

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, завідувача лабораторії математичного моделювання енергоринків Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України

Борукаєва Зелімхана Харитоновича

на дисертаційну роботу Дерев'янка Дениса Григоровича

«РОЗВИТОК НАУКОВИХ ЗАСАД ОПТИМАЛЬНОЇ ВЗАЄМОДІЇ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси.

1.Актуальність теми дисертації. В останні два десятиліття відбувся значний перехід від централізованих енергетичних систем до децентралізованих локальних енергетичних систем (ЛЕС) із використанням місцевих поновлюваних ресурсів виробництва електроенергії. Такий підхід призводить до розосередження генеруючих установок і тим самим зниження складності її передачі і втрат в електричних мережах, підвищення ефективності використання енергії і до енергетичної незалежності регіонів. Енергія генерована у ЛЕС стала відігравати ключову роль у процесі регіонального енергозабезпечення у всьому світі, особливо в європейських країнах, завдяки залученню активних споживачів до виробництва електроенергії з використанням альтернативних джерел енергії. Енергетичний перехід до декарбонізованих, децентралізованих і цифрових енергетичних систем по-новому піднімає питання формування розосереджених енергетичних ресурсів (РЕР) задля підвищення енергетичної захищеності економічної діяльності регіонів від впливу зовнішніх факторів, у тому числі й мілітарного характеру. Зростання частки генерування електричної енергії, що надходить до електричної мережі від установок розосередженої генерації (РГ) з урахуванням того, що більша їх частина використовує для виробництва електроенергії відновлювані джерела енергії (ВДЕ), у загальному енергетичному балансі має ряд переваг та недоліків. Важливість РЕР як окремого виду «ресурсу» енергетичної системи, який утворюється спільними зусиллями як енергетичних компаній, так і активних споживачів з кожним роком зростає дедалі більше.

Впровадження розосереджених енергетичних установок впливає на розподільні електричні мережі (ЕМ) і перетворює їх на активні елементи ЛЕС. Відтак, зі зростанням частки генерованої електроенергії від установок РГ збільшується їх вплив на параметри режимів ЕМ ЛЕС. Це зумовлює необхідність розробки методології, а саме методів, моделей, алгоритмів і програм вирішення

завдань інтеграції ЛЕС із РЕР у централізовану енергосистему, з урахуванням досить жорстких вимог до забезпечення відповідних параметрів якості електричної енергії та надійності електропостачання кінцевим споживачам. Така інтеграція можлива лише за умови чітко регламентованої взаємодії систем організаційного, оперативного-технологічного та інформаційно-технологічного управління як централізованої енергосистеми із установками РЕР, так і ЛЕС у цілому.

Оскільки потужність окремих установок РГ та активних споживачів є значним енергетичним ресурсом, підключеним до мережі, то для того, щоб задіяти їх у постачанні електроенергії та наданні допоміжних послуг під час роботи мережі, їх потрібно об'єднувати та контролювати, щоб мати можливість здійснювати спільне керування ними як групою генераторів для надання послуг, які відповідають вимогам операторів систем передачі (ОСП) та операторів систем розподілу (ОСР). Розосереджені енергетичні ресурси більше не можна розглядати як окремі пристрої, підключені до мережі; вони мають бути інтегровані та керовані як частина систем передачі й розподілу.

Тому представляється актуальною тема рецензованої дисертаційної роботи Дерев'янка Дениса Григоровича, яка присвячена дослідженню проблеми розвитку наукових і науково-прикладних основ оптимальної взаємодії РЕР у ЛЕС, розроблення й оптимізації системи виробництва, перетворення, розподілу, використання енергії та енергетичних ресурсів у ЛЕС, шляхом побудови моделей досліджуваних процесів, методів їх застосування для вирішення прикладних завдань, які забезпечують розв'язання задач агрегації і взаємодії установок РГ і накопичувачів енергії у межах ЛЕС та з операторами систем розподілу ОЕС України.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами , планами, темами.

Як впливає з представлених у дисертації матеріалів, постановка наукових і практичних завдань у роботі визначалась тематикою досліджень, які проводились відповідно до плану науково-дослідних робіт на кафедрі електропостачання Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (КПІ ім. Ігоря Сікорського) в межах фундаментальних і прикладних держбюджетних тем які фінансовано Міністерством освіти і науки України та 1 міжнародного проекту, а також госпдоговірних науково-дослідних робіт з енергетичними підприємствами України. Представлені дослідження відповідають напряму «Енергетика та енергоефективність» Закону України № 2623-III від 13.01.2024 р. «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», комплексній програмі КПІ ім. Ігоря Сікорського «Енергетика сталого розвитку».

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації та методи досліджень.

Ступінь обґрунтованості результатів не викликає сумнівів, здобутки викладено за належною аргументацією, із наданням посилань на відповідні джерела. Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів підтверджується коректністю основних припущень і положень, покладених в основу наукових досліджень. Обґрунтованість досліджень, сформульованих у дисертаційній роботі висновків і рекомендацій, досягнуто за рахунок коректного використання загально-апробованих методів досліджень, а саме: теоретичних методів системного аналізу; математичного та комп'ютерного моделювання; моделювання інформаційних процесів; дискретної та лінійної оптимізації; кореляційного аналізу. Строгість викладення матеріалу забезпечується використанням математичного апарату та засобів формалізації досліджуваних процесів. Отримані висновки та рекомендації є достатніми.

Значимість отриманих наукових результати, висновків та рекомендації підтверджуються публікаціями у рейтингових фахових виданнях та апробацією на наукових конференціях.

4. Наукова новизна результатів. У відповідності до наданих текстів реферату і дисертації до основних наукових результатів можна віднести наступні.

1. Запропоновано метод оцінювання ефективності функціонування активного споживача в ЛЕС з джерелами РГ та СНЕ, на основі поєднання технічних та економічних показників його функціонування, котрий дає змогу оцінювати ефективність його роботи та визначати напрям її підвищення.

Зазначений метод на відміну від існуючих поєднує технічну та економічну складові, а отже дає змогу зробити висновок як про технічну ефективність функціонування активного споживача так і про економічну результативність його роботи.

2. Запропоновано метод коригування ціни при динамічній тарифікації, котрий враховує наявну пропозицію по генеруванню в кожний окремий момент часу у рамках ЛЕС з джерелами РГ та СНЕ, на основі наявної пропозиції та при групуванні окремих часових зон за їх еластичністю, що дозволяє визначити максимальний ефективний рівень впливу на зміну ціни на електроенергію при динамічній тарифікації.

Цей метод відрізняється від існуючих тим, що його ядром є перш за все реакція споживача на зміну ціни і вже потім визначається коефіцієнт коригування ціни залежно від наявної пропозиції по генеруванню. Такий підхід є на мій погляд більш гнучким з точки зору можливості врахування зміни графіків роботи споживачів у ЛЕС.

3. Запропоновано метод взаємної інтеграції моделей локальних систем з джерелами РГ та моделей централізованих електроенергетичних систем у рамках теорії ігор який ґрунтується на використанні механізмів динамічної тарифікації у межах програм керування попитом, на основі аналізу особливостей функціонування різнотипних джерел РГ та СНЕ у рамках ЛЕС, а також інтересів власників РГ/СНЕ, агрегаторів ЛЕС та операторів систем розподілу, який дає змогу знайти раціональне рішення серед інших рішень поставленої ігрової задачі знаходження рівноважних за Нешем стратегій, які відображають інтереси усіх гравців.

Даний метод відрізняється від існуючих тим, що дає можливість врахувати інтереси як власників джерел РГ/СНЕ так і інтереси агрегаторів ЛЕС та операторів систем розподілу шляхом формування відповідних функцій вигравів для усіх гравців у межах формалізованої гри.

4. Запропоновано модель агрегування РЕР з урахуванням їх типів та функціональних відмінностей на основі теоретико-ігрових моделей взаємодії, який спонукає об'єкти ЛЕС до оптимальної взаємодії при їх агрегуванні та керуванні їх усталеними режимами.

Слід зазначити новизну та важливість результатів роботи, направлених на вдосконалення відомих моделей досліджуваних процесів виробництва, перетворення, розподілу, використання електроенергії, методик та інших засобів вирішення прикладних задач агрегації і взаємодії установок РГ та СНЕ у межах ЛЕС та з операторами систем розподілу ринку електроенергії. Вони доповнюють загальне уявлення про значущість роботи в цілому

5. Практичні результати роботи.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні комплексу засобів математичного та комп'ютерного моделювання для вирішенні актуальних задач оптимальної взаємодії РЕР у ЛЕС щодо розробки моделей і методик які забезпечують агрегацію і взаємодію елементів РГ та накопичувачів енергії у межах таких систем та з операторами систем розподілу ОЕС України. Значущість результатів дисертації для практики полягає у тому, що розроблені та розвинути автором методи, моделі та засоби забезпечують можливості їх використання для вирішення поточних практичних завдань енергетичних підприємств. Практичне впровадження результатів досліджень сприяє підвищенню економічної ефективності функціонування ЛЕС із РЕР.

До таких результатів можна віднести наступні:

1. Методика підвищення енергетичної ефективності ЛЕС з активними споживачами, яка ґрунтується на розробленому методі оцінювання ефективності функціонування активного споживача в ЛЕС із джерелами РГ та СНЕ. Дає змогу на основі оцінювання технічних та економічних параметрів режимів роботи активних

споживачів формувати коригувальні дії щодо режимів їх роботи й визначати потенціал до підвищення ефективності його функціонування, а відтак і до функціонування ЛЕС. Методика також дає змогу оцінити потенціал автономної роботи активних споживачів, що вкрай позитивно вплине на режими роботи ЛЕС в умовах російської агресії.

2. Запропонована модель коригування ціни при динамічній тарифікації дозволяє визначати величину зміни ціни на електричну енергію при динамічній тарифікації для споживачів в реальних умовах враховуючи наявну пропозицію по генеруванню у режимі реального часу.

3. Нормативно-методичне забезпечення агрегування різнотипних РЕР в ЛЕС, котре включає в себе теоретико-ігрову модель локального енергетичного ринку та механізм агрегування РЕР з урахуванням їх типів та функціональних відмінностей, дає змогу утворювати локальні енергетичні ринки для підвищення ступеню автономності роботи ЛЕС із РЕР, що особливо важливо за функціонування ОЕС України в умовах російської агресії.

4. Методологія визначення показника питомої собівартості генерування електричної енергії для ЛЕС дозволяє врахувати усі типи джерел РГ та СНЕ та дати відповідні цінові сигнали потенційним інвесторам.

Ряд наукових результатів висвітлених у дисертаційній роботі було впроваджено державними та приватними підприємствами енергетичної галузі. Впровадження перелічених наукових результатів для практичного застосування підтверджується відповідними актами та довідками, наведеними у Додатку Ж.

Матеріали дисертації використовуються у навчальному процесі кафедри електропостачання КПІ ім. Ігоря Сікорського.

6. Основний зміст дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформувано мету і задачі наукового дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, викладено наукову новизну і практичне значення результатів досліджень, визначено особистий внесок здобувача у публікаціях, наведено дані про апробацію результатів роботи.

У першому розділі проведено аналіз структури та особливостей функціонування ЛЕС із РЕР. Аналіз моделей систем із РЕР дав змогу виокремити окремі об'єкти РГ ЛЕС, такі як активні споживачі та віртуальні електростанції. Проведено аналіз критеріїв оцінювання енергетичної ефективності та енергетичної результативності функціонування ЛЕС із РЕР, на основі якого визначені складові критерія для проведення економічного аналізу означених систем. Визначено основні напрями роботи систем керування ЛЕС й окреслено можливості

агрегування різнотипних джерел РГ і СНЕ. Сформовано ієрархічну модель функціонування ЛЕС із різнотипними РЕР.

Другий розділ присвячено моделям оптимальної взаємодії активного споживача та ЛЕС через розвиток підходів до визначення технічних й економічних показників функціонування активних споживачів в умовах керування попитом на електроенергію. Сформульовано задачу оптимізації графіків функціонування активних споживачів з урахуванням як економічних, так і енергетичних характеристик їх роботи. Запропонована модель оцінювання ефективності функціонування активного споживача. З урахуванням аналізу отриманої множини значень запропонованого показника ефективності функціонування активного споживача зроблено висновок, що максимального його значення можна досягти через збільшення коефіцієнта автономності роботи активного споживача, а також через максимізацію прибутку від продажу надлишків генерованої джерелами РГ електроенергії в мережу. Розширено множину показників ефективності функціонування активного споживача на основі застосування показника, котрий враховує реакцію останнього на програми керування попитом. Запропонований спосіб візуалізації показників функціонування активного споживача який за допомогою діаграм Шумана дає змогу проводити багатофакторне оцінювання ефективності його роботи. Побудовані профілі функціонування активного споживача відображають ефективність його роботи щодо середніх і максимальних значень функцій сформованої оптимізаційної задачі.

У **третьому розділі** проаналізовано практичні аспекти оптимальної роботи ЛЕС в умовах агрегування різнотипних РЕР. Сформовано оптимізаційну задачу на рівні взаємодії різнотипних РЕР між собою у межах означених систем. Проведено зіставний аналіз методів визначення величини *LCOE* (Levelized Cost of Energy) в системах із джерелами РГ і накопичувачами. Удосконалена методологія визначення зазначеного показника дає змогу врахувати усі типи джерел енергії у ЛЕС та дати відповідні цінові сигнали потенційним інвесторам, котрі збираються інвестувати у розвиток РЕР. Сформовано безрозмірну функцію, яка дозволяє отримати оцінки рівня нерівномірності споживання електроенергії навантаженнями залежно як від тривалості інтервалів, на кожному з яких є постійний відбір потужності, так і інтенсивності розряду накопичувачів на цих інтервалах. Запропонований показник ефективності запровадження програм керування попитом на електричну енергію дає змогу визначити фактичні можливості споживачів щодо зміни своїх графіків навантаження, що вкрай важливо для оператора системи розподілу.

У **четвертому розділі** сформульовано основні вимоги та процедури інтеграції РЕР у ЛЕС на основі ринкових моделей взаємодії. Проведено аналіз функціональних зв'язків елементів ЛЕС на різних рівнях взаємодії у межах моделі

«Smart Grid architecture model» (SGAM).. Визначено, що для різних типів РЕР взаємодія на різних рівнях буде різнитися, це дало змогу уточнити завдання агрегування РЕР у ЛЕС. Сформовано ринкову модель агрегування РЕР у ЛЕС, що ґрунтується на апараті теорії ігор та правилах роботи енергетичного ринку України і враховує усі можливі особливості функціонування РЕР у ЛЕС. Запропонована теоретико-ігрова модель агрегування РЕР у ЛЕС, на основі результатів реалізації якої сформувано два стратегічних напрями керування РЕР у ЛЕС під час їх агрегування. Перший напрям дає змогу агрегатору неявно стимулювати РЕР до максимізації генерування електричної енергії від джерел РГ та СНЕ, а другий створює більш жорсткі умови, котрі стимулюватимуть РЕР максимально дотримуватися умов контракту.

У п'ятому розділі набули розвитку теоретико-ігрові моделі оптимальної взаємодії ЛЕС з ОЕС України на рівні операторів систем розподілу. Формалізовано постановку задачі оптимізації взаємодії для моделей ЛЕС із РЕР та моделей централізованих електроенергетичних систем у межах теорії ігор. Запропоновано процедуру оптимізації моделі синтезованої системи у межах формалізованої гри на основі використання механізмів динамічної тарифікації в умовах здійснення програм керування попитом. За результатами дослідження запропоновано архітектуру системи Smart-моніторингу ЛЕС із РЕР, котра враховує усі типи установок РГ і СНЕ та особливості їх функціонування.

У шостому розділі запропоновано модель оптимальної взаємодії РЕР трьох типів: «Некеровані генерувальні установки РГ», «Керовані генерувальні установки РГ» та «Системи накопичення енергії» з агрегатором/оператором ЛЕС. Визначено оптимальні стратегії агрегування різнотипних РЕР у ЛЕС на основі визначення рівноваги за Нешем для кожного типу РЕР під час взаємодії з агрегатором. Для забезпечення можливості дотримання визначених оптимальних стратегій агрегування різнотипних РЕР сформовано вимоги до процедур моніторингу та керування у ЛЕС.

У сьомому розділі дисертації представлено розроблене науково-методичне забезпечення задля вирішення завдань підвищення ефективності взаємопов'язаного функціонування установок РЕР у ЛЕС.

Розроблена методика підвищення енергетичної ефективності ЛЕС з активними споживачами. Вона дає змогу формувати коригувальні дії щодо графіків роботи активних споживачів, на основі оцінювання технічних та економічних параметрів їх роботи, та визначати потенціал щодо підвищення ефективності функціонування ЛЕС, а також оцінити потенціал автономної роботи активних споживачів.

Розроблене нормативно-методичне забезпечення агрегування різнотипних РЕР у ЛЕС яке спрямоване на нормативно-правове забезпечення утворення

місцевих ринків електроенергії для підвищення ступеню децентралізованої роботи ЛЕС із РЕР на централізованому ринку, що представляється особливо важливим в умовах функціонування ОЕС України в умовах російської агресії.

У висновку сформульовані результати дослідження, які дозволили оцінити вклад автора дисертаційної роботи в подальший розвиток теоретичних засад, моделей і методів, які забезпечують агрегацію і взаємодію установок РГ та накопичувачів енергії у межах ЛЕС та означених систем з операторами систем розподілу ОЕС України.

7. Основні результати роботи й загальні висновки.

Сформульовані основні наукові теоретичні та практичні результати показують, що в роботі вирішено актуальну науково-прикладну проблему розвитку наукових основ оптимальної взаємодії РЕР у ЛЕС щодо розвитку теоретичних засад, розробки моделей і методів, які забезпечують агрегацію і взаємодію елементів РГ та накопичувачів у межах таких систем та з операторами систем розподілу ОЕС України. Практичне впровадження результатів досліджень сприяє підвищенню ефективності функціонування ЛЕС із РЕР.

Поставлені завдання дисертаційної роботи вирішені і мета досліджень в повній мірі досягнута з чим я погоджуюсь.

8. Оцінка змісту та оформлення дисертації.

За змістом та оформленням дисертаційна робота й реферат відповідають встановленим вимогам з атестації кадрів щодо обсягу і структури. Повний обсяг дисертації становить 411 сторінок, у тому числі: 331 сторінка основного тексту, 188 найменування використаних джерел на 22 сторінках, 6 додатків на 79 сторінках. Основний текст дисертації містить 102 рисунки та 30 таблиць.

9. Відповідність теми і змісту дисертації паспорту спеціальності, за якою вона подана на захист. Тема дисертації та її зміст відповідають формулі й галузі досліджень, відповідно до положень, що викладені в паспорті спеціальності 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси.

10. Зміст реферату відображає основні положення дисертації в необхідній мірі розкриває мету, завдання та отримані в роботі результати, викладений якісною технічною мовою, досить повно і точно відображає основний зміст дисертації і свідчить про достатню професійну підготовку здобувача.

11. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

Аналіз тексту дисертаційного дослідження та використаних джерел, свідчить про відсутність порушення академічної доброчесності автором дослідження.

12. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи. Повнота викладення основних положень дисертації в наукових працях.

Результати дисертації опубліковано у 29 наукових працях, у тому числі 2 монографії (розділи у колективних монографіях); 17 статей у провідних наукових періодичних виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, з них: 16 статей у наукових періодичних виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України (в т.ч. 4 включених до категорії "А", усі відносяться до Q3 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports), 1 стаття у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію (включена до міжнародних наукометричних баз SCOPUS, Q2 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports); 10 тез та доповідей на наукових конференціях.

Аналіз публікацій та матеріалів дисертації надає можливість стверджувати, що наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Використання матеріалів кандидатської дисертації у тексті докторської дисертації не виявлено.

13. Особистий внесок здобувача.

Внесок автора в роботи, що були опубліковані у співавторстві, конкретизовано у рефераті.

14. Відповідність реферату текстові дисертації. Реферат достатньою мірою відображає зміст роботи, основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи ідентичні наведеним рефераті. Зміст реферату базується на тексті дисертації.

15. Зауваження до змісту дисертації та реферату дисертації.

1. У ключових словах (стор. 8) наведено абстрактне слово «механізм» без виділення сфери його застосування, що для стороннього читача оминає контекст теорії ігор в якому воно застосовується у самій роботі.

2. У розділі 1 наведена досить широка класифікація структурних елементів локальних електроенергетичних систем, а також детальний аналіз законодавчої бази щодо впровадження ВДЕ, які не використовуються надалі в роботі.

3. У розділі 1 (стор. 86) автор вводить термін «локальний енергетичний ринок», проте з роботи не ясно чи це загальноприйнятий термін для України і які перспективи розвитку локальних енергетичних ринків в Україні.

4. У параграфі 2.4 в запропонованому дисертантом методі просторової

візуалізації характеристик роботи активного споживача введено 4 області (рис. 2.6, стор. 153) для якісної оцінки процесів. Разом з тим з тексту роботи не зрозуміло чому запропонованих областей саме 4 і яким чином Дерев'янка Д.Г. визначав межі зазначених областей.

5. У якості рішення теоретико-ігрових задач дисертант використовує метод визначення рівноваги за Нешем, хоча у самій дисертації такий вибір нічим не обгрунтований.

6. У розділі 4 (стор. 226) дисертант вводить «додаткові збитки ($c > 0$)» у межах формалізованої ним ігрової задачі, проте з тексту не зрозуміло чому ці додаткові збитки були винесені окремо а не додані до величини виграшу.

7. У розділі 5 (стор. 235) у якості складової функції виграшу Дерев'янка Д.Г. вводить «плату за недовідпуск електроенергії *ENS*». Не зрозуміло наскільки це доцільно, оскільки в Правилах ринку електроенергії України відсутня будь-яка плата за «недовідпуск» електричної енергії споживачам.

8. У розділі 4 (стор. 223) наведено ринкову модель агрегування РЕР у ЛЕС, проте відсутнє її зіставлення з моделлю функціонування роздрібного ринку електроенергії і не зрозуміло, що нового вніс автор, чи була використана представлена модель.

9. У розділі 6 наведено формальний опис моделі механізму агрегування РЕР у ЛЕС, проте розгорнуте подання механізму наведено лише у вигляді рис. 6.5 (стор. 262), хоча було б доцільно його формалізувати у текстовому форматі враховуючи його широку варіативність.

10. Також слід зазначити, що робота іноді важкувато читається, але це відноситься до стилю автора, який має право на існування, підкреслюючи складність взаємопов'язаних задач, які він вирішує. За текстом дисертації зустрічаються несуттєві неточності та деякі граматичні помилки у тексті та ілюстративному матеріалі. Так рис. 5.7, 6.2 містять аббревіатуру САЕ, хоча по тексту використовується термін СНЕ (системи накопичення електричної енергії), рис. 6.16, – пропущено підписи по осі абсцис, рис. 1.28 – назва рисунку не відповідає змісту і т.п.

Разом із тим, наведені зауваження стосуються окремих складових дисертаційної роботи та не знижують наукову і практичну цінність результатів роботи, її загальну позитивну оцінку.

16. Загальний висновок

Представлена дисертація Дерев'янка Дениса Григоровича на тему «Розвиток наукових засад оптимальної взаємодії розосереджених енергетичних ресурсів в локальних електроенергетичних системах» є завершеною науковою працею, що виконана на високому науковому і методичному рівнях, в якій представлено нові

наукові результати, спрямовані на вирішення важливої науково-технічної проблеми розвитку наукових основ оптимальної взаємодії РЕР у ЛЕС щодо розвитку теоретичних засад, розробки моделей і методів, які забезпечують агрегацію і взаємодію установок РГ та накопичувачів енергії у межах таких систем та з операторами систем розподілу ринку електроенергії України. Реферат повністю відображає основні положення дисертації. За актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною, змістом та оформленням дисертаційна робота повністю відповідає вимогам пп. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №1197 від 17 листопада 2021 року, а її автор Дерев'янка Денис Григорович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси.

Офіційний опонент:

завідувач лабораторії

математичного моделювання енергоринків

Інституту проблем моделювання в енергетиці

ім. Г.Є. Пухова НАН України,

доктор технічних наук, ст. наук. співр.

З. Трофим

Зелімхан БОРУКАЄВ



Підпис *Борукаєва З.Х.*
Засвідчую *К.В. Булда*
начальник відділу кадрів ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова
Національної Академії наук України