

**Дослідження оптимального функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів із застосуванням комплексного акумулювання електричної та теплової енергій**

**Исследование оптимального функционирования интегрированных систем энергообеспечения потребителей с применением комплексного аккумуляирования электрической и тепловой энергий**

**Research of integrated consumers energy supply systems with electric and thermal energy accumulation optimal functioning.**

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0117U003825,**
- 2. Науковий керівник - к.т.н., Веремійчук Ю.А., Веремійчук Ю.А., Veremiichuk Yu. A.**
- 3. Суть розробки, основні результати.**

**(укр.)**

Виконано комплексне вивчення та наукове обґрунтування можливостей використання концепції енергетичних хабів, як об'єднання інтегрованих енергопостачальних систем в умовах України з метою обґрунтування технічних рішень для розробки та створення моделей керування режимами їх роботи, що сприяє забезпеченню оптимального потокорозподілу між джерелами енергії та споживачами і підвищення ефективності енерговикористання.

На основі об'єктивних припущень, розроблено модель системи комплексного енергозабезпечення споживачів, у вигляді енергетичного хабу, який забезпечує потребу у електричній і тепловій енергіях. Для представлених систем енергозабезпечення створено методологію оптимізації режимів їх роботи, враховуючи екологічні й економічні фактори на підставі мультикритеріального підходу. Розроблені моделі мультикритеріального планування й оптимізації режимів функціонування інтегрованих енергопостачальних систем дають змогу підвищити ефективність функціонування енергетичних вузлів із джерелами розосередженої генерації.

Проведено моделювання роботи енергетичного хаба, зі суб'єктами енергозабезпечення з використанням інструментів *DSM*. Визначено, що при зміні ціни на електричну енергію для споживачів, виникає можливість покривати попит власними джерелами та зменшити витрати на купівлю енергоносіїв на ринку. У результаті розроблено механізми формування, розрахунку ціни на електричну енергію для суб'єктів господарювання, які проводять господарську діяльність із виробництва електричної та теплової енергій.

Розроблена модель підтримки функціонування енергетичного хаба на основі біогазової установки й інших відновлюваних джерел енергії у поєднанні з системами акумулювання дає можливість, наприклад, при виробництві 352,5 м<sup>3</sup>/добу біогазу отримати його економію на рівні 25,4 тис.м<sup>3</sup>/рік, що за рахунок підвищенні ефективності біогазової установки на 13,94 % надає можливість в умовах когенераційної системи знизити собівартість виробництва електроенергії та теплоти у межах на 20–30 %.

Розроблено динамічні моделі функціонування різних джерел енергії для будівлі ДП "ДЕРЖАВТОТРАНСНДІПРОЕКТ" та проведено сценарне моделювання роботи об'єктів теплогенерації, в результаті якого встановлено, що в наслідок підключення до централізованої системи теплопостачання спостерігається зниження витрат на виробництво теплової енергії на власні потреби до 22,2%.

**(рос.)**

Выполнено комплексное изучение и научное обоснование возможностей использования концепции энергетических хабов, как объединение интегрированных энергообеспечивающих

систем в условиях Украины с целью обоснования технических решений для разработки и создания моделей управления режимами их работы, что способствует обеспечению оптимального потокораспределения между источниками энергии и потребителями и повышает эффективность энергопотребления.

На основе объективных предположений, разработана модель системы комплексного энергообеспечения потребителей, в виде энергетического хаба, который обеспечивает потребность в электрической и тепловой энергии. Для представленных систем энергообеспечения создана методология оптимизации режимов их работы, учитывая экологические и экономические факторы на основании мультикритериального подхода. Разработанные модели мультикритериального планирования и оптимизации режимов функционирования интегрированных энергоснабжающих систем позволяют повысить эффективность функционирования энергетических узлов с источниками распределенной генерации.

Проведено моделирование работы энергетического хаба, с субъектами энергообеспечения с использованием инструментов DSM. Определено, что при изменении цены на электрическую энергию для потребителей, возникает возможность покрывать спрос собственными источниками и уменьшить затраты на покупку энергоносителей на рынке. В результате разработаны механизмы формирования, расчета цены на электрическую энергию для субъектов хозяйствования, которые осуществляют хозяйственную деятельность по производству электрической и тепловой энергий.

Разработана модель поддержки функционирования энергетического хаба на основе биогазовой установки и других возобновляемых источников энергии в сочетании с системами аккумулирования, что дает возможность, например, при производстве  $352,5 \text{ м}^3 / \text{сутки}$  биогаза получить его экономию на уровне  $25,4 \text{ тыс.м}^3 / \text{год}$ , по счет повышению эффективности биогазовой установки на  $13,94\%$  позволяет в условиях когенерационной системы снизить себестоимость производства электроэнергии и теплоты в пределах на  $20-30\%$ .

Разработаны динамические модели функционирования различных источников энергии для здания ГП "ГОСАВТОТРАНСНИИПРОЕКТ" и проведения сценарное моделирование работы объектов теплогенерации, в результате которого установлено, что в результате подключения к централизованной системе теплоснабжения наблюдается снижение затрат на производство тепловой энергии на собственные нужды до  $22,2 \%$ .

**(англ.)**

Complex study and scientific substantiation of energy hubs concept using possibilities as unit of integrated energy supply systems in Ukraine with the purpose of technical substantiation solutions for the development and creation of their operation control modes models, which helps to ensure optimal flow distribution between energy sources and consumers with consumers energy use efficiency increase.

On the basis of objective assumptions, a model of complex energy supply system for consumers in the form of an energy hub, which covers needs for electric and thermal energy was developed. A methodology for optimizing the modes of their operation was created for the presented systems of energy supply, considering environmental and economic factors based on a multicriteria approach.

Developed models of multicriteria planning and optimization of integrated energy supply systems operation modes makes it possible to increase the operation efficiency of power units with sources of dispersed generation. Conducted energy hub work simulation with subjects of energy supply using DSM tools. Determined that consumers electricity price changes, there is an opportunity to cover demand from own sources and reduce the costs of market energy. As a result, mechanisms for electricity price formation for economic entities engaged in electricity and heat production economic activities have been developed.

The developed support model of the energy hub functioning based on the biogas plant and other renewable energy sources in combination with accumulation systems makes it possible, for

example, for the production of 352.5 m<sup>3</sup> / day of biogas to save it at the level of 25.4 thousand m<sup>3</sup> with increase of the biogas plant efficiency by 13.94% makes it possible in cogeneration system conditions to reduce the cost of electricity and heat production by 20-30%.

Dynamic models of different energy sources functioning for the building of state-owned enterprise «DERJAVTOTRANSNEDPROEKT» have been developed and scenario modeling of heat generation facilities operation has been carried out, as a result of which it is established that connection to the centralized heat supply system occurs a decrease in heat production costs for own needs up to 22.2%.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

1. Веремійчук Ю.А., Замулко А.І., Норець М.О. Формування підходів оцінювання впливу ВЕС і СЕС на побудову балансів потужності Об'єднаної енергетичної системи України 2018, 2020 рр. Авторське право на твір № 87743, 15.04.2019.
2. Веремійчук Ю.А., Притискач І.В., Ярмолюк О.С., Опришко В.П. Модель функціонування енергетичних хабів в умовах реформування енергетичної галузі. Авторське право на твір № 87126, 22.03.2019.
3. Веремійчук Ю.А., Дерев'яно Д.Г. Моделі оптимального функціонування локальних електропостачальних систем з використанням методів лінійного програмування». Авторське право на твір № 89352, 05.06.2019.
4. Веремійчук Ю.А., Притискач І.В., Ярмолюк О.С., Опришко В.П. Розрахунок оптимальних значень потужності, яка надходить до інтегрованих систем забезпечення споживачів та яка генерується нетрадиційними та відновлюваними джерелами енергії. Авторське право на твір № 90144, 24.06.2019.
5. Веремійчук Ю.А., Притискач І.В., Ярмолюк О.С., Опришко В.П. Мультикритеріальна оптимізація режимів роботи інтегрованих систем комплексного енергозабезпечення споживачів. Авторське право на твір № 90145, 24.06.2019.

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Рівень розробки відповідає світовому рівню та немає аналогів в Україні. Дослідження функціонування інтегрованих енергопостачальних систем в умовах України проведені з використанням інструментів *DSM* та пакету Optimization Toolbox середовища MATLAB.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок.**

Результати роботи є корисними для навчальних закладів та МОН України та підприємствам та науково-дослідним організаціям в енергетичній галузі. Впровадження комплексу установок розосередженої генерації та накопичувачів енергії для різних об'єктів господарської діяльності, та кінцевого споживача дозволить зниження витрат в середньому на 15 -30% на енергоносії (електроенергія, теплова енергія, газ).

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Результати роботи можуть бути використані підприємствами та науково-дослідними організаціями в енергетичній галузі, діяльність яких полягає у проектуванні та підтримці в експлуатації систем енергопостачання та оптимального управління цими системами виходячи з поточних і прогнозованих потреб клієнта й умов ринку енергії в Україні.

#### **8. Стан готовності розробки.**

Розроблене авторське програмне забезпечення, яке може використовуватися в системах диспетчеризації комплексу установок розосередженої генерації та накопичувачів енергії для різних об'єктів господарської діяльності в умовах ринків енергоносіїв України.

#### **9. Існуючі результати впровадження**

Результати роботи використані у виробничій практиці: ДП "ДЕРЖАВТОТРАНСНДІПРОЕКТ", ІТТФ НАН України, ТОВ «Деліція».

#### **10. Назва організації, телефон, E-mail**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, кафедра електропостачання, (044) 204-85-14 , [y.veremiichuk@kpi.ua](mailto:y.veremiichuk@kpi.ua)

**11. Фото розробки**



Зображення встановленої СЕС на даху корпусу №22



Стенд роботи інтегрована система енергопостачання

**12.Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки**

### **Монографія:**

1. Веремійчук Ю.А., Басок Б.І. Оцінка ресурсного потенціалу сонячної електроенергетики у Одеській області. К.: «КІМ», 2019. 250 с. ISBN 978-617-628-081-

### **Статті в журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus та/або Web of Science Core Collection:**

1. Veremiichuk Y., Prytyskach I., Yarmoliuk O., Opryshko V. Energy Hub Function Optimization Models During Ukrainian Energy Resources Market Liberalization. *Scientific Journal of Riga Technical University, Power and Electrical Engineering*. 2017. Vol. 34. Pp. 49–52. (Web of Science Core Collection (WoS))
2. Veremiichuk Y. Berzina K., Zicmane I., Mahnitko A., Patel D.K. Optimal power flow in power system in Latvian market conditions. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM2019*. 2019. Vol. 19, is. 4.1. Pp. 369–375. (Scopus)

### **Перелік опублікованих англомовних статей та тез доповідей у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються у наукометричній базі Scopus або WoS:**

1. Zamulko A., Veremiichuk Y., Nakhodov V., Mahnitko A., Berzina K. Research of Electrical Power Consumers Reaction in Power Consumption Management System. Proc. 9th International scientific symposium *Elektroenergetika*. Slovakia, Stará Lesná, 12–14 September 2017. Pp. 215–218.
2. Veremiichuk Y., Prytyskach I., Yarmoliuk O., Varfolomejeva R. Analysis of the results of optimal energy consumption planning for residential complex energy hub. Proc. 58th International Scientific Conference of Riga Technical University on *Power and Electrical Engineering RTUCON2017*. Latvia, Riga, 12–14 October 2017. Pp. 1–6.
3. Veremiichuk Y., Zamulko A., Varfolomejeva R., Sokolov N. Electricity consumption irregularity as a criterion for electric energy consumer's group formation Proc. 58th International Scientific Conference of *Riga Technical University on Power and Electrical Engineering RTUCON2017*. Latvia, Riga, 12–14 October 2017. Pp. 1–5.
4. Veremiichuk Y., Yarmoliuk O., Prytyskach I., Opryshko V., Mahnitko A., Lomane T., Berzina K. Energy hub functioning model considering perspectives for development of bioenergy in Ukraine. Proc. IEEE 18th International Conference on *Environment and Electrical Engineering* and 2nd *Industrial and Commercial Power Systems Europe*. Italy, Palermo, 12–15 June 2018.
5. Veremiichuk Y., Zamulko A., Zaichenko S., Mahnitko A., Berzina K., Zicmane I. Analysis of Electric Energy Supply Security Attached to Renewable Energy Sources Implementation. Proc. X International Conference on *Electrical and Power Engineering EPE2018*. Romania, Iași. 18–19 October 2018. Pp. 977–981.
6. Veremiichuk Y., Prytyskach I., Yarmoliuk O., Opryshko V., Mahnitko A., Berzina K., Zicmane I. Modeling energy hub operating modes with demand side management usage. Proc. X International Conference on *Electrical and Power Engineering EPE2018*. Romania, Iași. 18–19 October 2018. Pp. 972–976.
7. Veremiichuk Y., Prytyskach I., Yarmoliuk O., Opryshko V. Energy sources selection for industrial enterprise combined power supply system. Proc. IEEE 6th International conference on *Energy Smart Systems ESS2019*. Ukraine, Kyiv, 17–19 April 2019. No. 8764188. Pp. 283–288.
8. Basok B., Lysenko O., Veremiichuk Y., Rybina O., Davydenko B., Belyaeva T. Experimental research of administrative buildings electricity consumption. Proc. IEEE 6th International conference on *Energy Smart Systems ESS2019*. Ukraine, Kyiv, 17–19 April 2019. No. 8764236. Pp. 324–327.
9. Papkov B., Mahnitko A., Zicmane I., Berzina K., Lomane T., Veremiichuk Y. System approach to management of electrical consumption in intelligent electrical networks. Proc.

- 19th International conference on *Environment and Electrical Engineering* and 3rd *Industrial and commercial Power System*. EU, Genoa, 11–14 June 2019. No. 8783911.
10. Veremiichuk Y., Zicmane I., Berzina K., Zamulko A. The use of electromobility to align daily electrical load schedule of power system. Proc. 10th International Scientific Symposium on *Electrical Power Engineering ELEKTROENERGETIKA2019*. Slovakia, Stara Lesna, 16–18 September 2019. Pp. 458–461.
  11. Deshko V.I., Zamulko A.I., Karpenko D.S., Mahnitko A., Linkevics O. Evaluation of the district heating market efficiency as the function of its size and number of competing suppliers. Proc. IEEE 59th Annual International Scientific Conference on *Power and Electrical Engineering of Riga Technical University RTUCON2018*. Latvia, Riga, October 2018. No. 8659907.
  12. Veremiichuk Y., Deshko V., Karpenko D., Mahnitko A. Scenario analysis for increasing efficiency level of the autonomous generation object in central heat supply. Proc. IEEE 60th International Scientific Conference on *Power and Electrical Engineering of Riga Technical University RTUCON2019*. Latvia, Riga, 07–09 October 2019.
  13. Deshko V., Karpenko D. Functional Structure of the Local Thermal Energy Market in District Heating. Proc. IEEE 6th International Conference on *Energy Smart Systems ESS 2019*. 2019. No. 8764211. Pp. 343–346.

**Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України:**

1. Лисенко О.М., Веремійчук Ю.А., Басок Б.І. Оцінка потенціалу кінцевого енергоспоживання теплової та електричної енергії населенням. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. № 2. С. 68–75).
2. Замулко А.І., Веремійчук Ю.А. Організація обмеження споживачів на роздрібному ринку електричної енергії: правові питання. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2018. № 1. С. 23–33.
3. Лисенко О.М., Андрейчук С.В., Приемченко В.П., Басок Б.І. Експериментальні дослідження індивідуального теплового пункту з електричними котлами. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2018. № 10. С. 29–35.
4. Карпенко Д.С., Дешко В.І. Техніко-економічний аналіз створення ринку теплової енергії в Україні. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2018. № 2. С. 26–37.
5. Карпенко Д.С., Дешко В.І., Замулко А.І., Аналіз принципів формування локальних ринків теплової енергії в системах централізованого теплопостачання. *Проблеми загальної енергетики*. 2018. № 4 (55). С. 51–58.
6. Опришко В.П. Механізми реалізації програм керування попиту на електричну енергію у світовій практиці. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2018. № 3. С. 44–51.
7. Veremiichuk Y., Prytyskach I., Yarmoliuk O. The functioning model of integrated energy supply system with co-generation units operation, taking into account prospects of bioenergy development in Ukraine. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. № 1. С. 29–40.
8. Дерев'янюк Д.Г., Ярмолюк О.С., Беспалов О.А. Особливості режимів функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів. *Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика*. 2018. № 5. С. 48–51
9. Притискач І.В., Оникійчук В.О. Аналіз та оптимізація режимів роботи інтегрованих систем комплексного енергозабезпечення споживачів із урахуванням економічних та екологічних факторів. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2018. № 1. С. 33–40.

**13 Надати ключові слова до розробки:** інтегрована система енергопостачання, розосереджена генерація, акумулювання, енергозабезпечення, енергетичний хаб.