Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії *Толстов Дмитро Вадимович*
1993 року народження, громадянин *Україна*
освіта вища: закінчив у 2016 році *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
за спеціальністю (спеціальностями) *«Атомна енергетика»*
працює *керівником відділу трейдингу та прогнозування в ТОВ "ПВ Сервіс", Київ*
виконав акредитовану освітньо-наукову програму *«Електроенергетичні системи та комплекси»*
Разова спеціалізована вчена рада *ДФ 26.223.05*, утворена наказом *Інституту загальної енергетики НАН України, м. Київ* від «14» липня 2026 року № 23-осн
у складі:

Голови разової спеціалізованої вченої ради	*Ігор КАРПАЛЮК* – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник відділу прогнозування розвитку електроенергетичного комплексу Інституту загальної енергетики НАН України;
Рецензентів:	*Валентина СТАНИЦІНА* – кандидат технічних наук, старший дослідник, завідувач відділу прогнозування енергетичної ефективності та перспективних паливно-енергетичних балансів Інституту загальної енергетики НАН України; *Наталія МАЙСТРЕНКО* – кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу прогнозування енергетичної ефективності та перспективних паливно-енергетичних балансів Інституту загальної енергетики НАН України;
Офіційних опонентів:	*Євген ЗАЙЦЕВ* – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу теоретичної електротехніки та діагностики електротехнічного обладнання Інституту електродинаміки НАН України; *Микита ВОРОБЙОВ* – кандидат технічних наук, доцент кафедри атомної енергетики Навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

на засіданні «11» вересня 2026 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань *14 – «Електрична інженерія»*

Толстову Дмитру Вадимовичу

на підставі публічного захисту дисертації *«Інтеграція електролізного виробництва водню до електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії»*

за спеціальністю *141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

Дисертацію виконано в Інституті загальної енергетики НАН України, м. Київ

Науковий керівник: *Тетяна БІЛАН*, кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу трансформації структури паливно-енергетичного комплексу Інституту загальної енергетики НАН України

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису. Дисертаційна робота Толстова Дмитра Вадимовича викладена державною мовою і є самостійно виконаним науковим дослідженням. Висновки та положення, викладені в тексті роботи, отримані автором особисто. Основні наукові результати, отримані автором дисертації, наведено у наукових працях, поданих у списку публікацій. У дисертаційній роботі Толстова Дмитра Вадимовича

отримано нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують важливе науково-прикладне завдання розроблення моделей інтеграції електролізного виробництва водню в електроенергетичні системи з високою часткою відновлюваних джерел енергії для визначення енергетично та економічно доцільних обсягів виробництва водню, електроспоживання водневої підсистеми та змін енергетичного балансу країни з урахуванням стохастичного характеру ВДЕ генерації, ресурсних обмежень та ринкових умов.

Наукова новизна роботи полягає в такому:

– *уперше* розроблено нову модель виробництва, перетворення та споживання водню в структурі енергозабезпечення країни, яка, на відміну від існуючих моделей водневих технологій, враховує взаємозв'язок між потребою у виробництві водню, необхідними обсягами виробництва електричної енергії відновлюваними джерелами та змінами обсягів енергозабезпечення країни іншими енергоносіями, що дозволило визначити доцільні обсяги виробництва електричної енергії для забезпечення системи виробництва водню та відповідні зміни загального енергетичного балансу країни;

– *уперше* запропоновано представлення електроенергії ВДЕ в моделі енергозабезпечення країни у вигляді декількох окремих ресурсних потоків: електроенергії поза балансуючою групою ДП «Гарантований покупець» від СЕС та ВЕС та електроенергії позитивних небалансів – із визначенням їх економічних критеріїв вартості, що дозволило формалізувати ціну електроенергії як внутрішній параметр балансово-оптимізаційної моделі та підвищити точність оцінювання економічної ефективності виробництва водню і мінімізації LCOH;

– *уперше* введено в модель енергозабезпечення країни вузол транспортування водню з урахуванням споживання електричної енергії на процеси транспортування та перетворення, що дало змогу підвищити точність оцінювання сумарних енергетичних витрат у ланцюгу «виробництво – зберігання–транспортування–споживання водню» та їх впливу на баланс електроенергетичної системи.

– *набули подальшого розвитку* підходи до оцінювання техніко-економічної ефективності інтеграції водневих технологій у ринкові механізми електроенергетики, зокрема підходи до визначення собівартості водню за умови фінансової беззбитковості реалізації електричної енергії ВДЕ-генерації поза балансуючою групою ДП «Гарантований покупець».

Здобувач має 9 наукових публікацій за темою дисертації, з них 6 публікацій, що відповідають вимогам пунктів 8, 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії:

1. **Толстов Д. В.** (2025) Інтеграція PEM електролізера в балансуючу групу ВДЕ України. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит.* № 8, С. 3–15. (фахове видання, категорія Б, ISSN 2313-0253, DOI: 10.20998/2313-8890.2025.08.03);

2. **Толстов Д. В**. (2023) Показники LCOH електролізерів, що працюють відокремлено від генерації. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит.* № 9, С. 12–22. (фахове видання, категорія Б, ISSN 2313-0253, DOI: 10.20998/2313-8890.2023.09.03);

3. **Толстов Д. В.** (2025) Модель міжпродуктового балансу виробничої підсистеми за розвитку водневих технологій. *Системні дослідження в енергетиці*. № 4(80), С. 143–155. (фахове видання, категорія Б, ISSN 2786-8141, DOI: 10.15407/srenergy2024.04.143);

4. **Толстов Д. В.**, Білан Т. Р. (2025) Оцінка потреб енергоємних галузей промисловості України в ресурсах для декарбонізації. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. № 3(25), С. 27–38. (фахове видання, категорія Б, DOI: 10.20998/2413-4295.2025.03.04);

5. **Толстов Д.**, Білан Т. (2025) Дослідження середньозваженої вартості транспортування водню з урахуванням потенційних місць зберігання та виробництва. *Системні дослідження в*

енергетиці. № 2(82), С. 101–112. (фахове видання, категорія Б, DOI: 10.15407/srenergy2025.02.101);

6. **Толстов Д. В.** (2024) Визначення оптимальної ставки «зеленого» тарифу для виходу СЕС з балансуючої групи ДП «Гарантований покупець». *Системні дослідження в енергетиці.* № 4(80), С. 143–155. (фахове видання, категорія Б).

3 тези доповідей, опубліковані у збірниках матеріалів науково-практичних конференцій:

7. **Толстов Д. В.** (2022) Динамічні показники електролізерів, як споживачів-регуляторів енергосистеми. *VII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Інноваційна модернізація економіки України в умовах євроінтеграційних процесів»*, 16 листопада 2022 року, м. Кременчук. С. 45–48;

8. **Толстов Д. В.**, Тесленко О. І. (2022) Аналіз технологічної здатності водневих електролізерів для регулювання ОЕС України. *X Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «Наукова молодь – 2022»*, 10 листопада 2022 року, м. Київ. С. 234–237;

9. **Толстов Д. В.** (2024) Вимоги до об'єктів «зеленої» енергетики для роботи на ринку електричної енергії. *XX Міжнародна науково-практична конференція «Теплова енергетика: шляхи реновації та розвитку»*, 2024 року, м. Київ. С. 37–40;

У дискусії взяли участь (голова, рецензенти, офіційні опоненти, інші присутні) та висловили зауваження:

1) У розділі 2 методичною основою дослідження визначено балансово-оптимізаційну модель виробничого типу М. І. Капліна, подальший розвиток якої здійснено шляхом включення водневої підсистеми. Для чіткішого представлення особистого внеску здобувача доцільно було б окремо систематизувати елементи базової моделі та розроблені автором складові водневої підсистеми, зокрема її вузли, зв'язки та математичний опис.

2) Витратні коефіцієнти водню та електричної енергії в основному використовуються як фіксовані технологічні параметри. Для довгострокового прогнозування доцільно було б врахувати можливе підвищення енергоефективності, що може змінювати питомі витрати електроенергії, водню та допоміжних ресурсів у перспективі.

3) У роботі опрацьовано сценарії декарбонізації металургійної, аміачної та цементної промисловості. Водночас сценарії для окремих галузей сформовані за дещо різними принципами: для сталі розглядаються рівні фактичного та потенційного завантаження виробничих потужностей, для аміаку - фактичний випуск і використання проєктної потужності, для цементної галузі - фактичне виробництво, післявоєнний попит та переведення окремих підприємств на водень. Доцільним було б доповнити галузеві сценарії узагальненою порівняльною оцінкою за зіставними рівнями впровадження водневих технологій, що спростило б порівняння потреб окремих галузей у водні та електричній енергії.

4) У моделі враховано обмеження водних ресурсів для електролізного виробництва. Разом з тим доцільно було б поглибити просторову та часову деталізацію доступності водних ресурсів з урахуванням сезонності, басейнових обмежень та конкуренції з іншими видами водокористування, особливо для південних та східних регіонів України.

5) Для практичного використання моделі у довгостроковому прогнозуванні корисним було б додатково перевірити стійкість результатів до зміни ключових макроекономічних і цінових припущень - темпів відновлення промисловості, цін на природний газ та електроенергію, CAPEX електролізерів.

6) У вступі дисертації бажано було б виокремити методи дослідження із зазначенням їх застосування для вирішення конкретних завдань роботи.

7) В роботі наявні технічні недоліки в оформленні списку використаних джерел, зокрема трапляються окремі дублювання бібліографічних позицій та неточності в їх оформленні.

8) Визначені потреби енергоємних галузей у водні базуються на певних сценарних обсягах виробництва. Для прогнозних розрахунків доцільно було б детальніше обґрунтувати траєкторії відновлення та розвитку металургії, виробництва аміаку і цементу та оцінити діапазон водневого попиту за альтернативних макроекономічних сценаріїв.

9) У розрахунках використовуються питомі технологічні витрати, характерні для обраних водневих технологій. У довгостроковій перспективі ці коефіцієнти можуть змінюватися під впливом зростання енергоефективності, удосконалення електролізерів та оптимізації промислових процесів. Доцільним було б ввести динаміку питомих витрат або принаймні оцінити чутливість результатів до їх зниження.

10) Додатковий попит на електричну енергію при масштабному виробництві водню оцінено переважно в енергетичних обсягах. Для завдань планування

11) електроенергетичної системи корисним було б сформувати типові добові та сезонні профілі цього навантаження, оскільки однаковий річний обсяг споживання може по-різному впливати на необхідність розвитку генеруючих, маневрових і мережевих потужностей.

12) Економічні результати значною мірою залежать від ціни електроенергії, тарифів, CAPEX електролізера та КВВП. Доцільно було б доповнити сценарний аналіз діапазонами невизначеності або ймовірнісними оцінками цих параметрів, що дозволило б визначити не лише точкове значення LCOH, а й інтервал можливих результатів.

13) У роботі окремо оцінено потенціал ВДЕ, водневу інфраструктуру та попит у промисловості. Подальший розвиток моделі доцільно спрямувати на врахування конкуренції за нові обсяги електроенергії між електролізерами та іншими напрямами електрифікації економіки – тепловими насосами, електротранспортом, електричними технологіями в промисловості – що дозволить комплексніше прогнозувати структуру майбутнього попиту.

14) У роботі для формування керуючого сигналу електролізера використано фільтр експоненціального рухомого середнього (ЕМА). В роботі не зазначено чи проводився аналіз впливу коефіцієнта згладжування на результати керування та яким чином обґрунтовано вибір його значення з огляду на компроміс між швидкодією системи керування та ступенем згладжування випадкових коливань небалансу?

15) При моделюванні електролізера як гнучкого навантаження основну увагу приділено активній потужності, швидкодії та економічним показникам. Чи розглядалися при цьому характеристики силового перетворювального обладнання, споживання або регулювання реактивної потужності, а також можливий вплив потужного електролізного комплексу на якість напруги та рівень гармонічних спотворень у точці його приєднання до мережі?

16) У розрахунках використано технічні характеристики PEM-електролізера, зокрема широкий діапазон регулювання навантаження та високу швидкість зміни потужності. Як при цьому враховано можливий вплив багаторазових циклів зміни навантаження, роботи на частковій потужності та пускових режимів на деградацію стеків, їх ресурс і ККД? Чи може врахування цих факторів вплинути на довгострокову оцінку LCOH(Levelized Cost of Hydrogen)?

17) У моделі враховано ресурсні обмеження, зокрема доступність водних ресурсів. Наскільки детально при цьому враховано технологічну підготовку води для електролізу? Чи оцінювалися енергоспоживання систем водоочищення, вимоги до якості води та їхній вплив на допоміжне електричне навантаження електролізного комплексу?

18) Для підвищення відтворюваності результатів чи доцільно було б у додатках сформувати зведену таблицю основних параметрів моделі електролізера із зазначенням джерел їх отримання, діапазонів допустимих значень та поділом на фактичні дані, технічні характеристики й сценарні припущення?

19) У тексті дисертаційної роботи зустрічаються стилістичні та граматичні помилки.

20) У дисертації електролізне виробництво водню розглядається переважно у взаємодії з ВДЕ-генерацією та балансуючими групами. Для повнішої системної оцінки доцільно було б окремо розглянути сценарії електропостачання електролізерів від низьковуглецевої базової генерації, у тому числі атомної, та порівняти їх із використанням позитивних небалансів СЕС і ВЕС за КВВП, LCOH і впливом на добовий графік навантаження.

21) Масштабна декарбонізація металургії, виробництва аміаку та цементу за рахунок водню суттєво збільшує попит на електричну енергію. Було б доцільно доповнити дослідження оцінкою того, як таке додаткове електроспоживання змінює потребу у базовій, напівпіковій і маневровій генерації та впливає на баланс потужності ОЕС України у характерні зимові й літні періоди.

22) Розрахунки LCOH виконано для конкретних цінових параметрів, тарифів, ставки дисконтування та капітальних витрат. З огляду на високу мінливість українського ринку електроенергії доцільно було б провести систематичний аналіз чутливості до ціни РДН, вартості небалансів, тарифу на передачу, CAPEX електролізера, ставки дисконтування та КВВП, визначивши критичні значення, за яких змінюється перевага між розглянутими сценаріями.

23) Оцінювання сезонного зберігання водню зосереджене переважно на місткості соляних структур та питомій вартості транспортування. Практичну цінність моделі можна було б підвищити формуванням погодинного або помісячного балансу «виробництво – закачування – відбір – споживання водню», що дозволило б визначити необхідний робочий об'єм сховища і продуктивність компресорних станцій з урахуванням сезонності ВДЕ та промислового попиту.

24) У роботі використано значний набір сценарних припущень щодо майбутніх обсягів ВДЕ, промислового виробництва, цін та техніко-економічних характеристик технологій. Доцільно було б чіткіше сформувати базовий, консервативний та оптимістичний сценарії розвитку, щоб відокремити результати, стійкі до зміни вихідних умов, від результатів, що суттєво залежать від прогнозних припущень.

Вказані вище зауваження мають рекомендаційний характер і не знижують наукової та практичної цінності роботи.

Результати відкритого голосування:

«За» 5 членів ради,

«Проти» 0 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує

Толстову Дмитру Вадимовичу

ступінь доктора філософії з галузі знань *14 – «Електрична інженерія»*

за спеціальністю *141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

Відеозапис трансляції захисту дисертації додається.

Голова разової спеціалізованої вченої ради _____ Ігор КАРПАЛЮК
(підпис)

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЗАГАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ
Ідентифікаційний код 04539627
м. Київ