

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректор з наукової роботи

Національного університету

“Львівська політехніка”

Іван ДЕМИДОВ

2025 р.



### **ВИСНОВОК**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації “Розвиток методів синтезу нелінійних електротехнічних систем на енергетичній основі” доцента кафедри електромехатроніки та комп’ютеризованих електромеханічних систем Національного університету “Львівська політехніка”,**

**кандидата технічних наук, доцента**

**Юрія БІЛЕЦЬКОГО,**

**представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 *Електротехнічні комплекси та системи***

Призначені рішенням Вченої ради Національного університету “Львівська політехніка” (протокол № 17 від 26 листопада 2024 р.) рецензенти, а саме:

- **Маляр Андрій Васильович**, професор кафедри електромехатроніки та комп’ютеризованих електромеханічних систем, доктор технічних наук, професор;
- **Паранчук Ярослав Степанович**, професор кафедри електромехатроніки та комп’ютеризованих електромеханічних систем, доктор технічних наук, професор;
- **Куцик Андрій Степанович**, професор кафедри електромехатроніки та комп’ютеризованих електромеханічних систем, доктор технічних наук, професор,

розглянувши докторську дисертацію БІЛЕЦЬКОГО Юрія Олеговича “Розвиток методів синтезу нелінійних електротехнічних систем на енергетичній основі” (тему дисертації затверджено на засіданні Вченої ради Національного університету “Львівська політехніка” “27” жовтня 2020 р., протокол № 66), наукові публікації, в яких висвітлено основні наукові результати, а також за результатами фахового семінару кафедри електромехатроніки та комп’ютеризованих електромеханічних систем Навчально-наукового інституту енергетики та систем керування Національного університету “Львівська

політехніка” (протокол № 5 від 30 грудня 2024 р.), підготували висновок про наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів докторської дисертації:

Дисертація Юрія БІЛЕЦЬКОГО на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 *Електротехнічні комплекси та системи*, є кваліфікованою науковою працею, представленою у вигляді наукової доповіді, характеризується єдністю змісту, відповідає принципам академічної доброчесності, підготовлена здобувачем самостійно. За обсягом, актуальністю, рівнем наукової новизни та практичної цінності робота відповідає вимогам п. 7-9 “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року.

### **1. Актуальність теми дослідження**

Стрімкий розвиток електротехнічних систем (ЕТС) та постійне ускладнення завдань, що ставляться до них, зумовили пошук нових методів розроблення складних мультифізичних систем, зокрема методів аналізу, синтезу та моделювання на енергетичній основі. За аналогією аналітичної механіки, почали застосовувати математичне моделювання ЕТС як ейлер-лагранжевих та гамільтонових систем. З метою подальшого синтезу систем автоматичного керування розвинулося моделювання порт-гамільтонових систем (ПГС) та метод керування ними шляхом введення взаємозв'язків та демпфування (IDA-PBC). Однак для методу IDA-PBC залишається складною та без ефективного вирішення проблема структурного та параметричного синтезу систем енергоформулюючого керування (СЕФК). Для вирішення цієї проблеми необхідно розробити нові підходи до синтезу СЕФК, в тому числі й із поєднанням їх з іншими методами керування. Система керування повинна також забезпечувати енергетичну ефективність ЕТС в усталених режимах їх роботи. Специфіка математичного опису об'єктів як ПГС на основі Гамільтоніана, як енергетичної функції, зумовлює доцільність розроблення стратегії енергетичного менеджменту (СЕМ), яка формує завдання усталених координат керування в СЕФК. Тому доцільно ці координати формувати як оптимальні з енергетичної точки зору. У випадку мультифізичних систем пошук енергетичної ефективності ускладнюється. Ця проблема може бути вирішена за допомогою інструментів лінійної термодинаміки нерівноважних процесів (ТДНП) з її універсальним феноменологічним підходом. Однак вони потребують адаптації до нелінійних систем, оскільки більшість сучасних ЕТС описуються нелінійними ПГС. Для етапів моделювання та комп'ютерного симулювання роботи мультифізичних нелінійних систем також доцільно використати енергетичний підхід. Найновішим серед відомих є метод енергетичного макропредставлення EMR, який відзначається своєю універсальністю та включає в себе процедуру синтезу

системи керування, побудовану за принципом інверсності. Проте існуючі EMR моделі зазвичай містять спрощення, що забезпечують високу швидкість керування і симулювання, але при цьому втрачається як точність моделювання, так і якість роботи системи керування. Тому доцільно розвинути метод EMR у напрямку поєднання з ПГС та СЕФК. Все це органічно поєднає на енергетичній основі математичне моделювання складних нелінійних ЕТС, синтез СЕФК їх роботою в динамічних режимах та енергетичну оптимізацію координат роботи в усталених режимах, і дасть змогу розробляти складні мультифізичні нелінійні системи.

**2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**  
Дослідження проводились відповідно до розробленого згідно із Законом України від 24 червня 2014 р. “Про пріоритетні напрямки розвитку науки та техніки” наукового напрямку Навчально-наукового інституту енергетики та систем керування Національного університету “Львівська політехніка” “Ресурсозберігаючі технології та інтелектуальні системи керування в енергозабезпеченні об’єктів економічної діяльності” та внесеними змінами від 12 січня 2024 р. “Енергетика та енергоефективність”. Основні результати дисертаційної роботи були використані у процесі виконання держбюджетних науково-дослідних робіт “Теоретичне обґрунтування та експериментальне дослідження ефективності роботи котельних установок в процесі довготривалої експлуатації” (2015-2016 рр., держреєстрація № 0115U000439) та “Розвиток модульного інтегрованого підходу до конфігурування та керування бортових систем електроприводу та електричного живлення автономних транспортних засобів” (2020–2023 рр., № 0120U102206), а також грантів Національного університету «Львівська політехніка» для молодих вчених «Тихохідні горизонтально-осьові вітроустановки з лопатями вітрильного типу для автономних споживачів малої потужності» (2016 р., держреєстрація № 0116U008626) та NATO SPS MYP G5176 “Agile Tyre Mobility for Severe Terrain Environment”, відповідно до наказу № 2244-3-10.

**3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів**  
полягає в пропозиції та розробленні комплексного підходу до синтезу керування нелійними ЕТС на основі енергетичних підходів, розвитку методу структурного синтезу та розробленні методу параметричного синтезу СЕФК нелійними ЕТС, аналізі енергоефективності та енергетичній оптимізації нелінійних ЕТС на основі ТДНП, удосконаленні моделювання ЕТС за допомогою EMR, а також синтезі та дослідженні СЕФК для ЕТС різного типу. Всі експерименти виконувалися здобувачем особисто або за безпосередньої участі із співавторами статей. У всіх наукових роботах, опублікованих у співавторстві, автор дисертації безпосередньо брав участь у постановці завдань, проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, обробці, аналізі,

інтерпретації результатів, формулюванні висновків робіт. Внесок автора у працях, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації.

#### **4. Ступінь використання у дисертації матеріалів і висновків кандидатської дисертації здобувача**

У докторській дисертації “Розвиток методів синтезу нелінійних електротехнічних систем на енергетичній основі” матеріали кандидатської дисертації “Енергоформуєче керування електромеханічними системами на базі синхронної машини з постійними магнітами” Білецького Юрія Олеговича не використовувались.

#### **5. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, які сформульовані в дисертації**

Представлені в дисертації Білецького Ю.О. наукові положення, висновки та рекомендації є теоретично і експериментально обґрунтованими, достовірними та апробованими. Обґрунтування розвинутих в дисертації наукових положень базується на глибокому теоретичному аналізі значної кількості досліджених явищ та процесів як аналітично, так і шляхом комп’ютерного симулювання, а також експериментальних досліджень, які було проведено на сучасному рівні. У проведених дослідженнях використано фундаментальні положення теорії керування, зокрема методи синтезу та налізу систем керування, застосовано низку сучасного програмного забезпечення та науково-дослідного обладнання, а також проведено зіставлення отриманих результатів із даними інших дослідників. Отримані результати апробовані на авторитетних міжнародних конференціях.

#### **6. Наукова новизна одержаних результатів**

*У роботі вперше:*

- розроблено метод параметричного синтезу лінійних та нелінійних систем енергоформуєчого керування, оптимальних за заданим критерієм якості, шляхом формуванням взаємозв’язків і демпфування в рівнянні Ріккати, що дає змогу отримати систему з бажаними показниками якості перехідних процесів;
- запропоновано метод математичного моделювання на енергетичній основі складних систем, який полягає у поєднанні методів енергетичного макропредставлення та енергоформуєчого керування, що дає змогу підвищити точність комп’ютерного симулювання довготривалих динамічних процесів у електротехнічних комплексах з об’єктами різної природи;
- отримано математичні моделі низки електротехнічних систем – векторно керована синхронна машина з постійними магнітами з урахуванням втрат в сталі, вітроустановка з синхронним генератором, відцентрова помпа з електроприводом – у вигляді множин лінійних перетворювачів потужності, що дало змогу аналізувати ефективність енергоперетворення в цих системах та

отримати оптимальні з енергетичної точки зору координати усталених режимів їх роботи;

- запропоновано для аналізу та синтезу нелінійних SISO систем поєднати енергетичні підходи – метод енергоформуючого керування для синтезу їх роботи в динамічних режимах та метод лінійної нерівноважної термодинаміки для енергетичної оптимізації їх роботи в усталених режимах, що дає змогу підвищити якісні та енергетичні показники таких систем;
- запропоновано імпульсний спосіб роботи сонячної автономної водопомпової установки прямого привода завдяки введенню в канал перетворення енергії проміжного суперконденсаторного накопичувача електричної енергії, який додатково виконує функцію пошуку точки максимальної потужності сонячних фотоелектричних панелей, що дає змогу забезпечити pompування води з максимальною енергетичною ефективністю незалежно від інтенсивності падаючої на панелі сонячної радіації.

*Отримали подальший розвиток:*

- метод структурного синтезу нелінійних систем керування формуванням взаємозв'язків та демпфування шляхом введення додаткових керуючих впливів на непрямоконтрольовані координати, що дає змогу суттєво розширити регульовальні можливості енергоформуючого керування та реалізовувати необхідні стратегії керування;
- метод універсального опису в безрозмірних одиницях закономірностей роботи лінійних перетворювачів потужності на основі залежностей лінійної нерівноважної термодинаміки щодо його поширення на нелінійні об'єкти у вигляді множини лінійних перетворювачів потужності.

## **7. Практичне значення одержаних результатів**

Поєднання розвинених в роботі методів аналізу, синтезу та моделювання на енергетичній основі вже використовується та може бути використано у подальших дослідженнях і розробках реальних ЕТС. Зокрема, запропонований метод синтезу керування складними нелінійними ЕТС дає змогу отримати та проаналізувати оптимальну стійку СЕФК з широкими регульовальними можливостями та визначеною стратегією керування. Модифікована процедура синтезу СЕФК розширює гнучкість САК, параметричний синтез дає змогу отримати оптимальні налаштування формувачів керуючих впливів (ФКВ), оптимізація усталених режимів нелінійних об'єктів на основі ТДНП забезпечує енергоефективні стратегії керування, а удосконалений метод ЕМР уможливило комп'ютерне симулювання роботи ЕТС на тривалих проміжках часу.

Отримані структури ФКВ СЕФК активною та напівактивною гібридними акумуляторно-суперконденсаторними системами накопичення енергії забезпечують керування згідно СЕМ та можуть бути використані в ЕТС з відповідними енергонакопичувальними системами.

Запропонований підхід до аналізу SISO систем зі складною нелінійною динамікою на основі лінійної ТДНП дає змогу оцінити енергетичну якість ЕТС, а також синтезувати оптимальні з енергетичної точки зору координати їх роботи в усталених режимах, що слугуватимуть завданням (частиною стратегії) керування. Все це може бути використано у подальших дослідженнях та розробках реальних ЕТС, зокрема на базі різного типу синхронних електричних машин з постійними магнітами, сонячних та вітрових електрогенеруючих, а також водопомпових систем.

Отримані результати використовуються у науково-дослідних роботах НДІ «СКБ електромеханічних систем» кафедри електромехатроніки та комп'ютеризованих електромеханічних систем (ЕКС) Національного університету «Львівська політехніка», у виготовленні підсистем транспортних засобів ТОВ «ДІА-Н», у системах керування енергогенеруючими системами ТОВ «ЛЕОЕНЕРДЖІ», електротехнічним устаткуванням ТОВ «РЕД ТЕГ ІНК» і ТОВ «КАРПАТНАФТОХІМ», а також у навчальному процесі кафедри ЕКС Львівської політехніки для бакалаврів та магістрів спеціальності 141 *Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка* у начальних дисциплінах «Електрообладнання і системи керування електромобілів» та «Математичне моделювання елементів та систем повних і гібридних електромобілів та міського електротранспорту», «Методи синтезу та аналізу САК», «Спецкурс з наукових досліджень спеціальності, частина 1». Акти впровадження результатів роботи у вказаних організаціях приведено у додатках до дисертації.

## **8. Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих наукових працях**

Дисертація Білецького Юрія Олеговича містить особисто отримані здобувачем науково обґрунтовані результати, а кількість та якість наукових праць, опублікованих за її матеріалами, відповідають постанові Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року «Деякі питання присудження (позбавлення) наукових ступенів», що затверджує «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук».

Основний зміст, наукові положення, результати і висновки дисертаційної роботи опубліковано у 33-х наукових працях, зокрема: 1 монографія та 1 розділ колективної монографії, що індексується наукометричною базою Scopus; 5 статей у закордонних виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus (Q1, Q2); 13 статей у наукових фахових виданнях України; 7 матеріалів міжнародних конференцій, що індексуються наукометричною базою Scopus; 13 тез доповідей на міжнародних, всеукраїнських конференціях, семінарах.

### **Статті у наукових виданнях, що входять у наукометричну базу даних SCOPUS**

1. **Biletskyi, Y., & Shchur, I. (2025).** Efficiency improvement in standalone solar

PV water pumping system by pulsating pump operation based on intermediate supercapacitor buffer. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 11, 100913. (Q2)

*Здобувачем запропоновано, змодельовано та досліджено особливості роботи різних структур та конфігурацій сонячних водопомпових систем.*

2. Shchur, I., **Biletskyi, Y.**, & Kopchak, B. (2024). Efficiency Analysis and Optimization of Two-Speed-Region Operation of Permanent Magnet Synchronous Motor Taking into Account Iron Loss Based on Linear Non-Equilibrium Thermodynamics. *Machines*, 12(11), 826. (Q2)

*Здобувачем досліджено особливості роботи синхронного двигуна з постійними магнітами під час роботи на різних швидкостях з використанням підходу лінійної нерівноважної термодинаміки.*

3. Shchur, I., Lis, M., & **Biletskyi, Y.** (2023). A non-equilibrium thermodynamic approach for analysis of power conversion efficiency in the wind energy system. *Energies*, 16(13). (Q1)

*Здобувачем досліджено особливості роботи вітроенергоустановки як комплексної системи, що складається з перетворювачів потужності, за допомогою підходу лінійної нерівноважної термодинаміки.*

4. Lozynskyy, A., Perzynski, T., Kozyra, J., **Biletskyi, Y.**, & Kasha, L. (2021). The interconnection and damping assignment passivity-based control synthesis via the optimal control method for electric vehicle subsystems. *Energies*, 14(12). (Q1)

*Здобувачем запропоновано та досліджено метод параметричного синтезу оптимальних систем енергоформування керування лінійними та нелінійними об'єктами.*

5. Shchur, I., & **Biletskyi, Y.** (2021). Passivity-based control of water pumping system using BLDC motor drive fed by solar PV array with battery storage system. *Energies*, 14(23). (Q1)

*Здобувачем розроблено систему енергоформування керування сонячною водопомповою установкою з системою енергетичного менеджменту.*

#### **Статті у наукових фахових виданнях України**

6. **Білецький, Ю.** (2024). Підвищення ефективності роботи сонячної водопомпової установки на основі термодинамічного аналізу перетворення енергії у відцентровій pompі. *Electrical Power and Electromechanical Systems*, 1(6), 11-24. (категорія Б)

*Здобувачем досліджено характеристики роботи автономної сонячної установки для помпування води як комплексної системи, що складається з перетворювачів потужності, за допомогою підходу лінійної нерівноважної термодинаміки.*

7. Biletskyi, R., Lozynskyy, O., **Biletskyi, Y.**, & Tsyapa, V. (2021). Analysis of Lyapunov matrices' application methods for optimization of stationary dynamic systems. *Електроенергетичні та електромеханічні системи*, 3(1), 1–7. (категорія Б)

*Здобувачем синтезовано оптимальні системи керування динамічними об'єктами шляхом формування матриці Ляпунова.*

8. Shchur, I., Kuzyk, R., & **Biletskyi, Y.** (2021). Passivity-based control system for stand-alone hybrid electrogenerating complex. *Applied Aspects of Information Technologies*, 4(2), 140–152. (категорія Б)

Здобувачем проведено математичне моделювання та дослідження гібридного енергогенеруючого комплексу як гамільтонової системи з керованими портами.

9. Lozynskyu, A., Demkiv, L., Lozynskyu, O., & **Biletskyi, Y.** (2020). Optimization of the electromechanical system by formation of a feedback matrix based on state variables. *Електроенергетичні та електромеханічні системи*, 2(1s), 18–26. (категорія Б)

Здобувачем синтезовано оптимальні системи керування електромеханічними об'єктами шляхом розв'язку рівнянь Ріккати.

10. Lozynskyu, O., **Biletskyi, Y.**, Lozynskyu, A., Moroz, V., & Kasha, L. (2020). Construction of open-loop electromechanical system fundamental matrix and its application for calculation of state variables transients. *Energy Engineering and Control Systems*, 6(2), 110–119. (категорія Б)

Здобувачем досліджено метод аналізу електромеханічних систем шляхом формування фундаментальної матриці.

11. Shchur, I., & **Biletskyi, Y.** (2020). Improved structure of passivity-based control of battery-supercapacitor hybrid energy storage system. *Applied Aspects of Information Technologies*, 3(4), 232–245. (категорія Б)

Здобувачем запропоновано та досліджено нові структури формувачів керуючих впливів енергоформуючих систем керування гібридними акумуляторно-суперконденсаторними системами накопичення енергії.

12. **Білецький, Ю. О.**, Кузик, Р. В., & Ломпарт, Ю. В. (2020). Синтез та аналіз системи енергоформуючого керування вітросонячною енергоустановкою з гібридною системою накопичення енергії. *Електроенергетичні та електромеханічні системи*, 2(1), 8–17. (категорія Б)

Здобувачем проведено математичне моделювання та синтез системи керування вітросонячною енергогенеруючою установкою з гібридною системою накопичення як гамільтонової системи з керованими портами

13. Shchur, I., Havdo, I., & **Biletskyi, Y.** (2020). Modeling of two-motor front-wheel drive control for electric vehicle with electronic differential based on energetic macroscopic representation. *Energy Engineering and Control Systems*, 6(1), 51–60. (категорія Б)

Здобувачем проведено математичне моделювання та синтез системи керування електромеханічною системою передньопривідного електромобіля за допомогою макроенергетичного представлення

14. Lozynskyu, O., Moroz, V., Biletskyi, R., & **Biletskyi, Y.** (2019). Analytical design of dynamic system regulators taking into account the effect of disturbing factors. *Computational Problems of Electrical Engineering*, 9(1), 21–26. (категорія Б)

Здобувачем синтезовано оптимальну систему керування динамічним об'єктом, що враховує зовнішні збурення.

15. Щур, І. З., & **Білецький, Ю. О.** (2018). Енергоефективне пряме керування моментом у двозонному електроприводі електромобіля на базі синхронної машини з постійними магнітами. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Електроенергетичні та електромеханічні системи*, 900, 57–66. (категорія Б)

Здобувачем синтезовано та досліджено енергоефективне пряме керування моментом двозонного електроприводу електромобіля на базі синхронної



машини.

16. Білецький, Ю. О. (2017). Системи енергоформуючого керування синхронною машиною з постійними магнітами як гамільтоновою системою з керованими портами. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Серія: Електроенергетичні та електромеханічні системи, 840, 3–9. (категорія Б)

*Здобувачем синтезовано та досліджено енергоформуючі системи керування електроприводу на базі синхронної машини з постійними магнітами.*

17. Білецький, Ю. О., & Білецький, Р. О. (2017). Енергоформуюче керування нелінійними системами на прикладі двозонного електроприводу постійного струму. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Серія: Електроенергетичні та електромеханічні системи, 870, 9–16. (категорія Б)

*Здобувачем синтезовано та досліджено двозонні енергоформуючі системи керування електроприводу постійного струму.*

18. Корендій, В. М., Білецький, Ю. О., Дмитерко, П. Р., & Фурдас, Ю. В. (2016). Обґрунтування розвитку та аналіз конструктивних особливостей горизонтально-осьових вітроустановок з лопатями вітрильного типу. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Серія "Динаміка, міцність та проектування машин і приладів", 838, 37–48. (категорія Б)

*Здобувачем проведено аналіз особливостей систем вітроустановок та можливостей керування ними.*

#### Монографія

19. Щур, І. З., & Білецький, Ю. О. (2018). Енергоформуюче керування нелінійними електромеханічними системами з синхронними машинами на постійних магнітах: монографія. Львів: Видавництво Тараса Сороки, 172 с.

*Здобувачем проведено порівняльний аналіз енергоформуючих систем керування, розширено наявні підходи формування взаємоз'язків та демпфування до лінійних та нелінійних систем.*

#### Розділ у колективній монографії

20. Shchur, I., Lozinskyi, A., Korpchak, B., Biletskyi, Y., & Shchur, V. (2018). Passive stall control systems of power limitation modes for vertical axis wind turbines (VAWT). *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 452, 131–159.

*Здобувачем розроблено систему енергоформуючого керування вітроенергоустановкою з оптимальною швидкістю та адаптацією до високих швидкостей вітру.*

#### Наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації

21. Shchur, I., & Biletskyi, Y. (2020). Energetic microscopic representation (EMR) and passivity-based control of multi-input systems with non-linear coupled dynamics (PMSM control example). *Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Problems of Automated Electrodrive: Theory and Practice (PAEP)*, 1–6.

22. Kuzyk, R., & Biletskyi, Y. (2019). Energy-shaping control of the wind-solar power plant with a hybrid energy storage system. *Proceedings of the 9th International Youth Science Forum "Litteris et Artibus"*, 80–85.

23. Shchur, I., & Biletskyi, Y. (2019). Passivity-based control of hybrid energy storage system with common battery and modular multilevel DC-DC converter-based supercapacitor packs. *Computational Problems of Electrical Engineering: 20th International Conference*, September 15–18, Slavske–Lviv, Ukraine.

24. Shchur, I., & **Biletskyi, Y.** (2018). Interconnection and damping assignment passivity-based control of semi-active and active battery/supercapacitor hybrid energy storage systems for stand-alone photovoltaic installations. *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering: Proceedings of the 14th International Conference*, 210–214.
25. Lompart, Y., & **Biletskyi, Y.** (2018). Analysis of the feasibility of using an AC motor with new winding type for building electric vehicle. *VIII Міжнародний молодіжний науковий форум "Litteris et Artibus" & 13-та Міжнародна конференція "Молоді вчені до викликів сучасної технології"*, 117–119.
26. Shchur, I., & **Biletskyi, Y.** (2018). Battery currents limitation in passivity-based controlled battery/supercapacitor hybrid energy storage system. *Electronics and Nanotechnology (ELNANO): Proceedings of the 2018 IEEE 38th International Conference*, 504–510.
27. Shchur, I., & **Biletskyi, Y.** (2018). Robust passivity-based controllers for fast output voltage regulated, non-ideal DC-DC boost converter in Hamiltonian representation. *2018 3rd IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems: Proceedings*, 310–315.
28. Luchko, M., & **Biletskyi, Y.** (2018). Comparative analysis of different types of dynamic solar tracking systems. *VIII Міжнародний молодіжний науковий форум "Litteris et Artibus" & 13-та Міжнародна конференція "Молоді вчені до викликів сучасної технології"*, 115–116.
29. Shchur, I., & **Biletskyi, Y.**, Holovach, I. (2017). Improving of IDA-PBC systems by forming additional regulatory actions on directly uncontrollable system loops. *First IEEE Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering UKRCON-2017: Proceedings*, 504–507.
30. Biletskyi, R., & **Biletskyi, Y.** (2017). Nonlinearity compensation for two-zone energy-shaping control systems of DC drive. *Litteris et Artibus: VII International Youth Science Forum*, 164–166.
31. Shchur, I., **Biletskyi, Y.**, & Shchur, V. (2017). Energy efficient and simple control of stand-alone combine heat-power generation small wind turbine. *First IEEE Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering UKRCON-2017: Proceedings*, 483–488.
32. Biletskyi, R., & **Biletskyi, Y.** (2016). Control systems for DC motor as port-controlled Hamiltonian system. *Litteris et Artibus: VI International Youth Science Forum*, 197–198.
33. **Biletskyi, Y.** (2015). Control systems of permanent magnet synchronous machine as port-controlled Hamiltonian system. *Litteris et Artibus: V International Youth Science Forum*, 194–195.

Основні положення та результати дисертаційної роботи Юрія БІЛЕЦЬКОГО повністю викладено у зазначених наукових працях.

## **9. Апробація основних результатів досліджень на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо**

Результати дисертаційної роботи, основні положення та висновки доповідалися та обговорювалися на XXV міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія та практика. (ПАЕП)” (м.

Кременчук, 2020 р.), XIV-XV International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET) (Slavske, 2018; Slavske, 2019), 38th International conference Electronics and nanotechnology (ELNANO-2018) (Kyiv-2018); III IEEE International conference on intelligent energy and power systems (IEPS-2018) (Kharkiv-2018), I IEEE Ukraine conference on electrical and computer engineering (UKRCON-2017) (Kyiv-2017), науковому семінарі «Моделі та методи комп'ютерного аналізу електричних кіл та електромеханічних систем» Вченої ради НАН України “Наукові основи електроенергетики” (Львів, 2024 р.), науково-прикладна конференція “Krakowskie Dni Elektryka 2019” (м. Краків, Польща, 2019 р.), відкрита лекція у University of Applied Sciences MittellГSHEen (м. Гіссен, Німеччина, 2019 р.), зустріч з представниками Гданських університетів (м. Гданськ, Польща, 2017 р.), V-VIII міжнародній науковій конференції молодих вчених “Electric Power Engineering and Control Systems (EPECS)” (м. Львів, 2015 р.; м. Львів, 2016 р.; м. Львів, 2017 р.; м. Львів, 2018 р.).

**10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення**  
Дисертаційна робота Юрія БІЛЕЦЬКОГО складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Дисертація викладена професійно, кваліфіковано та грамотно. Матеріали логічно систематизовані та коректно оформлені. За структурою, мовою та стилем викладення дисертація відповідає вимогам МОН України.

#### **11. Відповідність принципам академічної доброчесності**

У процесі перевірки на академічний плагіат дисертації Юрія БІЛЕЦЬКОГО встановлено відповідність електронного варіанту дисертації, наданого здобувачем, паперовому варіанту дисертації. У результаті перевірки дисертації Юрія БІЛЕЦЬКОГО академічного плагіату не виявлено.

#### **12. Відповідність дисертації паспорту спеціальності, за якою вона представлена до захисту**

Робота, підготовлена за спеціальністю 141 *Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*, відповідає паспорту спеціальності 05.09.03 *Електротехнічні комплекси та системи*, зокрема напрямкам: електромеханічні системи; регульований електропривід, структури та системи керування ним; нетрадиційні електромеханічні системи з використанням накопичувачів енергії та вентиляльних перетворювачів; електротехнологічні комплекси; автоматизація електротехнічних комплексів; системи автоматичного керування та регулювання. Дисертація відповідає вимогам, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук, п. 7 та п. 9 Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197.

### **13. Характеристика здобувача, ступінь його наукової зрілості**

Проведені дослідження та опубліковані наукові праці характеризують Білецького Юрія Олеговича як кваліфікованого фахівця і дослідника. Здобувач на високому рівні володіє методологією наукових досліджень. Йому притаманне логічне мислення, вміння ставити наукові завдання та пропонувати нестандартні шляхи їх вирішення, виділяти основні та вторинні аспекти. Юрій БІЛЕЦЬКИЙ є сформованим, кваліфікованим науковцем із глибоким теоретичним та практичним рівнем підготовки.

**У ході обговорення дисертаційної роботи до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.**

### **14. З урахуванням зазначеного, ухвалили:**

**14.1.** Дисертація Юрія БІЛЕЦЬКОГО “Розвиток методів синтезу нелінійних електротехнічних систем на енергетичній основі” (у вигляді наукової доповіді) є завершеною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно, у якій розроблено комплексний підхід до синтезу, аналізу та моделювання електротехнічних систем на енергетичній основі, що полягає в структурно-параметричному синтезі системи енергоформуючого керування, енергетичній оптимізації та формуванні стратегії керування за допомогою інструментів термодинаміки нерівноважних процесів, а також в моделюванні, що поєднує макроенергетичне представлення та гамільтоновий формалізм

**14.2.** Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертації, є новими, науково-обґрунтованими, логічними, послідовними, аргументованими, достовірними, практично цінними. Дисертація є оригінальною, самостійною, завершеною науковою працею, яка характеризується єдністю змісту. Її зміст не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень. Фактів порушення академічної доброчесності не встановлено, текстових запозичень, ідей, наукових матеріалів і результатів досліджень інших авторів без посилання на джерела не виявлено, що засвідчує відсутність порушення академічної доброчесності.

**14.3.** Дисертація відповідає спеціальності 141 *Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка* та паспорту спеціальності 05.09.03 *Електротехнічні комплекси та системи* (Перелік наукових спеціальностей, затверджений Наказом Міністерства освіти і науки України № 1057 від 14.09.2011р). У 33 наукових працях повністю відображені результати дисертації, зокрема: 1 монографія та 1 розділ колективної монографії, що індексується наукометричною базою Scopus; 5 статей у закордонних виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus (Q1, Q2); 13 статей у наукових фахових виданнях України; 7 матеріалів міжнародних конференцій, що індексуються наукометричною базою Scopus; 13 тез доповідей на міжнародних, всеукраїнських конференціях, семінарах. Дисертація відповідає вимогам, які

ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук, п. 7 та 9 Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197.

14.4.3 урахуванням актуальності теми дослідження, наукової новизни, теоретичного та практичного значення одержаних результатів, впровадження їх у практику, обґрунтованості висновків на основі одержаних достовірних результатів, особистого внеску здобувача у розв'язання важливої науково-технічної проблеми, а також беручи до уваги наукову зрілість та професійні якості Юрія БІЛЕЦЬКОГО, рекомендуємо дисертацію “Розвиток методів синтезу нелінійних електротехнічних систем на енергетичній основі” для подання до розгляду у спеціалізовану вчену раду на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 *Електротехнічні комплекси та системи*.

Рецензенти:

Професор кафедри  
електромехатроніки та комп'ютеризованих  
електромеханічних систем,  
Національного університету  
“Львівська політехніка”, д.т.н., проф.



Андрій МАЛЯР

Професор кафедри  
електромехатроніки та комп'ютеризованих  
електромеханічних систем,  
Національного університету  
“Львівська політехніка”, д.т.н., проф.



Ярослав ПАРАНЧУК

Професор кафедри  
електромехатроніки та комп'ютеризованих  
електромеханічних систем,  
Національного університету  
“Львівська політехніка”, д.т.н., проф.



Андрій КУЦИК