

## РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, к.т.н., доцента Данильченко Дмитра Олексійовича

на дисертаційну роботу Кіянчука Владислава Михайловича

**«Режими споживання електроенергії побутовими накопичувальними  
водонагрівачами для підвищення енергоефективності  
та балансування енергосистеми»,**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Детальний аналіз дисертаційної роботи Кіянчука Владислава Михайловича на тему «Режими споживання електроенергії побутовими накопичувальними водонагрівачами для підвищення енергоефективності та балансування енергосистеми» дає змогу сформулювати комплексний висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, достовірності та значущості отриманих результатів, а також наукової новизни, теоретичної та практичної цінності й надати загальну оцінку дисертації.

### **1. Актуальність теми та зв'язок з науковими планами і програмами**

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми підвищення ефективності функціонування електроенергетичної системи України шляхом залучення керованого електроспоживання побутових споживачів до процесів балансування.

В умовах структурної трансформації енергетичного сектору, зростання частки відновлюваних джерел енергії, дефіциту маневрових потужностей та необхідності забезпечення надійності режимів роботи енергосистеми особливого значення набуває використання механізмів реагування на попит. Одним із перспективних ресурсів у цьому напрямі є побутові електричні накопичувальні водонагрівачі, які можуть виступати гнучким навантаженням без суттєвого зниження комфорту споживачів.

Таким чином, обрана тема є актуальною як у науковому, так і в практичному аспектах.

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

Дисертаційна робота впроваджена на кафедрі електричних станцій Навчально-наукового інституту енергетики, електроніки та електромеханіки НТУ «ХП».

Проведені дослідження пов'язані з держбюджетною науково-дослідною роботою МОН України «Дослідження інтелектуальної системи електропостачання на основі залучення активних споживачів» (№ ДР 0122U001313, 2022–2023 рр.).

## **3. Наукова новизна одержаних результатів**

Дисертація містить наукову новизну, з найбільш суттєвих доробок роботи можна назвати:

- розвинуто науково-методологічні положення управління електроспоживанням побутових водонагрівачів з урахуванням техніко-економічних критеріїв для формування графіків роботи агрегатора на балансуєчому ринку;

- вперше обґрунтовано параметри режимів роботи накопичувальних водонагрівачів і складу портфеля агрегатора з урахуванням енергоефективності та комфорту для участі в реагуванні на попит;

- вперше запропоновано метод визначення парето-оптимальних температурних уставок накопичувальних водонагрівачів з урахуванням стратифікації води для забезпечення енергоефективності та комфорту;

- дістала розвитку модель керування споживанням електроенергії накопичувальними водонагрівачами із урахуванням теплової динаміки та особливостей їх використання.

Вважаю, що робота дисертанта є внеском у розвиток підходів до підвищення ефективності функціонування електроенергетичної системи за рахунок залучення керованого попиту побутових споживачів, завдяки поєднанню технічних і організаційних рішень, спрямованих на забезпечення

гнучкості та балансування.

#### **4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання**

Дисертаційне дослідження має вагому практичну цінність, оскільки автор обґрунтовує доцільність більш широкого залучення керованого електроспоживання побутових споживачів до процесів балансування електроенергетичної системи України. Запропоновані у роботі підходи до використання побутових електричних накопичувальних водонагрівачів як гнучкого навантаження можуть стати підґрунтям для практичного впровадження сучасних механізмів реагування на попит, підвищення ефективності використання генеруючих потужностей та зниження нерівномірності графіків навантаження.

Практичну значущість мають також розроблені моделі оцінювання потенціалу гнучкості, підходи до вибору раціональних режимів роботи обладнання та принципи формування агрегованих портфельів навантаження. Їх використання є доцільним у діяльності операторів системи, енергопостачальних компаній, агрегаторів, а також при подальшому розвитку інтелектуальних систем електропостачання.

Отримані результати можуть бути рекомендовані для застосування при розробленні програм реагування на попит, удосконаленні ринкових механізмів участі побутових споживачів у балансуванні енергосистеми та підготовці нормативно-методичного забезпечення у зазначеній сфері.

#### **5. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових працях, які опубліковані автором.**

Основні положення і результати дисертаційних досліджень відображено у 19 наукових публікаціях, зокрема у 4 статтях у фахових виданнях України та 15 публікаціях апробаційного характеру, з яких 2 проіндексовано у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science.

Зазначене вище дозволяє стверджувати, що представлена дисертаційна робота Кіянчука В. М. є самостійним, завершеним науковим дослідженням,

результати якого достатньо висвітлені.

## **6. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Робота Кіянчука В.М. є завершеною науковою роботою, містить анотацію українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел і два додатки.

Робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі підвищення ефективності управління електроспоживанням із використанням механізмів реагування на попит. Основний акцент зроблено на розробленні методичних підходів та інструментів оптимізації обсягів і режимів споживання електроенергії з метою зниження пікових навантажень і підвищення можливостей балансування енергосистеми.

Об'єктом є процеси споживання електричної енергії в енергетичній системі.

У дисертаційній роботі розглядаються процеси електроспоживання в енергетичній системі. Основну увагу приділено дослідженню параметрів режимів роботи побутових електричних накопичувальних водонагрівачів як складової керованого навантаження для балансування енергетичної системи. Основний акцент зроблено на розробці комплексного підходу до вибору параметрів режимів їх електроспоживання та формування агрегованих груп, спрямованого на підвищення ефективності балансування та надійності функціонування енергосистеми.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено мету і завдання дослідження, показано зв'язок із науковими програмами, а також висвітлено наукову новизну, практичну значущість результатів, рівень їх апробації та публікаційну активність автора.

У першому розділі узагальнено сучасні підходи до впровадження механізмів реагування на попит і визначено їх місце в структурі ринку електричної енергії. Проаналізовано форми взаємодії оператора системи передачі зі споживачами, розглянуто міжнародний досвід та окреслено

перспективи впровадження таких механізмів в Україні з урахуванням розвитку інтелектуальних мереж і ролі гнучких ресурсів.

Другий розділ присвячено дослідженню режимів роботи електричних накопичувальних водонагрівачів як інструменту реагування на попит. Проведено аналіз їх характеристик, виконано експериментальні дослідження та вдосконалено математичні моделі з урахуванням теплових процесів і часових залежностей. Отримані результати підтверджено за допомогою моделювання та експериментальної верифікації.

У третьому розділі проаналізовано чинники, що визначають ефективність використання водонагрівачів у програмах реагування на попит, зокрема сезонні коливання та поведінкові особливості споживання. Досліджено умови функціонування балансуєчого ринку, оцінено потенціал залучення побутових споживачів і запропоновано підхід до оцінювання якості гарячого водопостачання з позицій енергоефективності та комфорту.

У четвертому розділі розкрито організаційні та технічні засади агрегації побутових споживачів. Визначено принципи діяльності агрегатора, запропоновано підходи до формування та моделювання агрегованих портфельів, а також проаналізовано їх участь у ринкових процесах. Окремо розглянуто бар'єри, стимули та перспективи залучення споживачів до програм реагування на попит.

Висновки до кожного розділу та загальні висновки викладено послідовно, вони логічно пов'язані зі змістом роботи та відображають основні результати дослідження.

Список використаних джерел містить 116 позицій і включає вітчизняні та зарубіжні наукові праці.

Додаток містить інформацію про практичне впровадження результатів дисертації.

## **7. Достовірність отриманих результатів та висновків**

Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням сучасних методів математичного моделювання, оптимізації, статистичної

обробки даних, а також підтверджується результатами чисельних та експериментальних досліджень. Отримані результати узгоджуються з відомими науковими положеннями та мають належний рівень обґрунтованості.

## **8. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях**

Стиль викладення матеріалу в дисертації є достатньо доступним для сприйняття. Рівень проведених досліджень і глибина опрацювання теми відповідають вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертаційна робота Кіянчука В. М. виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності, а отримані результати свідчать про її самостійний і оригінальний характер. У тексті роботи представлено власні наукові положення автора, при цьому запозичення ідей інших дослідників супроводжуються належними посиланнями.

Основні ідеї автора та результати дослідження викладено у чотирьох фахових статтях, а також дисертант активно приймав участь в українських та міжнародних конференціях.

## **9. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

1. Аналіз стану та перспектив реагування на попит в енергетичних системах описаний повно, проте доцільно було б більш детально розглянути нормативно-правові обмеження та перспективи адаптації чинного законодавства України до масового залучення до нього побутового сектору.

2. При розгляді математичної моделі електричного накопичувального водонагрівача наведено результати чисельного моделювання та верифікації, але відсутній аналіз чутливості моделі до зміни ключових параметрів, зокрема тепловтрат бака, температури вхідної води та похибок вимірювання експериментальних даних.

3. У розділі, присвяченому діяльності агрегатора, наведено бізнес-модель та організаційно-технічну структуру, однак не в повній мірі розглянуто

ризика невиконання заявлених обсягів гнучкості через поведінкові фактори споживачів, відмови зв'язку або технічні несправності кінцевих пристроїв.

4. Для формування реалістичних графіків споживання гарячої води використано поведінковий підхід на основі агентно-орієнтованої моделі Load Profile Generator, що безумовно забезпечило успішність дослідження. Разом з тим, доцільно було б більш детально висвітлити питання, які саме параметри та профілі необхідні для наступних етапів оптимізації для балансування енергетичної системи.

5. При дослідженні економічної доцільності участі побутових споживачів у програмах реагування на попит наведено загальні передумови отримання вигод, але не подано детального розрахунку строків окупності обладнання, витрат на впровадження систем керування та очікуваного рівня винагороди для домогосподарств.

6. При розгляді можливості участі агрегатора у різних сегментах ринку електричної енергії використовується поняття продукту, який формується та пропонується агрегатором на відповідних ринкових сегментах. Однак цей термін визначено недостатньо детально. Доцільно було б чіткіше конкретизувати структуру продукту, технічні характеристики, часові параметри та комерційні умови реалізації.

7. В роботі багато уваги присвячено обґрунтуванню можливості формування керованого навантаження для участі в програмах реагування на попит. Водночас недостатньо розкриті підходи до верифікації факту виконання заявки агрегатором, зокрема методи визначення базового рівня споживання, оцінювання досягнутого ефекту керування та підтвердження фактичного обсягу наданої гнучкості.

Слід зазначити, що зроблені зауваження не є принциповими і суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку роботи. Дисертаційне дослідження виконано на належному науковому рівні, а отримані результати мають теоретичне та практичне значення для розвитку механізмів реагування на попит і підвищення гнучкості енергосистеми.

## 10. Висновки

Дисертаційна робота Кіянчука В. М. є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково обґрунтовані результати, має наукову новизну та відкриває перспективи подальших досліджень. Тема дослідження відповідає галузі знань 14 – «Електрична інженерія» та спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та їх практичну значущість, вважаю, що дисертаційна робота Кіянчука В. М. «Режими споживання електроенергії побутовими накопичувальними водонагрівачами для підвищення енергоефективності та балансування енергосистеми» відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам здобувач, Кіянчук В. М., заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензент – кандидат технічних наук,  
професор кафедри передачі  
електричної енергії

Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»

  
Дмитро ДАНИЛЬЧЕНКО

