідрогенераторах знизить максимальні температури на 23 – 25 °С, а навантаження в режимі двигуна підвищить на 10% або підвищить ресурс машин до 10%.

Під керівництвом д.т.н. О.Є. Антонова колективом співробітників (д.т.н. І.С. Петухов, д.т.н. К.П. Акинін, к.т.н. В.Г. Кіреєв, к.т.н. А.А. Філоменко) розвинуто теорію магнітоелектричних машин з однією та кількома ступенями свободи ротора [42-45], започатковану ще член-кореспондентом АН УРСР О.М. Міляхом. Розвинуто метод моделювання електромагнітних процесів в нелінійних середовищах.

За останні шість років на основі керованих електроприводів з магнітоелектричними двигунами впроваджено: активну систему просторової орієнтації наносупутника в Національному технічному університеті «КПІ ім. І.Сікорського»; систему обертання приладу сканування атмосфери Землі космічного базування з активною компенсацією реактивного моменту виконавчого двигуна в Головній астрономічній обсерваторії НАН України; привод слідкуючої системи спеціального призначення на підприємстві «Квант радіолокація» та електронний перетворювач для безконтактного магнітоелектричного тахогенератора спеціального призначення на Науково виробничому підприємстві «ЕДМ-2016»; прилади (2 типи) для медичних та косметологічних застосувань на Науково-практичній фірмі «Елерон», зразки яких неодноразово експонувалися на вітчизняних і міжнародних виставках.

Активно проводяться дослідження в галузі розробки та створення електромеханотронних перетворювачів енергії (ЕМПЕ) нового покоління з використанням постійних магнітів (ПМ), які характеризуються підвищенням ККД та питомої електромагнітної потужності, зниженням рівня втрат, зменшенням шумів та вібрацій. Цей напрямок був започаткований д.т.н. А.О. Афоніним та розвинутий в наукових працях д.т.н. В.В. Гребенікова, к.фіз.-мат.н. Р.В. Гамалії.

Розроблено наукові засади створення оптимальних структур магнітних систем ЕМПЕ нового покоління, що характеризуються покращеним використанням активної частини, малими масами та габаритами. Застосування друкованих обмоток в електричних машинах з постійними магнітами та осьовим магнітним потоком дозволило зменшити їхній осьовий розмір та збільшити щільність струму в обмотках і за рахунок цього суттєво підвищити питомі характеристики. Розроблено нові структури магнітних систем електричних машин з постійними магнітами та магнітними редукторами, що забезпечують підвищення питомих показників (кВт/кг, Нм/кг) та дають змогу створювати електропривод транспортних засобів з покращеними енергетичними показниками та електричні генератори для вітроустановок нового покоління [46-50].

Одним із напрямків роботи відділу електромеханічних систем в останні роки є розробка нових електромеханічних перетворювачів для електроприводу та електроенергетики вентильно-індукторного типу (д.т.н. Л.І. Мазуренко, д.т.н. О.В. Бібік, к.т.н. М.О. Шихненко). Розвинуто теорію вентильно-індукторних машин в напрямку розробки математичних моделей, ефективних принципів керування, уточнення характеру протікання електромеханічних процесів в режимах двигуна та генератора. Встановлено вплив параметрів на робочі та енергетичні характеристики. Розроблено дослідні зразки вентильно-індукторного двигуна для насосного обладнання циркуляційного та поршневого типу та вентильно-індукторного стартер-генератора для систем запуску двигунів внутрішнього згоряння і газотурбінних двигунів автономних енергоустановок та транспортних засобів [51-53].

В Інституті електродинаміки розроблено основи теорії автономних асинхронних генераторів та машино-вентильних комплексів на базі цих генераторів. Цей напрямок був започаткований д.т.н. А.І. Ліщенком [54] та розвинутий в наукових працях д.т.н. В.А. Лісника, д.т.н. Л.І. Мазуренка, к.т.н. О.В. Джури. Отримані результати досліджень стали основою для розробок нових асинхронних зварювальних генераторів та автономних електрогенеруючих систем постійного і змінного струму. Розроблено дослідні зразки асинхронного вентильного зварювального генератора, двопостового асинхронного зварювального генератора, асинхронного вентильного генератора з векторними керуванням і системи живлення постійного струму на основі цих генераторів. Такі системи є перспективними для побудови корабельних дизельних систем електрозабезпечення оскільки дають змогу суттєво зменшити витрати палива і масу електрогенеруючого обладнання та характеризуються покращеною якістю електромеханічних процесів порівняно з системами на основі синхронних генераторів. Розроблено і виготовлено дослідний зразок багатофункціонального автономного агрегата з асинхронним генератором і бензиновим приводним двигуном, який забезпечує однофазне живлення навантаження змінним струмом і використовується також як пусковий пристрій для транспорту та розроблено його дослідно-конструкторську документацію. Ще одним з продовжень започаткованого напрямку стала тематика з досліджень гібридних електрогенеруючих систем

живлення змінного струму, які будуються з застосуванням міні-, мікро-ГЕС, вітроустановок, дизельних агрегатів і накопичувачів енергії [55, 56].

У колі проблем ефективного використання енергетичних ресурсів важливе місце займають асинхронні двигуни (АД). Питання вдосконалення конструкції і режимів експлуатації цих двигунів викладено у роботах д.т.н. О.М. Поповича, д.т.н. О.В. Бібік, к.т.н. Ю.В. Шуруба, к.т.н. І.В. Голованя. Розроблено ефективні засоби створення АД для електромеханічних і електромеханотронних систем. Вдосконалення засобів здійснено у напрямку підвищення адекватності і ефективності математичних засобів дослідження та проектування АД завдяки розширеному врахуванню особливостей фізичних процесів електромеханічного перетворення енергії у АД: нелінійності та несиметрії електромагнітних параметрів, просторової та часової несинусоїдності процесів, що забезпечує вимоги дослідження АД з підвищеним ступенем використання електротехнічних матеріалів, складними схемами обмоток статора. Розвинуто методологію вдосконалення АД з урахуванням особливостей їхніх робочих режимів у складі електромеханічної системи. Із використанням можливостей польового аналізу набули розвитку засоби і методи створення АД (зокрема, вбудованих, із масивними елементами магнітопроводу) підвищеної ефективності для регульованих систем із напівпровідниковими перетворювачами, періодичним та стохастичним навантаженням, інтенсивних динамічних режимів роботи [57-62].

Науковий напрям – інформаційно-вимірювальні системи і метрологічне забезпечення в електроенергетиці. Інститут має значний доробок фундаментальних досліджень в розвитку загальної теорії вимірювальних електричних кіл і електронних пристроїв. Починаючи з 1947 р. колективом вчених під керівництвом члена-кореспондента АН України А.Д. Нестеренка та надалі академіка НАН України Ф.Б. Гриневича розроблено нові принципи побудови різних типів прецизійних приладів для електричних та магнітних вимірювань, створено новий клас цифрових вимірювальних мостів, запропоновано ряд еталонів. В рамках цього напрямку добре відомі наукові праці докторів технічних наук Є.О. Андрієвського, А.Д. Ніженського, А.І. Новіка, М.М. Сурду, З.Я. Монастирського, члена-кореспондента НАН України С.Г. Таранова та багатьох інших. Ними та іншими вченими, що працюють у цьому напрямку, розвинуто теорію, розроблено принципи та запропоновано ефективні технічні рішення побудови вимірювальної апаратури: високоточних перетворювачів параметрів імпедансу мостового типу, в томі числі з можливостями дистанційного вимірювання малих ємностей, індуктивностей, активного опору в датчиках, універсальних та спеціалізованих приладів з технічними характеристиками світового рівня, магнітовимірювальних приладів, лазерних систем визначення відстаней, багатоканальних інформаційно-вимірювальних систем. Створено системи визначення параметрів імпедансу з унікальними характеристиками для національних еталонів пасивних електричних величин, температури та електропровідності рідин кількох країн.

За останній період отримано нові, вагомні результати у створенні сучасних засобів вимірювань з функціональними можливостями і характеристиками на рівні світових досягнень. Запропоновано нові структурні та алгоритмічні методи підвищення точності і швидкодії, розширення частотного діапазону та функціональних можливостей інформаційно-вимірювальних систем. На їх основі розроблено нові засоби для технічної діагностики і моніторингу стану потужного електротехнічного устаткування в енергетиці та в інших галузях промисловості, а також для біотехнологій і медичного використання. Запропоновано нові принципи визначення фазових зсувів сигналів, що, зокрема, використано в розробці лазерної далекомірної системи для визначення відстаней до дифузно-відбиваючої поверхні та параметрів вібрацій безконтактним способом. Розвинуто нові підходи до створення і забезпечення серійнопридатності і техніко-економічної ефективності імпедансометричної апаратури та сенсорних систем з її використанням. На основі уніфікованих базових програмно-апаратних комплексів з відкритою архітектурою створено дослідні серії зразків портативних приладів для оперативних вимірювань та ІВС для багатопараметрового технологічного контролю. Розроблено та практично впроваджено у співробітництві разом з Інститутом молекулярної біології і генетики та з іншими установами НАН України прототипи і серії експериментальних зразків електронних модулів для кількох видів біосенсорних систем, зокрема кондуктометричні та термометричні, що не мають світових аналогів і актуальні для вирішення проблем медицини, біологічної безпеки, моніторингу довкілля.

Розроблено нові принципи побудови засобів автоматизованого вимірювання параметрів високовольтної ізоляції, створено системи моніторингу її стану під робочою напругою. Налагоджено серійний випуск конкурентоспроможних комбінованих приладів для вимірювання комплексу важливих електричних параметрів електроенергетичного обладнання на промисловій частоті, що забезпечує його безперервну діагностику та суттєво зменшує аварійність в енергосистемах країни.

Створено науково-прикладні основи діагностування стану електроенергетичного обладнання на основі аналізу просторового розподілу індукції зовнішніх магнітних полів. Розроблено багатоосові магнітовимірювальні системи та програмно-апаратний комплекс з мобільною системою збору необхідних даних.

Теоретично обґрунтовано принципи побудови адаптивних ІВС для електроенергетики, методи калібрування зразкових генераторів змінного струму по зразковим джерелам постійного струму, методи ітеративного відтворення фізичних величин. Розроблено і серійно впроваджено автоматичні системи обліку та аналізу якості електроенергії, створено низку необхідних для цього еталонів.

Для розвитку еталонної бази енергетики України розроблено нові методи виконання прецизійних вимірювань та принципи побудови необхідних для цього приладів еталонного рівня. Результати цих досліджень впроваджено в провідних метрологічних організаціях України науково-виробничим центром ДП «Енергоімпульс» Інституту електродинаміки НАН України, зокрема в комплексах вимірювальної апаратури для Державного зразка теплотворності матеріалів та Державного еталона температури (Харків, НДІ "Метрологія"), Державних еталонів напруги змінного струму та масштабного перетворювача сили струму на промисловій частоті, еталонів кислотності та щільності розчинів за замовленням ДП "Укрметртестстандарт". Також розроблено і виготовлено серію промислових зразків прецизійного вимірювача параметрів імпедансу в широкому діапазоні частот з метрологічними характеристиками найвищого світового рівня.

Фундаментальні результати досліджень у даному науковому напрямку більш детально висвітлено у [63, 64]. Роботи останнього періоду були відзначені двома Державними преміями України в галузі науки і техніки, результати представлялися на міжнародних виставках найвищого рівня. Основні наукові і практичні результати наведено, зокрема, у [65].

В короткому огляді неможливо перелічити всі результати досліджень вчених Інституту електродинаміки НАН України за 75 років. Однак можна з впевненістю сказати, що вони суттєво вилинули на розвиток вітчизняної енергетики, електротехніки, приладобудування та інших галузей господарства. Про їхню важливість і значення для держави і науки свідчить той факт, що розробки інституту 24 рази були відзначені Державними преміями в галузі науки і техніки та 21 раз преміями імені видатних учених НАН України.

Незважаючи на економічні труднощі, які виникли протягом останнього періоду (скорочення фінансування та повномасштабні воєнні дії з боку РФ), інституту вдалося зберегти значною мірою науково-технічний потенціал. На цей час у 11 наукових відділах працюють 170 наукових працівників, в тому числі чотири академіки НАН України та шість членів-кореспондентів НАН України, 44 доктори технічних наук та 75 кандидатів технічних наук, а також висококваліфікований інженерно-технічний персонал.

Зусилля наукового колективу інституту спрямовані на подальший розвиток фундаментальних досліджень фізико-технічних проблем електроенергетики та вирішення актуальних науково-технічних проблем функціонування паливно-енергетичного комплексу України.

На завершення потрібно зазначити, що в цьому році ОЕС України достроково (на 1 рік раніше) здійснила перехід на синхронну роботу з ENTSO-E, перейшовши до так званого випробувального режиму приєднання ОЕС України, за якого може забезпечуватися можливість надання Україні за певних схемно-режимних умов аварійної допомоги у вигляді обмежених обсягів постачання електроенергії. До режиму синхронної роботи ОЕС України з енергооб'єднанням країн континентальної Європи підготовка відбувалася комплексно і тривалий час. Зокрема, фахівцями Інституту електродинаміки було досліджено наслідки сполучення енергоострова Бурштинської ТЕС з ENTSO-E у сегменті ринку «на добу наперед» [17], розроблено концептуальні основи комплексного оцінювання впливу окремих чинників на процеси ціноутворення в сегментах ринку електричної енергії України, ринку допоміжних послуг [22] та інше. Інституту ВФТПЕ НАН України, і насамперед ІЕД НАН України, доклали зусиль, виконуючи науково-технічні дослідження та розробки за проектами цільових програм наукових досліджень НАН України, кінцевою метою яких було забезпечити набуття ОЕС України характеристик та показників функціонування, що відповідають вимогам ENTSO-E. Ця, безумовно, історична подія відбулася, але на «порядку денному» є багато проблемних питань, що потребують вирішення, в тому числі колективом Інституту електродинаміки НАН України, в повоєнний період, насамперед, з відновлення енергетики країни, що зазнала значних втрат, з визначення та реалізації першочергових заходів та засобів, спрямованих на підвищення живучості та надійної керованості ОЕС України, забезпечуючи потреби в

електроенергії галузей економіки та соціальної сфери та створюючи умови для подальшого інноваційного розвитку ОЕС України, подальшої інтеграції українських ринкових сегментів до ринків електричної енергії європейських країн у відповідності зі світовими тенденціями, національними інтересами та пріоритетами.

TO THE 75TH ANNIVERSARY OF THE INSTITUTE OF ELECTRODYNAMICS OF THE NAS OF UKRAINE

O.V. Kyrylenko

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy ave., 56, Kyiv, 03057, Ukraine.

E-mail: ied1@ied.org.ua

The history and achievements of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine for 75 years of its existence, related to the formation and development of scientific achievements in the fields of energy, electrical engineering, and power engineering of Ukraine, are briefly considered. References 65.

Keywords: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine.

1. Shidlovsky A.K. Flipping through the pages of history. *Tekhnichna elektrodynamicika*. 2007. No 3. Pp. 3–10. (Ukr)
2. Kolesnikova N.F., Kozlova O.I., Litvinova O.A. Software for calculation and selection of settings of parameters of operation of the phase selector module with load sector. *Pratsi Instytutu elektrodynamicy NAN Ukrainy*. 2019. Vyp. 54. Pp. 29–36. (Ukr)
3. Chernenko P.O., Martyniuk O.V., Miroshnyk V.O. Multifactor modeling and analysis of electrical load of the power system according to long-term prehistory. *Tekhnichna elektrodynamicika*. 2018. No 1. Pp. 87–93. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.01.087> (Ukr)
4. Kyrylenko O., Zharkin A., Butkevych O., Blinov I., Zaitsev Ie. Power systems research and operation. Selected problems, Springer, 2021. 174 p.
5. Butkevych O.F., Parus Y.V. Operational analysis of the postemergency state of distribution electric networks by means of an intelligent system. *Pratsi Instytutu elektrodynamicy NAN Ukrainy*. 2018. Vyp. 51. Pp. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2018.51.005> (Ukr)
6. Stogniy B.S., Sopol M.F. Fundamentals of monitoring in the power industry. On the concept of monitoring. *Tekhnichna elektrodynamicika*. 2013. No 1. Pp. 62–69. (Ukr)
7. Stognii B., Pankiv V., Tankevych E. Iterative calculation of electromagnetic processes in the current transformer by the approximated magnetization curve. IEEE International Conference on *Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*, 2014. Pp. 149–152. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEPS.2014.6874168>
8. Stogniy B.S., Sopol M.F., Varsky G.M., Yakovleva I.V. Systems of synchronized measurements in electric power industry. Improving accuracy and metrological support. *Pratsi Instytutu elektrodynamicy NAN Ukrainy*. 2013. Vyp. 35. Pp. 37–47. (Ukr)
9. Butkevich O.F., Pilipenko Y.V., Chizhevsky V.V., Elizarov I.O. Vector measurements of mode parameters and identification of electromechanical vibration modes in the unified power system of Ukraine. *Tekhnichna elektrodynamicika*. 2017. No 6. Pp. 43–54. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2017.06.043> (Ukr)
10. Butkevich OF, Kirilenko OV, Lenga OV, Lukyanenko LM, Pavlovsky VV, Stelyuk AO, Chizhevsky VV. Ensuring the sustainability of power systems and their associations. Kyiv: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2018. 320 p. (Ukr)
11. Kuznetsov VG, Melnichuk V.A., Tugay I.Y. Ferroresonance phenomena in electrical networks with solar and wind power plants. IV International scientific and technical conf. *Energy Efficiency and Energy Security of Electric Power Systems (EEES-2020)*, Kharkiv, November 10–13, 2020. Pp. 101–102. (Ukr)
12. Tugai Yu.I., Kuchansky V.V., Tugai I.Yu. Application of controlled devices for compensation of charging power of lep nvn in electric networks. *Tekhnichna elektrodynamicika*. 2021. No 1. Pp. 53–56. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.01.053> (Ukr)
13. Shpolyansky O.G. Safe disconnection of SF6 switches in overhead power lines. *Tekhnichna elektrodynamicika*. 2021. No 6. Pp. 51–57. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.06.051> (Ukr)
14. Kirilenko O.V., Basok B.I., Bazeev E.T., Blinov I.V. Energy of Ukraine and the realities of global warming. *Tekhnichna elektrodynamicika*. 2020. No 3. Pp. 52–61. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.0512> (Ukr)
15. Basok BI, Butkevich OF, Dubovsky SV. Technical and economic aspects of assessing the prospects for decarbonization of the unified energy system of Ukraine. *Tekhnichna elektrodynamicika*. 2021. No 5. Pp. 55–62.

DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.05.055> (Ukr)

16. Pavlovsky V., Steliuk A., Lenga O., Hrechko V. Frequency stability of the bulk isolated power system with high share of renewables and nuclear generation. Chapter in the book "Power systems research and operation. Selected problems", Springer, 2021. 180 p. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-82926-1_8. (accessed at 05.05.2022)

17. Blinov I., Kyrylenko O., Parus E., Rybina O. Decentralized Market Coupling with Taking Account Power Systems Transmission Network Constraints. Power Systems Research and Operation. Studies in Systems, Decision and Control. 2022. Vol. 388. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-82926-1_1

18. Ivanov G.A., Blinov I.V., Parus E.V., Miroshnik V.O. Component models for the analysis of the impact of renewable energy sources on the market value of electricity. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. No 5. Pp. 72–75. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.05.072> (Ukr)

19. Butkevich O.F., Yuneeva N.T., Gureeva T.M., Stetsyuk P.I. The problem of the location of electricity storage in the UES of Ukraine, taking into account its impact on power flows in controlled sections. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. No 4. Pp. 46–50. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.04.046> (Ukr)

20. Kirilenko O.V., Blinov I.V., Parus E.V., Trach I.V. Estimation of efficiency of use of systems of accumulation of the electric power in electric networks. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2021. No 4. Pp. 44–54. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.04.044> (Ukr)

21. Blinov I., Trach I., Parus Y., Khomenko V., Kuchanskyy V., Shkarupylo V. Evaluation of The Efficiency of The Use of Electricity Storage Systems in The Balancing Group and The Small Distribution System. *IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2021. Pp. 262–265. DOI: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569981>

22. Blinov I., Parus E. Approach of Reactive Power Pricing for Ancillary Service of Voltage Control in Ukraine. IEEE International Conference on *Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*. 2014. Pp. 145–148. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEPS.2014.6874167>

23. Shydlovskyy A.K., Lypkivskyy K.O. Development of research at the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine on the conversion and stabilization of electromagnetic energy parameters. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2007. No 3. Pp. 11–26. (Ukr)

24. Shydlovskyy A.K., Novsky N.O., Zharkin A.F. Stabilization of electric energy parameters in three-phase systems by semiconductor correcting devices. Kyiv: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2013. 378 p. (Ukr)

25. Zagirniak M.V., Klepikov V.B., Kovbasa S.M., Mykhalskii V.M., Peresada S.M., Sadovoi O.V., Shapoval I.A. Energy-efficient electromechanical systems of broad technology purpose. Kyiv: Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine, 2018. 310 p. (Ukr)

26. Artemenko M.Yu., Kutafin Y.V., Mikhalsky V.M., Polishchuk S.Y., Chopyk V.V., Shapoval I.A. Energy efficient power active filtration strategies based on optimal decompositions of load currents and corresponding power losses. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. No 3. Pp. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.030> (Ukr)

27. Volkov I.V., Podolny S.V. Energy characteristics of resonant converter with dosed energy transfer. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2021. No 2. Pp. 42–46. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.02.042> (Ukr)

28. Zharkin A., Novsky V., Popov V., Palachov S. Improving the Reliability and Power Quality in Distribution Networks with Sources of Dispersed Generation. Studies in Systems, Decision and Control, Springer. Vol. 388. Pp. 23–45. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-82926-1_2

29. Bondar O.I., Gluhenky O.I., Gorislavets Y.M., Zapadinchuk O.P. Numerical simulation of the thermal state of an induction duct furnace. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2021. No 3. Pp. 44–49. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.03.044> (Ukr)

30. Gorislavets Y.M., Gluhenky O.I., Bondar O.I. Circulation of metal melt in an induction duct furnace during phase control of supply voltages. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. No 3. Pp. 79–82. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.079> (Ukr)

31. Pavlov V.B., Podoltsev O.D., Pavlenko V.E. Investigation of an experimental sample of a wireless electric car charger. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2021. No 5. Pp. 21–26. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.05.021> (Ukr)

32. Zharkin A.F., Novsky V.O., Zapadinchuk O.P., Martinov V.V. Features of construction of bidirectional charging converters for the implementation of the concept of bilateral energy exchange "VEHICLE - TO - GRID" in the case of connecting electric vehicles to general purpose electrical network. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. No 5. Pp. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.05.019> (Ukr)

33. Bereka V.O., Bozhko I.V., Kondratenko I.P. Investigation of energy efficiency of pulsed barrier water treatment in drip-film state. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2021. No 3. Pp. 50–57. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.03.050> (Ukr)

34. Rashchepkin A.P., Kondratenko I.P., Karlov O.M., Krishchuk R.S. Magnetic forces and currents of the inductor for magnetic-pulse processing of welded joints of non-magnetic sheet metals. *Tekhnichna*

- elektrodynamika*. 2020. No 5. Pp. 74–79. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.05.074> (Ukr)
35. Lobanov L.M., Kondratenko I.P., Mikhalsky V.M., Pashchin M.O., Karlov O.M., Chopik V.V., Mikhoduy O.L. Electrical complex for electrodynamic processing of welded joints. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. No 6. Pp. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.06.061> (Ukr)
36. Gutsalyuk V.Ya., Yurchenko O.M., Zubkov I.S. System of automatic frequency adjustment of resonant inverters of induction heating installations with pulse density modulation. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. No 5. Pp. 35–39. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.05.035> (Ukr)
37. Shcherba A.A., Suprunovska N.I., Shcherba M.A., Roziskulov S.S. Regulation of output dynamic characteristics of electric discharge installations with reservoir capacitors. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2021. No 3. Pp. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.03.003>
38. Suprunovska N.I., Shcherba M.A., Mykhailenko V.V., Peretyatko Yu.V. Transients at changing the configuration of the discharge circuit of the capacitor of semiconductor electrical discharge installations with an electro-spark load. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. No 2. Pp. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.02.003>
39. Suprunovska N.I., Shcherba M.A., Peretyatko Yu.V., Roziskulov S.S. Decrease of transients duration and improvement of dynamic characteristics of electrical discharge installations by changing the structure of their discharge circuit. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. No 4. Pp. 15–18. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.04.015>
40. Titko O.I., Vaskovsky Yu.M. Scientific bases, methods and means of diagnostics of induction motors. Kyiv: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2015. 300 p. (Ukr)
41. Kuchinsky K.A. Thermal and thermomechanical processes in turbogenerators. Kyiv: Pro Format, 2020. 239 p. (Rus)
42. Antonov A.E. Electric machines of magnetoelectric type. Kyiv: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2011. 206 p. (Rus)
43. Antonov A.E. Features of the technology of slotless magnetoelectric machines. Kyiv: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2013. 128 p. (Rus)
44. Antonov A.E., Akinin K. P. Active compensation of reactive moments in an electric drive. Kyiv: Sikgroup Ukraine, 2019. 159 p. (Rus)
45. Akinin K.P. Structural minimization of low power electric drives based on non-contact motors with permanent magnets. Kyiv: Pro Format, 2020. 392 p. (Rus)
46. Grebenikov V.V., Priymak M.V. Design of the electric motor with permanent magnets for electric vehicle according the driving cycle. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. No 5. Pp. 65–68. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.05.065>
47. Dobzhanskyi O., Hossain Eklas, Amiri Ebrahim, Gouws R., Grebenikov V., Mazurenko L., Pryjmak M., Gamaliia R. Axial-Flux PM Disk Generator With Magnetic Gear for Oceanic Wave Energy Harvesting. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. Pp. 44813–44822. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2908348>
48. Grebenikov V.V., Gamaleya R.V., Sokolovsky A.N. Electric machine with axial magnetic flux, permanent magnets and multilayered printing windings. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. No 2. Pp. 28–35. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.02.028>
49. Grebenikov V., Dobzhanskyi O., Gamaliia R. Gouws R. Improvement of Transverse-Flux Machine Characteristics by Finding an Optimal Air-Gap Diameter and Coil Cross-Section at the Given Magneto-Motive Force of the PMs. *Energies*. 2021. Vol. 14. Issue 3. Pp. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14030755>
50. Grebenikov V.V., Gamaliia R. V., Dadychyn S.A. Comparative analysis of magnetic systems of permanent magnet motors for tram. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2021. No 5. Pp. 27–32. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.05.027>
51. Mazurenko L.I., Shikhnenko M.O., Dzhura O.V., Bilik O.A. Follow-up of the starter mode of the valve-inductor starter-generator. *Bulletin of NTU KhPI. Series: Electric machines and electromechanical transformation of energy*. 2020. No 3(1357). Pp. 97–100. DOI: <https://doi.org/10.20998/2409-9295.2020.3.16> (Ukr)
52. Mazurenko L.I., Dzhura O.V., Shikhnenko M.O., Bilik O.A. Technical implementation and follow-up of the experimental design of the valve-inductor starter-generator. *Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy*. 2020. Vyp. 55. Pp. 72–77. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2020.55.072> (Ukr)
53. Bibik O.V., Mazurenko L.I., Shykhnenko M.O. Formation of characteristics of operating modes of switched reluctance motors with periodic load. *Electrical engineering & electromechanics*. 2019. No 4. Pp. 12–16. DOI: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2019.4.0>
54. Mazurenko L. I., Lishchenko A. I. Asynchronous generators with valve and valve-capacitive excitation for autonomous power plants. Kyiv: Naukova Dumka, 2011. 271 p. (Rus)
55. Mazurenko L.I., Dzhura O.V., Romanenko V.I. Technical implementation and experimental follow-up of an asynchronous generator with gate drive and vector control. *Electromechanical and energy saving systems*. 2015. No 4(32). Pp. 34–40. (Ukr)
56. Mazurenko L.I., Vasiliv K.M., Dzhura O.V., Kotsyuruba A.V. Imitation model and algorithm for

implementation of an autonomous hydro-wind power system. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. No 1. Pp. 17–26. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.01.017> (Ukr)

57. Shurub Yu.V., Dudnik A.O., Lavinsky D.S. Optimization of regulators in frequency controlled asynchronous electric drives with stochastic biases. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2016. No 4. Pp. 53–55. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2016.04.053> (Ukr)

58. Popovych O.M., Golovan I.V. Study of changed main flux reactance of squirrel-cage induction motors using field analysis of their starting characteristics. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. No 5. Pp. 69–72. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.05.069>

59. Popovych O.M., Golovan I.V. Study of starting regimes of induction motors using equivalent parameters of quasi-3d field model. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2019. No 1. Pp. 34–37. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.01.034>

60. Bibik O.V., Golovan I.V., Popovych O.M., Shurub Y.V. Efficient operating conditions of induction motors for piston compressors with frequency regulation. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. No 1. Pp. 33–39. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.01.033>

61. Bibik O.V., Popovich O.M. Increasing the efficiency of electric drives with periodical loading by using comprehensive mathematical modeling means. Priority areas for development of scientific research: domestic and foreign experience: collective monograph. 3rd ed. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2021. 260 p. Pp. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-049-0-31>

62. Kireyev V.G., Akinin K.P., Filomenko A.A. Features and principles of the development of brushless magnetoelectric systems of the return-rotary motion. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2021. No 3. Pp. 19–27. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.03.019>

63. Grinevich F.B., Taranov S.G. Development of research in the scientific direction "Information and measuring systems and metrological support in the power industry". *Tekhnichna elektrodynamika*. 2007. No 4. Pp. 3–20. (Ukr)

64. Surdu M.M., Monastyrsky Z.Ya. Variational methods for improving the accuracy of immittance meters. Kyiv: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2015. 385 p. (Ukr)

65. Melnyk V.G., Vasylenko A.D., Semenycheva L.N., Slitskiy O.V., Saiapina O.Y., Dzyadevych S.V. Solutions for enhancement of sensitivity and metrological reliability of conductometric biosensor systems. *Engineering Research Express*. 2021. Vol. 3. No 4. DOI: <https://doi.org/10.1088/2631-8695/ac2a0d>

Надійшла 19.05.2022