

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента Беглова Костянтина Вячеславовича
на науковий рівень дисертації і наукових публікацій здобувача
Зубака Віктора Валерійовича

«Моделі та методи автоматизованого управління балансом потужності та частоти електроенергетичної системи для підвищення її ефективності за умов дії проєктних та позапроєктних збурень», представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів дослідження

Наукові результати, які опубліковані у відкритих джерелах відповідають всім науковим результатам, які представлено в роботі в якості наукової новизни, до яких слід віднести наступне.

– **Розроблено комплексну імітаційну модель електроенергетичної системи (ЕЕС)**, яка вперше поєднує п'ять видів моделей: структурну, об'єктно-орієнтовану, математичну, стохастичну та табличну. Це забезпечило можливість формалізувати елементи системи, інформаційні та фізичні потоки, а також зміну параметрів і станів елементів в результаті дії проєктних та позапроєктних збурень. Такий комплексний підхід є новим для задач автоматизованого управління ЕЕС.

– **Удосконалений метод автоматизованого структурно-параметричного управління балансом потужності та частоти.** Новизна полягає в поєднанні параметричного регулювання (первинне та вторинне регулювання за статичною та астатичною характеристиками) зі структурним управлінням топологією ЕЕС (логіко-аналітичний перебір варіантів структури). Це дозволило створити єдиний алгоритм, який забезпечує автоматичний пошук найкращого рішення щодо регулювання або зміни структури системи залежно від дії збурень.

– **Розроблено динамічну модель управління балансом потужності та частоти** в середовищі MATLAB Simulink (№13709940), яка враховує математичні моделі генеруючої станції (парова турбіна з механіко-гідравлічною системою регулювання), лінії електропередачі, трансформаторної підстанції та навантаження. Це дало можливість аналізувати реакцію первинного та вторинного регулювання в результаті дії проєктних збурень та оцінювати вплив зміни структури системи в результаті дії позапроєктних збурень.

– **Вперше запропонований метод оцінки ефективності поставки електричної енергії** за узагальненим критерієм згортки трьох частинних критеріїв: об'єму, якості та ефективності поставки. Метод базується на згортці за нормою L_2 з відстанню до ідеальної точки та враховує можливість купівлі/продажу електроенергії за банківською системою у разі дефіциту або надлишку. Це дозволило перейти від окремого аналізу характеристик до формування єдиного узагальненого критерію для оцінки ефективності різних режимів роботи ЕЕС.

Ці пункти наукової новини опубліковано в:

1. Кривда, В. І., Рудницький, В. Г., Суворов, В. О. & Зубак, В. В. (2022). Підвищення ефективності роботи сонячних панелей при використанні МРРТ-контролера. Електротехнічні та комп'ютерні системи, 36(112), 6–17. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.36.112.2022.04>. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).
2. Kryvda, V., Suvorov, V. & Zubak, V. (2023). Modeling and method for assessing the efficiency of the power system. Herald of Advanced Information Technology, 6(3), 240–249. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.16>. (SCOPUS).
3. Суворов, В. О. & Зубак, В. В. (2023). Модель для моніторингу та оцінки ефективності електроенергетичної системи країни. Електротехнічні та комп'ютерні системи, 38(114), 15–21. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.38.114.2023.2>. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).
4. Babych, S., Kryvda, V., Zhanko, K., Zubak, V. & Suvorov, V. (2023). Development of models and methods for automated control of heat supply system with optimization of technical means structure, Energy Engineering and Control Systems, 9(2), 119–130. DOI: <https://doi.org/10.23939/jeecs2023.02.119>. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).
5. Кривда, В. І., Зубак, В. В. & Максимов, М. М. (2024). Модель збереження працездатності електроенергетичної системи за умови її небалансу. Електротехнічні та комп'ютерні системи, 40(116), 13–24. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.40.116.2024.2>. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).
6. Kryvda, V., Maksymov, M., Zubak, V., Ivaneiev, A. & Ryaboshapka, R. (2024). Development of the model and improvement of the method of automated control of steam turbine parameters to minimize the power imbalance in the energy system to increase its efficiency. Technology Audit and Production Reserves, 5, 1(79), 19–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.314219>. (SCOPUS).
7. Zubak, V., Kipriianov, I. & Filippov, Y. (2024). Model of automated control of the electric power system to ensure reliability and efficiency of power supply in the event of disturbances and imbalances. Proceedings of Odessa Polytechnic University, 2(70), 108–122. DOI: <https://doi.org/10.15276/opu.2.70.2024.13>. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

Крім того, наукові результати опубліковані в матеріалах міжнародних конференцій.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій у дисертаційній роботі Зубак В. В. є достатньо високим і базується на детальному аналізі літературних джерел за поставленими завданнями дисертаційного дослідження.

Мету та задачі дослідження висвітлено в достатній кількості публікацій в фахових журналах та журналах, які входять до НМБД Scopus.

По-перше, отримані результати відповідають цілям та вимогам ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Тема та мета дисертаційної роботи узгоджуються з призначенням програми: розвитком науково-педагогічних компетентностей здобувача для самостійного проведення досліджень у сфері автоматизованого керування складними технічними системами, формуванням здатності розв'язувати комплексні міждисциплінарні задачі у галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

По-друге, обґрунтованість отриманих наукових результатів базується на використанні взаємопов'язаних методів дослідження, які відповідають меті та завданням дисертаційної роботи. У роботі використано об'єктно-орієнтований аналіз – для формалізації елементів електроенергетичної системи, їх параметрів, станів та взаємозв'язків між ними; математичне моделювання – для опису фізичних процесів, що відбуваються в елементах електроенергетичної системи; стохастичне моделювання – для оцінювання надійності елементів та електроенергетичної системи; табличне моделювання – для відображення параметрів і станів елементів, а також розрахункових величин балансу потужності та частоти; динамічне моделювання – для аналізу роботи структурно-параметричного управління балансом потужності та частоти за умов дії проєктних та позапроєктних збурень; метод оцінки ефективності поставки електричної енергії шляхом згортки частинних критеріїв за методом ідеальної точки.

Отримані теоретичні положення підтверджено результатами моделювання, що демонструють здатність системи виконувати управління балансом потужності та частоти за умов дії проєктних та позапроєктних збурень.

Наукові результати дисертаційної роботи відповідають програмним, предметним, фаховим і інноваційним компетентностям ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»:

СК1. Здатність проводити моделювання об'єктів та систем керування.

СК2. Здатність проводити оцінку якості функціонування автоматизованих систем керування.

СК3. Знання та глибоке розуміння предметної області, розуміння професійної та наукової діяльності.

СК4. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та дотичних до неї міждисциплінарних напрямів і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з автоматизації, комп'ютерних технологій, приладобудування та суміжних галузей.

СК5. Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та англійською мовами, глибоке розуміння англійських наукових текстів за напрямом досліджень.

СК6. Здатність застосовувати сучасні методи дослідження, синтезу, проектування систем автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій, їх програмних та апаратних компонентів, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності.

СК7. Здатність здійснювати науково-педагогічну діяльність у вищій освіті, дотримуватись етики досліджень, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності.

По-третє, ступінь обґрунтованості наукових положень підтверджується виконанням сформульованих завдань дисертаційного дослідження, відповідно до яких необхідно було:

- проаналізувати існуючі методи, моделі та стратегії керування балансом потужності та частоти в електроенергетичній системі за умов дії проєктних та позапроєктних збурень;

- розробити комплексну імітаційну модель електроенергетичної системи із застосуванням інформаційних технологій, яка складається зі структурної, об'єктно-орієнтованої, математичної, стохастичної та табличної моделей для формалізації елементів системи, інформаційних та фізичних потоків, зміни параметрів та станів елементів в результаті дії проєктних та позапроєктних збурень;

- удосконалити метод автоматизованого структурно-параметричного управління та розробити динамічну модель управління балансом потужності та частоти електроенергетичної системи в результаті дії проєктних та позапроєктних збурень;

- запропонувати метод оцінки ефективності поставки електричної енергії в електроенергетичній системі для різних режимів її роботи.

Зауваження до змісту дисертації.

1. Моделювання роботи електроенергетичної системи за умов дії збурень потребує вибору таких видів моделей, які дозволяють описати структуру системи, параметри її елементів, результати моделювання тощо. На стор. 58–61 дисертаційної роботи наведено аналіз існуючих видів моделей, необхідних для дослідження роботи електроенергетичної системи, а саме: математичної, стохастичної, об'єктно-орієнтованої, табличної та структурної моделей. За якими ознаками визначено необхідність використання зазначених видів моделей та чому за умов дії збурень недостатньо застосування тільки одного виду моделі?

2. Інформаційна модель електроенергетичної системи потребує визначення складу її основних об'єктів, які відображають процеси, що в ній відбуваються. На стор. 73 наведено інформаційну модель електроенергетичної системи, яка включає такі об'єкти як, генеруюча станція, лінія електропередачі, трансформаторна підстанція, споживач, датчик, таймер, монітор та регулятор. За яким принципом в дисертаційній роботі визначено склад об'єктів інформаційної моделі та яким чином забезпечується зміна станів об'єктів?

3. Парова турбіна є елементом генеруючої станції, яка має інерційні властивості та бере участь у відновленні балансу активної потужності й частоти після виникнення небалансу в електроенергетичній системі. На стор. 136-145 дисертаційної роботи наведено динамічну модель електроенергетичної системи, у якій генеруюча станція описується роботою парової турбіни. Яким чином побудовано модель парової турбіни та як її параметри впливають на реакцію електроенергетичної системи під час первинного та вторинного регулювання потужності й частоти?

4. У дисертаційній роботі при формуванні критерію ефективності поставки та споживання електричної енергії враховано об'єм електричної енергії, який бе-

реться в борг у разі необхідності або продається у разі профіциту генерації електричної енергії за принципом банківської системи. На стор. 161 дисертаційної роботи наведено формулу, за якою визначається критерій ефективності поставки електричної енергії. Яким чином у запропонованому методі визначається величина об'єму електричної енергії, що береться в борг або продається та яким чином її значення впливає на результат оцінювання ефективності поставки і споживання електричної енергії?

Рівень виконання поставленого наукового завдання

Високий рівень розв'язання поставленого наукового завдання у дисертаційній роботі Зубака Віктора Валерійовича полягає у розробленні та вдосконаленні моделей і методів автоматизованого управління балансом потужності та частоти електроенергетичної системи за умов дії проєктних та позапроєктних збурень.

Повнота викладення результатів досліджень в наукових публікаціях за темою дисертації.

Наукові результати дисертаційної роботи повною мірою відображено у публікаціях здобувача. Основні положення дослідження викладено у 15 наукових працях, з яких 7 опубліковано у фахових наукових виданнях, а 8 – у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

Кількість публікацій за темою дисертаційної роботи та часовий інтервал, на якому вони публікувалися, достатньо великі. У публікаціях повною мірою відображено основні наукові положення дисертації. При оприлюдненні наукових результатів було дотримано вимоги «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», згідно Постанови КМУ №44 від 12.01.2022, із змінами.

Відсутність порушень академічної доброчесності.

Ознайомлення зі змістом дисертаційної роботи, списком використаних джерел та науковими публікаціями Зубака В.В. дає підстави зробити висновок про дотримання здобувачем вимог академічної доброчесності. У дисертаційній роботі забезпечено коректне використання наукових джерел, належне оформлення посилань на праці інших авторів та чітке відокремлення власних результатів дослідження від результатів, отриманих іншими науковцями.

Використані у дисертації теоретичні положення, методичні підходи та результати інших дослідників супроводжуються відповідними бібліографічними посиланнями. Це дає змогу встановити походження використаних матеріалів і відмежувати їх від власних наукових положень, моделей, методів та висновків здобувача.

Наукові результати дисертаційної роботи пройшли апробацію у фахових наукових виданнях України, виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах, а також у матеріалах наукових конференцій. Такий рівень оприлюднення результатів свідчить про їх відкритість для наукового обговорення та відповідність вимогам до публікацій за темою дисертаційного дослідження.

Отже, дисертаційна робота Зубака Віктора Валерійовича виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності. Підстав для сумнівів щодо самостійності проведеного дослідження, достовірності отриманих результатів і коректності використання наукових джерел не встановлено.

Значимість отриманих результатів для практичного використання.

Основні положення дисертаційного дослідження впроваджено:

– у ТОВ «ТК ПРОЕКТ», що дозволило пришвидшити аналіз ефективності електроенергетичної системи на етапі проєктування системи електропостачання.

– у навчальний процес Національного університету «Одеська політехніка» при підготовці бакалаврів та магістрів за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» в Інституті штучного інтелекту та робототехніки (ІШІР) на кафедрі «Програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій» при викладанні на-ступних дисциплін: Моделювання процесів і систем; Автоматизація виробничих процесів.

Зв'язок проведених здобувачем досліджень з науковими програмами, планами і темами.

Проведені здобувачем дослідження пов'язані з науковими планами Національного університету «Одеська політехніка», затвердженими Міністерством освіти і науки України, і є складовою частиною держбюджетних НДР № 228-55 за темою «Аналіз надійності експлуатації електроенергетичної системи» (№ 0122U201192) та НДР № 253-47 за темою «Моделі та методи термодеструкції органічної сировини довільного складу за рахунок автоматичного керування подачі сировини» (№ 0124U004588).

Оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності

Автор дисертаційної роботи Зубак Віктор Валерійович на тему «Моделі та методи автоматизованого управління балансом потужності та частоти електроенергетичної системи для підвищення її ефективності за умов дії проєктних та позапроєктних збурень», представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» продемонстрував повне оволодіння методологією наукового пізнання, що відповідає вимогам ОНП 3-го рівня за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Методологія дослідження, застосована для досягнення мети дисертаційної роботи, узгоджується з цілями освітньо-наукової програми третього рівня за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Вона спрямована на формування у здобувача здатності до самостійного проведення наукових досліджень, підготовки та захисту дисертації, а також на оволодіння методологією наукової і викладацької діяльності у закладах вищої освіти та наукових установах. Застосований методологічний підхід сприяє розвитку системного мислення, творчого потенціалу та здатності розв'язувати комплексні науково-прикладні задачі у галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування». Отримані наукові результати дисертаційної роботи відповідають програмним,

предметним, фаховим та інноваційним компетентностям освітньо-наукової програми третього рівня за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Висновок

Науковий рівень дисертаційної роботи та публікацій здобувача відповідає вимогам п.п. 5–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМ України № 44 від 12.01.2022, зі змінами, оскільки наведені в ній науково обґрунтовані результати у сукупності розв'язують актуальне наукове завдання розроблення та вдосконалення моделей і методів автоматизованого управління балансом потужності та частоти електроенергетичної системи за умов дії проєктних та позапроєктних збурень.

Вважаю, що автор дисертації «Моделі та методи автоматизованого управління балансом потужності та частоти електроенергетичної системи для підвищення її ефективності за умов дії проєктних та позапроєктних збурень» Зубак Віктор Валерійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

Рецензент

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри програмних
і комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національного університету
«Одеська політехніка»

Костянтин БЕГЛОВ