

ВИСНОВОК

експертної комісії спеціалізованої Вченої ради Д 26.223.01
при Інституті загальної енергетики НАН України
щодо дисертаційної роботи **Денисова Віктора Абрамовича**
«Моделі та засоби оптимізації структури об'єднаної енергосистеми із
використанням відновлюваних джерел генерації», яку подано до захисту на
здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.14.01 – енергетичні системи та комплекси».

Експертна комісія в складі членів спеціалізованої Вченої ради Д 26.223.01:
чл. -кор. НАН України, д.т.н., с.н.с. Новосельцева Олександра Вікторовича;
д.т.н., с.н.с. Нікітіна Євгена Євгеновича; д.т.н., доц. Находова Володимира
Федоровича розглянула дисертаційну роботу та подає спеціалізованій вченій раді
такий висновок:

1. Дисертаційна робота Денисова В.А. відповідає профілю спеціалізованої вченої ради Д 26.223.01 та паспорту спеціальності 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси. Актуальність дисертаційної роботи обумовлена поточними тенденціями та викликами у сфері енергетики та сталого розвитку. Ключовими моментами актуальності є:

– Перехід до відновлюваної енергії: оптимізація структури інтегрованих енергетичних систем із зосередженням на відновлюваних джерелах енергії та розподіленої генерації має вирішальне значення для досягнення цілей сталого розвитку та пом'якшення кліматичних змін.

– Технологічний прогрес: постійний прогрес у технологіях генерації, накопичення енергії, розвиток інтелектуальних мереж забезпечує нові можливості оптимальної інтеграції відновлюваної енергії в існуючі та нові енергетичні системи. Моделі та інструменти, що можуть оперативно відстежувати мінливість і переривчастість відновлюваних джерел, є важливими для прийняття оптимальних управлінських рішень що до забезпечення надійності та стійкості енергосистем.

– Вплив на навколишнє середовище: оптимізація енергетичних систем з використанням відновлюваних джерел сприяє зменшенню викидів парникових газів і мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

– Інтеграція накопичувачів енергії: ефективне використання технологій накопичення енергії є ключовим аспектом оптимізації енергосистем із високою часткою відновлюваних джерел енергії. Моделі, що вирішують проблеми оптимальної інтеграції накопичувачів енергії (акумуляторів) і стратегії реагування на попит, мають вирішальне значення для підтримки стабільності генерування та постачання електроенергії.

– Соціальна значимість: дослідження моделей та засобів оптимізації впровадження відновлюваної енергії, можуть сприяти формуванню ефективних сценаріїв сталого забезпечення споживачів екологічно чистою та економічно доступною енергією.

– Економічна конкурентоспроможність: зменшення витрат на технології відновлюваної енергії в поєднанні з потенціалом економії за рахунок оптимізації режимів функціонування традиційної генерації робить інтеграцію відновлюваної енергії економічно привабливою. Моделі, що враховують економічні аспекти інтеграції відновлюваної енергетики є важливими для прийняття стратегічних рішень в енергетичному секторі.

Отже, важливою задачею виконаного дослідження є оптимізація структури та режимів функціонування енергосистем в умовах швидкого зростання потужностей ВДЕ, що потребує розроблення нових і вдосконалення існуючих економіко-математичних моделей та програмних засобів.

Врахування у цих моделях економічних та технологічних показників розвитку національної економіки, що представлені у вигляді квазидинамічних функцій із дискретними стохастичними змінними, дозволяє досліджувати оптимальні обсяги технологічного оновлення інтегрованих енергосистем.

Таким чином, задача розроблення нових та удосконалення існуючих економіко-математичних моделей для дослідження напрямів та оптимальних параметрів технологічного розвитку елементів енергосистем є актуальною науковою проблемою, що потребує вирішення.

2. Основні положення дисертації опубліковано у 20 наукових працях (13 одноосібних), у тому числі 12 у наукових фахових виданнях (з них 1 у закордонних періодичних виданнях та 1 у розділі монографії, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus (1 одноосібне)), 1 свідоцтві про реєстрацію авторського права на науковий твір (одноосібне), матеріалах конференцій (4 одноосібних) та в інших виданнях, де із достатньою повнотою відображено наукові та практичні результати дисертаційної роботи:

1. Babak, V., Denysov, V. Software and information simulation complex of multi-node integrated and autonomous power and heat supply systems. System research in energy. № 3 (74) 2023, с. 50-63. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.03.050>, (фахове видання).

2. Viktor Denysov. (2023). Efficiency of The Renewable Energy Sources Application for an Autonomous Heat Supply System. System Research in Energy, № 1 (72), с. 80-87. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.01.080>. (фахове видання).

3. Derlysov V., Zaporozhets A., Nechaieva T., Shulzhenko S., Derii V. (2023). Improving the model of long-term technological update of power system components. System Research in Energy, № 2 (73), с. 30-37. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.02.030>. (фахове видання).

4. Денисов В., Ефективність застосування відновлювальних джерел енергії для автономної системи теплопостачання. *Енергетика: економіка, технології, екологія: науковий журнал*, № 2 (72) 2023. С. 60–65. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2023.279649>.
5. Денисов В.А. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 121022. Державна служба інтелектуальної власності України. Науковий твір «Efficiency of the renewable energy sources application for an autonomous heat supply system». Заявка від 4 травня 2023 р. № с202303299. Дата реєстрації 3 серпня 2023 р.
6. Viktor Denisov. Integrated Power System multi-node model, taking into account the nondispatchable of renewable energy sources. 2022 IEEE 8th international conference on energy smart systems IEEE ESS-2022. pp. 175-179. <https://doi.org/10.1109/ESS57819.2022.9969255> (Scopus).
7. Denysov, V. Software and information complex for district heat supply systems modeling. *System research in energy*. 2022. Vol. 2022, № 1, с. 38—45. <https://doi.org/10.15407/srenergy2022.01.038>. (фахове видання).
8. Денисов В.А. Оцінка параметрів оптимізованого покриття графіків навантажень в режимах синхронної роботи енергосистем України та Польщі для критичних діб на прикладі фактичних значень встановленої потужності та графіків навантаження. *Проблеми загальної енергетики*, № 1-2 (68-69), 2022, с. 50-57. <https://doi.org/10.15407/pge2022.01-02.050>. (фахове видання).
9. Денисов В.А., Чуприна Л.В., Технологічні умови паралельної роботи ОЕС України з суміжними країнами, приєднаними до ENTSO-E. *Проблеми загальної енергетики*, 2021. № 3 (66). с. 53-62. <https://doi.org/10.15407/pge2021.03.053>. (фахове видання).
10. Derii V., Teslenko O., Lenchevsky E., Denisov V., Maistrenko N. Prospects and Energy-Economic Indicators of Heat Energy Production Through Direct Use of Electricity from Renewable Sources in Modern Heat Generators. *Systems, Decision and Control in Energy IV*, 2023, vol 454, pp. 451–463. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22464-5_27. (Scopus).
11. Денисов В.А. Визначення оптимальних режимів функціонування енергосистеми України при покритті добового графіка електричних навантажень, забезпеченні необхідних обсягів резервування та використанні накопичуючих потужностей. *Проблеми загальної енергетики*, № 4 (63) 2020, с. 33-44. <https://doi.org/10.15407/pge2020.04.033>. (фахове видання).
12. Viktor Denisov. Electricity prime cost optimization potential assessment of the Ukrainian integrated power system taking into account technological limitations. *Herald pedagogiki. Nauka i Praktyka*, numer: 54 (04/2020), pp. 6-11. Diamond trading tour © Warszawa– 2020. ISSN: 2450-8160, nr.indeksu: 19464.
13. Viktor Denisov. The phased optimization concept of models for assessing and forecasting the structure and modes of use of energy complexes. *Monografia pokonferencyjna. Science, research, development #19*. Berlin 30.08.2019- 31.08.2019. Diamond trading tour © Warszawa 2019, с. 17-19. ISBN: 978-83-66401-13-6.

14. Viktor Denisov. Assessment and forecasting of the optimal modes of technological energy complexes using matrices of parameters. Monografia pokonferencyjna. Science, research, development #16. Technics and technology. Barcelona 29.04.2019- 30.04.2019. Diamond trading tour © Warszawa 2019, c. 84-88. ISBN: 978-83-66030-96-1.

15. Viktor Denisov, Sergey Denisov. The optimal modes prediction of quasi dynamic energy systems. Monografia pokonferencyjna. Science, research, development #14. Technics and technology. London 27.02.2019 - 28.02.2019. Diamond trading tour © Warszawa 2019, c. 26-29. ISBN: 978-83-66030-84-8.

16. Денисов В.А., Іваненко Н.П. Моделювання та порівняльна оцінка собівартості електроенергії генеруючих та накопичувальних технологій. Проблеми загальної енергетики, № 4(55) 2018, с. 36-40. <https://doi.org/10.15407/pge2018.04.036>. (фахове видання).

17. Денисов В.А., Динамічні моделі циклічного розвитку систем фотоелектричної генерації. Відновлювана енергетика. № 1 (48) 2017, с. 36-43. <https://ve.org.ua/index.php/journal/issue/download/5/1-48-2017-pdf> ISSN 1819-8058. (фахове видання).

18. Денисов В.А. Визначення доцільних обсягів використання енергозберігаючих технологій в житлово-комунальному господарстві. Проблеми загальної енергетики, № 2 (29) (2012), с. 41-50. ISSN 1562-8965, (фахове видання).

19. Денисов В.А., Іваненко Н.П., Чуприна Л.В. Оцінки собівартості та можливих обсягів виробництва електроенергії сонячними електростанціями в Україні. Проблеми загальної енергетики, № 3 (30) (2012), с. 45-52. ISSN 1562-8965. (фахове видання).

20. Денисов В.А. Ієрархічна модель оптимізації екологічних параметрів житлово-комунального господарства. Проблеми загальної енергетики, № 4 (27) (2011), ISSN 1562-8965, С 35-38. (фахове видання).

Результати досліджень, представлені в дисертації, були висвітлені на Міжнародних і Всеукраїнських науково-технічних та науково-практичних конференціях, зокрема: 2022 IEEE 8th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY SMART SYSTEMS IEEE ESS-2022; "XII International Scientific and Practical Conference", «Science, Innovations and Education: Problems and Prospects», Tokyo, 28-30 June 2022; "XIII International Scientific and Practical Conference", Chicago, USA, 15-17 June 2022; The 4th International scientific and practical conference —Modern research in world sciencel (July 10-12, 2022) SPC —Sci-conf.com.ua, Lviv, Ukraine; V Міжнародна науково-практична конференція «MODERN RESEARCH IN WORLD SCIENCE» 7-9.08.2022 Львів, Україна; SCIENCE, RESEARCH, DEVELOPMENT. Technics and technology. 2014-2019; Сучасна наука: теорія і практика. Матеріали всеукраїнської науково-практичної заочної конференції (м.Запоріжжя, 28-30 червня 2012 року); Сучасна наука в мережі інтернет. Матеріали шостої всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, 25-27 лютого 2010 року; Українська наука XXI століття. Матеріали

п'ятої всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, 17-19 червня 2009 року.

3. Наукова новизна результатів, отриманих здобувачем особисто:

1. Розроблено нову економіко-математичну модель дифузії нових технологій в енергетиці, що є узагальненням моделі змішаного впливу дифузії нових технологій Френка Басса і, на відміну від існуючих, включає функціонал економіко-технологічного впливу. Розроблена модель дозволила врахувати динамічний характер змінення економічних та технологічних параметрів розвитку національної економіки при прогнозуванні розвитку структури інтегрованої системи енергетики в умовах швидкого зростання потужностей ВДЕ.

2. Вперше запропоновано використання набору регресійних моделей у вигляді узагальнених логістичних кривих, що дозволило підвищити достовірність прогнозування з одночасним забезпеченням того, що отримані за методом найменших квадратів значення параметрів моделювання не суперечать експериментальним даним.

3. Розроблено нову модель довгострокового технологічного оновлення структури об'єднаної енергетичної системи, що дозволила оцінити потенціал вдосконалення компонентів енергосистеми з урахуванням впливу економіко-технологічних показників розвитку національної економіки та виробництва у вигляді квазідинамічних функцій із дискретними стохастичними змінними.

4. Узагальнення класичної моделі управління динамічною системою дозволило розробити економіко-математичну модель енергетичної системи, як складної ієрархічної квазідинамічної системи з рівнями адміністративно-територіальної ієрархії та галузевою (підгалузевою) інфраструктурою, що деталізована за структурою свого технологічного наповнення. Розроблена модель, на відміну від відомих, містить функціонал економіко-технологічного впливу, до якого належать елементи матриць стану, керуючих дій, випадкові елементи матриці зовнішнього впливу, а також враховує особливості роботи генеруючих, резервних та акумулюючих потужностей енергосистем України та сусідніх країн-учасниць ENTSO-E.

4. Обґрунтованість та достовірність наукових результатів забезпечується: застосуванням методів математичної статистики – аналізу та прогнозування поведінки стохастичних часових рядів; методів лінійного, нелінійного та цілочисельного програмування; математичного моделювання довгострокових прогнозів в енергетиці; моделювання дифузії інноваційних технологій в енергетиці; системних досліджень в енергетиці, одним з ключових аспектів яких є математичне моделювання при оптимальному управлінні системами енергетики; використанням набору регресійних моделей. Достовірність результатів дисертації підтверджена розрахунковими експериментами з використанням розроблених моделей і програмних засобів та відповідними актами впровадження.

5. Практичні результати роботи отримані шляхом математичного моделювання з використанням розробленого автором програмно- інформаційного комплексу, а саме:

– Визначені умови синхронізації роботи ОЕС України з суміжними країнами, що входять до ENTSO-E (Угорщини, Словаччини, Польщі, Румунії) з урахуванням граничних значень обсягів транскордонного обміну електроенергією, географічного розташування, наявності та потужності міждержавних ліній електропередачі, величин потужності максимально допустимих обсягів імпорту та експорту.

– Показано, що до 2040 року основним трендом змін в ОЕС України повинно бути:

- a) нарощування та максимальне використання потужності АЕС;
- b) зростання пропускної спроможності міждержавних ЛЕП, яке є вигідним як для України так і для суміжних країн, що входять до ENTSO-E, оскільки це дозволить забезпечити умови балансової надійності кожної країни в умовах нарощування потужності АЕС та ВДЕ.

– Показано, що незважаючи на технічний прогрес у відновлюваній енергетиці, зокрема, зниження собівартості виробництва електроенергії вітровими та фотоелектричними станціями, через мінливість електричної генерації вони зможуть бути включені до складу енергооб'єднань тільки при наявності досить потужних, енергетично і економічно ефективних промислових акумуляторів енергії.

– Запропоновано вирішення задачі прогнозування вибору оптимальних режимів використання генеруючої та накопичувальної потужностей енергетичної системи за критерієм мінімізації середньозваженої вартості виробництва електроенергії за традиційними, ВДЕ та технологіями накопичення електроенергії.

Результати дослідження використані:

– в НЕК «Укренерго» згідно договору від «28» вересня 2022р. № 1916 у науковій роботі «Послуги з прогнозування обсягів та кривих попиту на електричну енергію в ОЕС України в умовах військової агресії (на період з 01 жовтня 2022 року по 31 грудня 2023 року)»;

– у нормативній освітній компоненті «Математичне моделювання та прийняття рішень в системах енергопостачання» освітньо-професійної програми підготовки магістрів «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка;

що засвідчено двома актами впровадження.

6. Дисертаційна робота Денисова В.А. є завершеним науковим дослідженням, що відповідає всім вимогам Міністерства освіти і науки України та «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567. Експертна комісія із врахуванням даних звіту Unichек встановила відсутність академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації у дисертаційній роботі Денисова В.А. Всі ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

7. Приймаючи до уваги актуальність теми, високий науковий рівень проведених теоретичних досліджень та практичну цінність роботи, комісія рекомендує спеціалізованій вченій раді Д 26.223.01 прийняти до захисту дисертаційну роботу на тему: «Моделі та засоби оптимізації структури об'єднаної енергосистеми із використанням відновлюваних джерел генерації» за спеціальністю 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси.

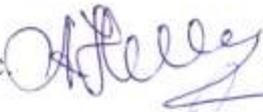
8. Офіційними опонентами пропонуються:

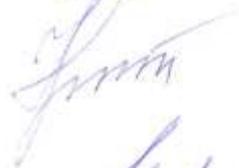
- 1) Нікітін Євген Євгенович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник Інституту газу НАН України, провідний науковий співробітник відділу процесів горіння (м. Київ);
- 2) Веремійчук Юрій Андрійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри електропостачання, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Комісія рекомендує затвердити додатковий список установ і фахівців, яким буде направлено автореферат дисертації.

Відомості, що наведені в дисертації, не є матеріалами обмеженого розповсюдження.

Члени експертної комісії:

Чл.-кор. НАН України,
доктор технічних наук, с.н.с.  Олександр НОВОСЕЛЬЦЕВ

Доктор технічних наук, с.н.с.  Євген НІКІТІН

Доктор технічних наук, доцент  Володимир НАХОДОВ

Підписи Новосельцева О.В., Нікітіна Є.Є., Находова В.Ф.

ЗАСВІДЧУЮ:

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 26.223.01  Олег ДЕКУША