

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук,
доцента Федоришина Романа Мироновича 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», представленій на
здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Актуальність теми.

Дисертація Зубака Віктора Валерійовича присвячена розв'язанню актуальної науково-прикладної задачі – підвищення ефективності функціонування електроенергетичної системи шляхом розроблення моделей і методів автоматизованого управління балансом потужності та частоти за умов дії проєктних та позапроєктних збурень.

Процеси генерації, передавання, розподілу та споживання електричної енергії в сучасних електроенергетичних системах відбуваються одночасно, а підтримання балансу між активною потужністю генерації та споживанням безпосередньо впливає на частоту, якість електропостачання, стійкість системи та ефективність її функціонування. Зростання кількості споживачів і рівня їх навантаження, впровадження розосередженої генерації, а також підвищення вимог до надійності електропостачання та стійкості електроенергетичної системи за умов дії збурень потребують застосування нових підходів до автоматизованого управління балансом потужності та частоти, здатних реагувати не тільки на зміну параметрів режиму за умов дії проєктних збурень, а й на необхідність автоматизованої зміни топології електроенергетичної системи за умов дії позапроєктних збурень.

Існуючі методи первинного та вторинного регулювання потужності та частоти орієнтовані переважно на параметричне управління режимом роботи електроенергетичної системи в межах її фіксованої топології за умов дії проєктних збурень. За умов дії позапроєктних збурень, які не передбачаються на етапі проєктування електроенергетичної системи, існуючих методів первинного та вторинного регулювання недостатньо. Тому виникає необхідність у поєднанні параметричного управління балансом потужності та частоти зі структурним управлінням топологією електроенергетичної системи.

Отже, дисертаційне дослідження, спрямоване на розроблення моделей і методів автоматизованого управління балансом потужності та частоти електроенергетичної системи для підвищення її ефективності за умов дії проєктних та позапроєктних збурень, є своєчасним та практично значущим.

Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів дослідження.

В дисертаційній роботі отримано наступні наукові результати, які відповідають меті проведеного дослідження:

– розроблено комплексну імітаційну модель електроенергетичної системи, яка складається зі структурної, об’єктно-орієнтованої, математичної, стохастичної та табличної моделей. Запропонована модель забезпечує формалізований опис елементів електроенергетичної системи, їх параметрів і станів, відображення інформаційних та фізичних потоків між ними у межах єдиної комплексної імітаційної моделі, а також створює основу для виконання імітаційного моделювання роботи електроенергетичної системи за умов дії проєктних та позапроєктних збурень.

– удосконалено метод автоматизованого структурно-параметричного управління, а також розроблено динамічну модель електроенергетичної системи для управління балансом потужності та частоти в результаті дії проєктних та позапроєктних збурень. Це забезпечило можливість автоматизованого вибору найкращого рішення щодо параметричного регулювання потужності та частоти або зміни топології електроенергетичної системи за умов дії проєктних та позапроєктних збурень.

– вперше запропоновано метод оцінки ефективності постачання електричної енергії за узагальненим критерієм згортки характеристик частинних критеріїв: об’єму, якості та критерію ефективності постачання, який формується за методом ідеальної точки. Запропонований метод оцінки ефективності постачання електричної енергії за узагальненим критерієм згортки частинних критеріїв забезпечив можливість переходу від окремого аналізу частинних критеріїв до єдиного узагальненого показника, за допомогою якого виконується оцінка ефективності роботи електроенергетичної системи для різних режимів її роботи та за умов дії проєктних та позапроєктних збурень.

Наукову новизну теоретичних та експериментальних результатів дослідження представлено публікаціями, а саме:

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»).

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертаційній роботі Зубака В. В. є достатньо високим і базується на аналізі значної кількості наукових літературних джерел у напрямі автоматизованого управління балансом потужності та частоти, імітаційного та динамічного моделювання роботи електроенергетичної системи, визначення надійності її елементів, а також оцінки ефективності електропостачання за умов дії проєктних та позапроєктних збурень.

Наведені в дисертаційній роботі висновки є результатом послідовного розв'язання поставлених завдань, які узгоджуються з логікою дослідження та повною мірою відображають отримані наукові результати.

Обґрунтованість наукових положень додатково підтверджується тим, що завдання дисертаційного дослідження сформульовано системно, вони узгоджені з метою та послідовно розв'язані в дисертації:

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

2) 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;

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

4) запропонувати метод оцінки ефективності постачання електричної енергії в електроенергетичній системі для різних режимів її роботи.

Щодо дисертаційної роботи є питання, які потребують уточнення:

1. Формування структури автоматизованої системи керування електроенергетичною системою потребує використання відповідного методу синтезу, який дає змогу описати не лише функції керування, а й об'єкти, їх параметри, стани та взаємозв'язки. На стор. 54 – 57 дисертаційної роботи розглянуто системний, функціональний, ієрархічний, графовий методи синтезу систем керування, а також об'єктно-орієнтований аналіз як метод синтезу системи керування. У чому полягають переваги об'єктно-орієнтованого аналізу порівняно з іншими методами до синтезу структури системи керування та як його застосування вплинуло на побудову комплексної імітаційної моделі?

2. Моделювання електроенергетичної системи потребує опису структури системи, параметрів та станів її елементів, формалізації інформаційних зв'язків та фізичних потоків між ними для аналізу поведінки системи та формування керуючих дій щодо відновлення нормального режиму її роботи за умов дії збурень. На стор. 73 – 100 дисертаційної роботи наведено інформаційну модель електроенергетичної системи та діаграми переходів станів її об'єктів. Яким чином відбувається взаємодія між об'єктами інформаційної моделі та як зміна їх параметрів і станів використовується для аналізу режиму роботи електроенергетичної системи і формування відповідних керуючих дій?

3. Динамічне моделювання роботи електроенергетичної системи дає змогу проаналізувати реакцію системи на дію збурень. На стор. 136 – 145 дисертаційної роботи наведено динамічну модель електроенергетичної системи, розроблену в середовищі MATLAB/Simulink, яка включає генеруючу станцію, лінію електропередачі, трансформаторну підстанцію, споживача, а також контури первинного та вторинного регулювання. Які припущення були покладені в основу розроблення динамічної моделі та яким чином результати моделювання використовуються для оцінювання здатності системи відновлювати баланс потужності та частоти за умов дії проєктних та позапроєктних збурень?

4. У дисертаційній роботі оцінка ефективності роботи електроенергетичної системи за умов дії проєктних та позапроєктних збурень виконується за допомогою узагальненого критерію згортки частинних критеріїв: об'єму, якості та ефективності постачання електричної енергії. На стор. 160 – 172 дисертаційної роботи запропоновано метод оцінки ефективності постачання електричної енергії, який формується за методом ідеальної точки. Так як частинні критерії мають різну фізичну природу та розмірність, то важливим є їх приведення до порівнюваного вигляду. Яким чином забезпечується нормування частинних критеріїв та прийняття їх рівнозначності при формуванні узагальненого критерію ефективності?

Наведені зауваження не знижують загальну високу оцінку роботи і мають характер рекомендацій щодо її подальшого розвитку.

Рівень виконання поставленого наукового завдання забезпечується:

Сформульованим науковим завданням, яке полягає у підвищенні ефективності функціонування електроенергетичної системи за умов дії проєктних та позап-

роєктних збурень шляхом розроблення моделей і методів автоматизованого управління балансом потужності та частоти. У межах цього завдання автором дисертаційної роботи розроблено комплексну імітаційну модель електроенергетичної системи, яка поєднує: структурну, об'єктно-орієнтовану, математичну, стохастичну та табличну моделі, забезпечує формалізований опис елементів системи, їх параметрів, станів, інформаційних та фізичних потоків;

Удосконаленням методу автоматизованого структурно-параметричного управління балансом потужності та частоти. Запропонований метод передбачає поєднання параметричного управління режимом роботи електроенергетичної системи зі структурним управлінням її топологією, що дає можливість формувати керуючі дії для збереження балансу потужності та частоти залежно від величини збурення, наявного резерву потужності та стану елементів системи.

Розробленням динамічної моделі електроенергетичної системи за умов дії проєктних та позапроєктних збурень. Розроблена динамічна модель дала змогу виконати імітаційне моделювання режимів її роботи, проаналізувати дію первинного та вторинного регулювання потужності та частоти, а також зміну структури системи за умов дії проєктних та позапроєктних збурень;

Запропонуванням методу оцінки ефективності постачання електричної енергії за узагальненим критерієм згортки частинних критеріїв. Застосування запропонованого методу оцінки ефективності постачання електричної енергії дало можливість перейти від окремого аналізу об'єму, якості та ефективності постачання електричної енергії до єдиного узагальненого показника, за допомогою якого виконується порівняння різних режимів роботи електроенергетичної системи.

Повнотою викладення результатів досліджень в наукових публікаціях за темою дисертації.

Наукові результати дисертації, викладені у публікаціях у повній мірі відображають основні результати дослідження. Результати наукових досягнень викладені в 15 друкованих працях, з них 7 – у спеціалізованих наукових виданнях, 8 – доповіді і тези доповідей на міжнародних конференціях.

Кількість публікацій за темою дисертаційної роботи та часовий діапазон на якому вони публікувались, є достатніми для повного відображення її наукових положень. При оприлюдненні результатів дотримано вимог «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, із урахуванням змін.

Відсутністю порушення академічної доброчесності.

Аналіз дисертаційної роботи Зубака Віктора Валерійовича та публікацій, у яких відображено основні результати дослідження, дає підстави стверджувати, що роботу виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.

У тексті дисертації використані наукові положення, підходи, методи та результати інших авторів супроводжуються відповідними бібліографічними посиланнями. Власні результати здобувача, зокрема щодо розроблення комплексної імітаційної моделі електроенергетичної системи, удосконалення автоматизованого стру-

ктурно-параметричного управління балансом потужності та частоти, а також оцінювання ефективності постачання електричної енергії, викладені самостійно та логічно пов'язані з метою і завданнями дисертаційної роботи.

Отже, дисертаційна робота Зубака В. В. відповідає вимогам академічної доброчесності.

Значимість отриманих результатів для практичного використання.

Значимість отриманих результатів для практичного використання полягає у можливості використання розроблених моделей та методів для аналізу режимів роботи електроенергетичної системи за умов дії проєктних та позапроєктних збурень.

Практичні положення дисертаційного дослідження впроваджені в Національному університеті «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 наступних дисциплін: Моделювання процесів і систем; Автоматизація виробничих процесів.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в ТОВ «ТК ПРОЕКТ».

Оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Дисертант Зубак В. В. у роботі «Моделі та методи автоматизованого управління балансом потужності та частоти електроенергетичної системи для підвищення її ефективності за умов дії проєктних та позапроєктних збурень» продемонстрував належний рівень володіння методологією наукової діяльності, яка відповідає ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», що підтверджується отриманими науковими результатами, які викладено у науковій новизні.

Методологія наукового пізнання, використана для досягнення мети дисертаційної роботи, узгоджується з цілями освітньо-наукової програми 3-го рівня за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Вона спрямована на формування у здобувача науково-педагогічних компетентностей, необхідних для самостійного проведення наукового дослідження, підготовки та захисту дисертації за обраною спеціальністю, а також на оволодіння методологією наукової і викладацької діяльності у закладах вищої освіти та наукових установах. Застосована методологія сприяє розвитку системного мислення, творчого потенціалу та здатності розв'язувати комплексні проблеми в галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

Отримані дисертантом наукові результати відповідають програмним, предметним, фаховим та інноваційним компетентностям ОНП 3-го рівня за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Висновок

Дисертаційна робота Зубака Віктора Валерійовича «Моделі та методи автоматизованого управління балансом потужності та частоти електроенергетич-

ної системи для підвищення її ефективності за умов дії проєктних та позапроєктних збурень» та наукові публікації, у яких викладено основні отримані результати, мають високий науковий рівень.

Науковий рівень дисертаційної роботи та публікацій здобувача відповідають 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 представлена в роботі сукупність науково обґрунтованих результатів розв’язує актуальну наукову задачу – підвищення ефективності функціонування електроенергетичної системи за умов дії проєктних та позапроєктних збурень шляхом розроблення комплексної імітаційної моделі, удосконалення методу автоматизованого структурно-параметричного управління балансом потужності та частоти, розроблення динамічної моделі електроенергетичної системи та методу оцінки ефективності її роботи.

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

Офіційний опонент

доктор технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації
та комп’ютерно-інтегрованих технологій
Національного університету
«Львівська політехніка»

Роман ФЕДОРИШИН