

АНОТАЦІЯ

Суворов В. О. Моделі та методи аналізу ефективності та працездатності енергосистеми при нанесенні випадкових та запланованих збурень. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Національний університет «Одеська політехніка», МОН України, Одеса, 2024.

Дисертаційна робота присвячена розробленню методу аналізу ефективності експлуатації та працездатності єдиної енергосистеми за рахунок розроблення її імітаційної моделі для визначення зміни властивостей поставки та споживання електроенергії, в основу якої покладено згортку критеріїв аналізу запланованих та випадкових збурень, які роблять можливим руйнування окремих складових та вузлів, які зменшують працездатність.

У першому розділі «Аналіз сучасного стану експлуатації енергетичних систем через оцінку її ефективності та працездатності при збуреннях» одержано такі результати:

– Встановлено, що багато елементів єдиної енергосистеми, такі як трансформатори, генератори, лінії передачі тощо, мають великий термін експлуатації, але з часом вони втрачають ефективність та можуть вимагати заміни або серйозного ремонту. Під диспетчерським керуванням не всі елементи енергосистеми отримують регулярне технічне обслуговування, що може призводити до випадкових аварій. Багато енергетичних систем мають застаріле обладнання та технології, які не відповідають сучасним стандартам ефективності експлуатації.

– Встановлено, що країна стикається зі значним дефіцитом енергоносіїв, що обмежує можливості розвитку традиційних джерел енергії та підвищує залежність від імпорту. У енергетичному балансі країни незначну частку становлять відновлювальні джерела енергії, такі як вітроенергетика, сонячна енергія, біопаливо тощо. Через недостатню інфраструктуру Україна має значний потенціал для розвитку

відновлювальної генерації електроенергії, зокрема за допомогою сонячних панелей, вітрових турбін, біогазових установок, що сприяє зменшенню залежності від традиційних джерел та покращенню енергетичної безпеки.

– Визначено, що сучасні моделі та методи енергосистеми не враховують випадки, коли в умовах споживчого управління споживач замовляє тільки необхідний для нього об'єм електроенергії або єдина енергосистема підлягає випадковим збуренням.

У другому розділі «Імітаційна модель єдиної енергосистеми для різних сценаріїв запланованих збурень» одержано такі результати:

– Встановлено, що застосування графової теорії дає можливість створити модель структури енергосистеми країни у вигляді ярусного графу. Це дозволяє у вигляді вузлів та ребер представити складні структурні елементи системи такі як генеруючі установки, електричні підстанції та лінії електропередач, у вигляді імітаційних моделей, які можуть бути використані для аналізу, диспетчерського керування та оптимізації її роботи.

– Вперше запропоновано імітаційну модель енергетичної системи у вигляді ярусного графа, яка враховує потужність згенерованої та переданої мережею електроенергії, номінальну потужність та кількість трансформаторів електричних підстанції, переріз та максимальну пропускну здатність ліній електропередач. Така модель дає можливість визначити складні взаємозв'язки між її вузлами та інтегрувати устаткування в єдину енергосистему для проведення її аналізу ефективності експлуатації та працездатності.

В третьому розділі «Метод оцінки ефективності експлуатації єдиної енергетичної системи через згортку її параметрів» було розроблено метод оцінки ефективності експлуатації єдиної енергосистеми на основі імітаційної моделі єдиної енергетичної системи для аналізу її експлуатації на базі згортки окремих критеріїв. Науковим результатом третього розділу можна вважати:

– подальший розвиток методу оцінки ефективності експлуатації енергосистеми, в основу якого покладено об'єми поставки та споживання електроенергії. Було додано можливість врахування об'ємів електроенергії, які необхідно додатково

залучити за аналогом кредитної банківської системи у іншої енергопередавальної організації для забезпечення потреб споживача.

– узагальнений показник згортки окремих критеріїв, а саме обсягу, якості та ефективності поставки електроенергії, що дало можливість в умовах споживчого управління отримати інтегральний показник для виявлення споживачем ефективної поставки серед можливих альтернатив.

В четвертому розділі «Стохастична модель єдиної енергетичної системи та метод аналізу працездатності при ймовірносних сценаріях збурень» досягнуто мету дисертаційного дослідження. Науковим результатом четвертого розділу можна вважати:

– стохастичну модель ефективності та працездатності єдиної енергетичної системи, яка складається з її імітаційної моделі, поточного ланцюгу об'єктів перетворення та транспортування, моделі випадкових збурень, які змінюють властивості вузлів та ребер ярусного графу та методу оцінки її експлуатації за рахунок показників її ефективності та працездатності, методу рекурсивного процесу пошуку шляхів отримання електроенергії від об'єкта споживача до устаткування електрогенерації;

– аналіз умов працездатності енергосистеми під час різних сценаріїв експлуатації, враховуючи потенційні виходи з ладу компонентів під час випадкових збурень, які приводять до руйнування обладнання.

Ключові слова: енергосистема, диспетчерське керування, діаграма, генерація, відновлювані джерела енергії, лінія електропередачі, аналіз даних енергоспоживання, ефективність, геліосистема, виробництво електроенергії, критерії ефективності, оцінка ефективності, зниження витрат, енергоефективність, модель оцінки ефективності та працездатності.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Kryvda V., Rudnitsky V., Suvorov V., Zubak V. Improving the efficiency of solar panels when using mppt – controller. *Electrotechnic and Computer Systems*. 2022. No.36 (112). P. 6–17. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.36.112.2022.04>. ISSN 2221-3805. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»)
2. Разінков В. О., Суворов В. О. Перспективи використання геліоенергетики для енергопостачання в місті Одеса. *Вісник ВПІ*. 2022. № 6. С. 29-36. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-165-6-29-36>. ISSN 1997-9266. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»)
3. Kryvda V. I., Suvorov V. O., Zubak V. V. Modeling and method for assessing the efficiency of the power system. *Herald of Advanced Information Technology*. 2023; Vol. 6 No. 3. P. 240–249. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.16>. ISSN 2663-0176. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»)
4. Suvorov V., Zubak V. Model for monitoring and evaluation of the effectiveness of the electric power system of the country. *Electrotechnic and Computer Systems*. 2023. № 38(114). P. 15-21. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.38.114.2023.2>. ISSN 2221-3805. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»)
5. Babych S., Kryvda V., Zhanko K., Zubak V., Suvorov V. Development of models and methods for automated control of heat supply system with optimization of technical means structure. *Energy Engineering and Control Systems*. 2023. Vol. 9. No. 2, P. 119 – 130. DOI: <https://doi.org/10.23939/jeecs2023.02.119>. ISSN: 2411-8028. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»)
6. Максимов, М. В., Кривда, В. І., & Суворов, В. О. Model and method for analyzing the operability of the country's electric power system under non-projected disturbances. *Electrotechnic and Computer Systems*. 2024. № 39 (115). P. 14-25. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.39.115.2024.2>. ISSN 2221-3805. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»)

Опубліковані праці апробаційного характеру:

7. Kryvda V.I., Rudnitsky V.G., Suvorov V.O., Zubak V.V. «Modeling of a group of solar panels with constant solar radiation.» All-Ukrainian Scientific Conference «ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING, AND ELECTROMECHANICS: application, research, education». 2021. P. 65.

URL: <https://figshare.com/ndownloader/files/27608126>

8. Kryvda V., Suvorov V. «Assessment of the current state and development of sources of distributed generation of the unified energy system of Ukraine.» Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Munich, Germany. 2022. P. 114-119.

URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/11/SCIENTIFIC-PROGRESS-INNOVATIONS-ACHIEVEMENTS-AND-PROSPECTS-6-8.11.22.pdf>.

9. Kryvda V., Suvorov V. «Overview of the problems and impact of the connection of distributed generation sources at different levels of control of the united energy system of Ukraine.» Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Boston, USA. 2022. P. 248-253.

URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/12/PROGRESSIVE-RESEARCH-IN-THE-MODERN-WORLD-28-30.12.22.pdf>.

10. Suvorov V., Zubak V., Kryvda V. Evaluation of electricity supply and consumption efficiency. International Workshop of Scientific Students' Papers, 17th Edition. 2023.

URL: <https://elstud.webnode.ro/editii-elstud/2023/>

ABSTRACT

Suvorov V. O. Models and Methods for Analyzing the Efficiency and Operability of the Power System under Random and Planned Disturbances. – Qualification Work in Manuscript Form.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics. – National University «Odesa Polytechnic», Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2024.

The dissertation is dedicated to the development of a method for analyzing the operational efficiency and operability of a unified power system by developing its simulation model to determine changes in the properties of electricity supply and consumption, based on a convolution of criteria for analyzing planned and random disturbances that can lead to the breakdown of individual components and nodes, reducing operability.

In the first chapter "Analysis of the current state of power system operation through the evaluation of its efficiency and operability under disturbances," the following results were obtained:

– It has been established that many elements of the unified power system, such as transformers, generators, transmission lines, etc., have a long service life, but over time they lose efficiency and may require replacement or serious repair. Not all elements of the power system receive regular technical maintenance under dispatch control, which can lead to random accidents. Many power systems have outdated equipment and technologies that do not meet modern efficiency standards.

– It has been found that the country faces a significant deficit of energy resources, limiting the development opportunities of traditional energy sources and increasing dependence on imports. Renewable energy sources, such as wind energy, solar energy, biofuels, etc., make up a small fraction of the country's energy balance. Due to insufficient infrastructure, Ukraine has significant potential for the development of renewable electricity generation, including through the use of solar panels, wind turbines, biogas installations,

which contributes to reducing dependence on traditional sources and improving energy security.

– It has been determined that current models and methods of power systems do not take into account cases where, under consumer management conditions, the consumer orders only the necessary amount of electricity, or the unified power system is subject to random disturbances.

In the second chapter "Simulation model of a unified power system for various scenarios of planned disturbances," the following results were obtained:

– It has been established that the application of graph theory allows creating a model of the country's power system structure in the form of a layered graph. This allows representing complex structural elements of the system such as generating units, substations, and transmission lines as nodes and edges in the form of simulation models that can be used for analysis, dispatch control, and optimization of its operation.

– For the first time, an imitation model of the power system in the form of a layered graph has been proposed, which takes into account the power generated and transmitted by the power network, the nominal power and quantity of transformers of electrical substations, the cross-section and maximum throughput of power lines. Such a model allows determining complex relationships between its nodes and integrating equipment into a unified power system for conducting its operational efficiency and operability analysis.

In the third chapter «Method for evaluating the operational efficiency of a unified power system through the convolution of its parameters», a method for evaluating the operational efficiency of a unified power system based on its simulation model was developed for analyzing its operation based on a convolution of individual criteria. The scientific result of the third chapter can be considered:

– Further development of the method for evaluating the operational efficiency of the power system, based on the volumes of electricity supply and consumption. The possibility of taking into account the volumes of electricity that need to be additionally involved, similar to the credit banking system, in another power transmission organization to meet consumer needs.

– The generalized indicator of the convolution of individual criteria, namely the volume, quality, and efficiency of electricity supply, which made it possible under consumer management conditions to obtain an integral indicator for identifying effective supply among possible alternatives.

In the fourth chapter «Stochastic model of a unified power system and method of operability analysis under probabilistic disturbance scenarios», the goal of the dissertation research was achieved. The scientific result of the fourth chapter can be considered:

– Stochastic model of the efficiency and operability of the unified power system, which consists of its simulation model, the current chain of transformation and transportation objects, a model of random disturbances that change the properties of nodes and edges of the layered graph, and a method for evaluating its operation through indicators of its efficiency and operability, a method of recursive process of searching for paths to obtain electricity from the consumer object to the power generation equipment.

– Analysis of the operational conditions of the power system under different operation scenarios, taking into account potential failures of components during random disturbances that lead to equipment breakdown.

Keywords: power system, dispatch control, diagram, generation, renewable energy sources, power line, data analysis of energy consumption, efficiency, solar system, electricity production, efficiency criteria, efficiency evaluation, cost reduction, energy efficiency, efficiency assessment model and operability."

LIST OF PUBLICATIONS OF THE ACQUIRER

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published

1. Kryvda V., Rudnitsky V., Suvorov V., Zubak V. «Improving the efficiency of solar panels when using MPPT – controller.» *Electrotechnic and Computer Systems*. 2022. No.36 (112). P. 6–17. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.36.112.2022.04>. ISSN 2221-3805.

2. Razinkov V.O., Suvorov V.O. «Prospects of using solar energy for power supply in the city of Odesa.» *Bulletin of the VPI*. 2022. No. 6. P. 29-36. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-165-6-29-36>. ISSN 1997-9266.

3. Kryvda V.I., Suvorov V.O., Zubak V.V. «Modeling and method for assessing the efficiency of the power system.» Herald of Advanced Information Technology. 2023; Vol. 6 No. 3. P. 240–249. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.16>. ISSN 2663-0176.

4. Suvorov V., Zubak V. «Model for monitoring and evaluation of the effectiveness of the electric power system of the country.» Electrotechnic and Computer Systems. 2023. No. 38(114). P. 15-21. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.38.114.2023.2>. ISSN 2221-3805.

5. Babych S., Kryvda V., Zhanko K., Zubak V., Suvorov V. «Development of models and methods for automated control of heat supply system with optimization of technical means structure.» Energy Engineering and Control Systems. 2023. Vol. 9. No. 2, P. 119 – 130. DOI: <https://doi.org/10.23939/jeeecs2023.02.119>. ISSN: 2411-8028.

6. Maksimov M.V., Kryvda V.I., Suvorov V.O. «Model and method for analyzing the operability of the country’s electric power system under non-projected disturbances.» Electrotechnic and Computer Systems. 2024. No. 39 (115). P. 14-25. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.39.115.2024.2>. ISSN 2221-3805.

Published works of approbation nature:

7. Kryvda V.I., Rudnitsky V.G., Suvorov V.O., Zubak V.V. «Modeling of a group of solar panels with constant solar radiation.» All-Ukrainian Scientific Conference «ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING, AND ELECTROMECHANICS: application, research, education». 2021. P. 65.

URL: <https://figshare.com/ndownloader/files/27608126>.

8. Kryvda V., Suvorov V. «Assessment of the current state and development of sources of distributed generation of the unified energy system of Ukraine.» Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Munich, Germany. 2022. P. 114-119.

URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/11/SCIENTIFIC-PROGRESS-INNOVATIONS-ACHIEVEMENTS-AND-PROSPECTS-6-8.11.22.pdf>.

9. Kryvda V., Suvorov V. Overview of the problems and impact of the connection of distributed generation sources at different levels of control of the united energy system of

Ukraine. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Boston, USA. 2022. P. 248-253.

URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/12/PROGRESSIVE-RESEARCH-IN-THE-MODERN-WORLD-28-30.12.22.pdf>.

10. Suvorov V., Zubak V., Kryvda V. «Evaluation of electricity supply and consumption efficiency.» International Workshop of Scientific Students' Papers, 17th Edition. 2023.

URL: <https://elstud.webnode.ro/editii-elstud/2023>