

**DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-25**

УДК 620.92:658.5

М. І. Бабич, к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-1295-4162

В. М. Боярчук, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-2192-0143

С. В. Коробка, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-4717-509X

В. В. Пташник, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1018-1138

*Львівський національний університет природокористування*

e-mail: m.babych@ukr.net, тел.: +380977635832

## **ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ ПРОЄКТІВ З ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ**

*Анотація.* У статті розглянуто особливості впровадження комплексних проєктів з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики. Проаналізовано стан та перспективи використання відновлюваних джерел енергії і гідроенергетики в Україні та світі. Розглянуто особливості використання комплексних проєктів відновлюваної енергетики для енергозабезпечення споживачів. Запропоновано алгоритм обґрунтування системи комплексного проєкту з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики, який дозволяє врахувати системні взаємозв'язки між складовими проєкту. Запропоновані критерії ефективності для оптимізації параметрів системи та виділено чотири основні її стадії розвитку.

*Ключові слова:* проєкт, енергетична безпека, гідроенергетика, відновлювані джерела енергії, ефективність.

*Постановка проблеми.* Енергетична безпека є однією з найважливіших складових безпеки будь-якої країни та зачіпає явища і процеси не тільки енергетичної системи, але і економіки [7; 12]. Вона визначається як захищеність громадян і держави в цілому від загроз дефіциту всіх видів енергії та енергоресурсів, що виникають через вплив негативних природних і техногенних, соціально-економічних, внутрішньо- і зовнішньополітичних чинників [11]. Для забезпечення енергетичної безпеки, у зв'язку з загрозами закінчення викопних палив, глобального потепління і інших подібних викликів сучасності, в тому числі і військових конфліктів, країни світу змушені оперативно змінювати структуру енергетичного сектору. На сьогодні спостерігаємо два основні напрями – скорочення загального енергоспоживання за рахунок впровадження енергоефективних заходів та технологій і заміна традиційних енергоносіїв відновлюваними джерелами енергії. Сьогодні більшість країн розробляють і реалізують плани та стратегії щодо покриття своїх



енергетичних потреб від 50 % до 100 % за рахунок відновлюваних джерел енергії [4, 10, 14, 15].

Щодо України, де через бойові дії виведено з експлуатації або зруйновано до 50% енергетичної інфраструктури, застосування відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики є на сьогодні актуальним напрямком стабілізації рівня забезпечення України електроенергією, і вимагає планування та реалізації відповідних проєктів [5, 6]. Для успішної реалізації проєктів відновлюваної енергетики необхідно розробити відповідні методики обґрунтування і алгоритми їх впровадження. З огляду на це, робота, присвячена даному питанню є важливою і актуальною.

*Аналіз останніх досліджень.* Огляд літератури щодо енергозабезпечення споживачів за рахунок впровадження відновлюваних джерел енергії свідчить про належне опрацювання даної теми [9, 14, 15]. Проте, мало досліджень присвячених створенню та управлінню комплексних проєктів для підвищення рівня енергетичної безпеки. Проєкти відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики не розглядаються, як єдине ціле [22, 23, 25]. А для розв'язання задач на різних етапах застосовувались підходи, не поєднані єдиною методологією, що унеможливило об'єктивне оцінення ефективності таких проєктів [13, 17].

*Формулювання мети статті.* Метою даного дослідження є розроблення алгоритму впровадження комплексних проєктів з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати особливості використання відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики для підвищення рівня енергетичної безпеки;
- визначити основні складові системи комплексних проєктів з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики та їх взаємовплив на загальну ефективність такого проєкту;
- розробити методику впровадження комплексних проєктів.

*Основна частина.* У грудні 2015 року відбулась Паризька Угода за участю представників 195 країн, яка є основою нової ери боротьби зі зміною клімату на землі. Зокрема погоджено домовленість учасників про обмеження глобального потепління до 2 °С, та докласти усіх зусиль, щоб не перевищити потепління на 1,5 °С. Єдиним шляхом для досягнення зазначених цілей, є перехід на відновлювану енергетику та поступову відмову від традиційних видів палива [18, 19].

На сьогоднішній день в усьому світі помітно чітку тенденцію поступового заміщення традиційних видів палива відновлюваними джерелами енергії [20, 21]. Найпотужнішими виробниками



електроенергії з відновлюваних джерел є 7 країн, сумарні потужності яких складають 470 ГВт – 71,5 % світового виробництва: Китай, США, Німеччина, Італія, Іспанія, Японія, Індія [15, 16, 24].

З кожним роком відбувається приріст встановленої потужності об'єктів відновлюваної енергетики в Україні. Станом на січень 2022 року встановлена потужністю джерел відновлюваної енергетики сукупно становила 9,5 ГВт, а загальні інвестиції в галузь склали біля 12 млрд доларів США. Нажаль війна внесла свої корективи, про що свідчить той факт, що в областях де відбуваються бойові дії розміщено біля 50% електростанцій на відновлюваних джерелах енергії. Тому інвестори сьогодні не вкладають кошти у відновлювану енергетику, чекаючи на стабілізацію ситуації. Така ситуація є неприйнятною для України, яка через військові дії агресора постійно втрачає генеруючі потужності електростанцій, що становить велику загрозу для системи електрозабезпечення споживачів.

Важливо і надалі впроваджувати проекти відновлюваної енергетики, враховуючи те, що рівень освоєння потенціалу відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики все рівно залишається на досить низькому рівні. Для прикладу потенціал малих річок Карпатського регіону освоєно лише на 7 % – 20 МВт з доступних 275 МВт.

Насамперед необхідний науковий супровід впровадження комплексних проектів з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики, що передбачає розробку наукових методів для підвищення ефективності відповідних проектів.

Використання відновлюваних джерел для енергозабезпечення споживачів має свої характерні особливості, з яких основною є наявність стохастичності вихідного параметра (характеристик вітрової, сонячної, гідроенергії тощо), і нерівномірності його коливань протягом сезону [2]. З означених джерел стабільнішим є гідроенергія. Однак її показники теж змінюються протягом сезону (посухи, замерзання), і якщо враховувати використання гідроенергії малих річок без застосування гребель, і інших водозабірних споруд загрозованих для навколишнього середовища через підтоплення територій, то ефективніше використовувати комбіновано з іншими відновлюваними джерелами. Комбіноване використання джерел енергії дозволяє зменшити нерівномірність виробництва електроенергії. Використання того чи іншого відновлюваного джерела в комбінованій системі, а також його частка, залежить від багатьох чинників – місцевості, умов експлуатації, замовника проекту тощо. Для обґрунтування оптимальних параметрів такої комбінованої системи, необхідно системно дослідити усі її складові та визначити їх

взаємовплив на загальну ефективність проекту з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики [3, 8].

Для обґрунтування параметрів системи комбінованого проекту з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики запропоновано розроблений алгоритм (рис. 1). В процесі обґрунтування параметрів системи виділено чотири основні її стадії розвитку: неупорядкована реальна система, віртуальна система, впорядкована віртуальна система, впорядкована реальна система.

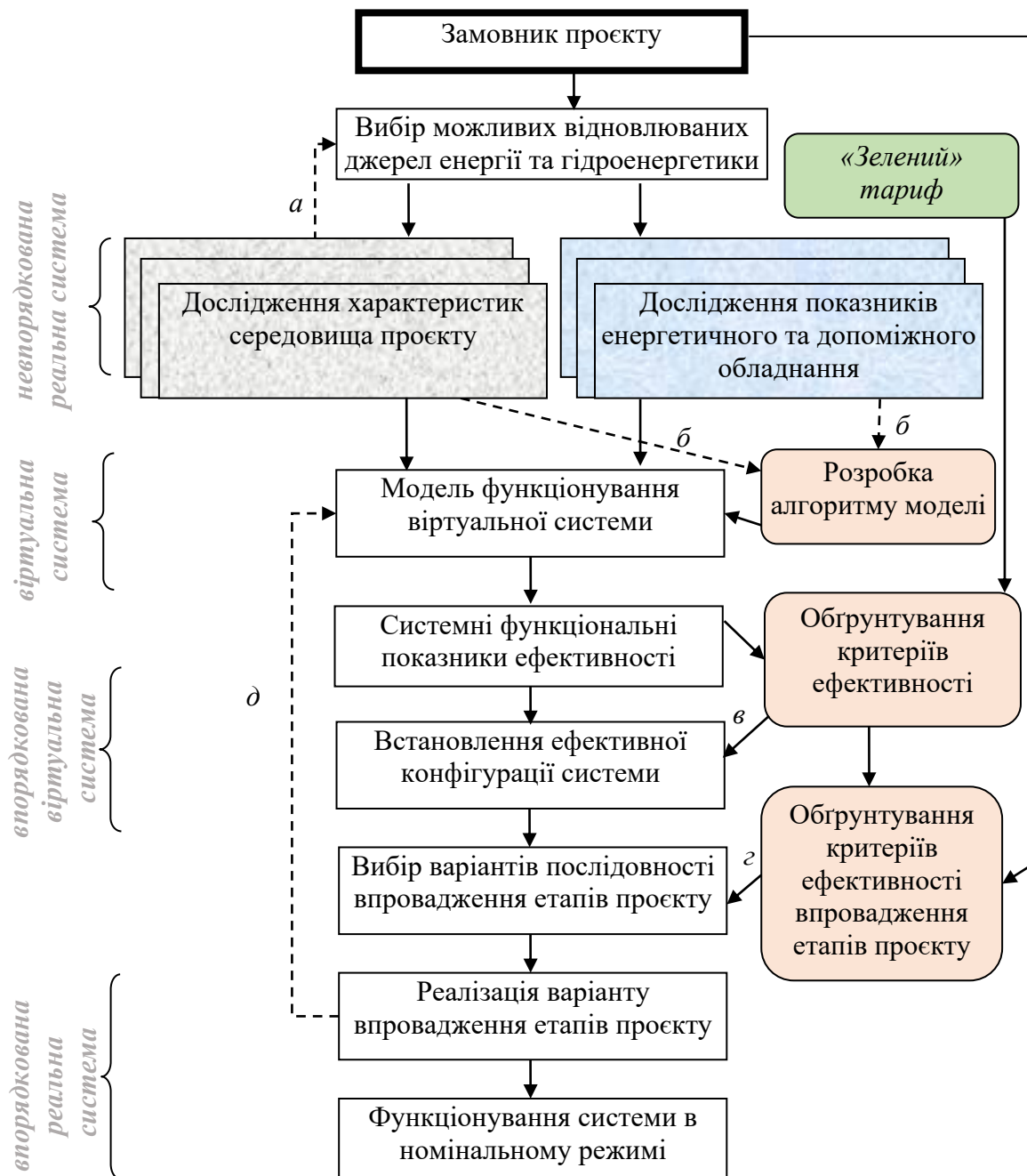


Рис. 1. Алгоритм обґрунтування системи комплексного проекту з відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики



У впровадженні такого проекту і його ефективності в першу чергу зацікавлений замовник, а це може бути споживач, вітчизняний чи закордонний інвестор, держава тощо. Замовник, ставить певні умови щодо проекту, що впливає на вибір можливих джерел енергії з врахуванням дослідження характеристик середовища проекту (зв'язок  $a$  на рис.1), наприклад дослідження річки, якщо буде використовуватись гідроенергетичне обладнання, або дослідження потенціалу сонячної енергії в місцевості де планується застосовувати сонячні електростанції. Разом з цим здійснюється вибір та обґрунтування використання енергетичного та допоміжного обладнання обраних типів електростанцій з врахуванням умов експлуатації.

Отримані на підставі дослідження відомості про характеристики середовища проекту та фізичні і функціональні показники енергетичного та допоміжного обладнання є основою для розроблення алгоритму імітаційної моделі функціонування віртуальної комбінованої системи. Дана модель враховує сумісне функціонування різних видів відновлюваних джерел енергії та гідроенергетики.

Ефективність функціонування моделі з заданими показниками обладнання електростанцій оцінюють за допомогою системних функціональних показників [1]. Використовуючи ці показники ми можемо подивитись на результат роботи того чи іншого обраного обладнання, наприклад гідроелектростанції на заданій річці. У залежності від вимог замовника, заданих умов проекту, системними показниками можуть бути виробіток енергії, собівартість, прибуток від реалізації енергії, коефіцієнт заміщення тощо.

Наступним кроком є вибір і обґрунтування критерію оптимізації, який залежить від вимог замовника проекту. Критерії можуть бути різними, але основними з них є: мінімальні питомі капіталовкладення в спорудження електростанцій, мінімальна собівартість виробленої електроенергії, мінімальний термін окупності, максимальний виробіток електроенергії тощо.

Якщо розглядати приватного інвестора як замовника проекту, то зрозуміло що його в першу чергу цікавить отримання максимально прибутку від реалізованої електроенергії та швидке повернення вкладених коштів. Оскільки до 2030 року діє «зелений» тариф на електроенергію вироблену на об'єктах відновлюваної енергетики, величину цього тарифу необхідно включати у критерії при роботі обґрунтованої комбінованої системи на загальну мережу.

Незалежно від того, яке відновлюване джерело обрано для виробітку енергії, виробіток енергії є функцією від параметрів системи:  $w_i = w_i(x_i)$ , а ефективність залежить від виробітку:  $E_i = E_i(w_i)$ .



Тоді цільову функцію оптимізації частки кожного з джерел енергії можемо записати

$$\bar{E}_i \rightarrow \sum_i W_i E(W_i) \rightarrow \max_{(X_i)} \quad (1)$$

Використовуючи критерії ефективності можна здійснити оптимізацію параметрів комбінованої системи для виробництва енергії (оптимізаційний зв'язок  $\epsilon$  на рис. 1), в результаті чого система стає вже впорядкованою.

Завершальним кроком, який впливає на сумарну ефективність проекту, є порядок впровадження його етапів. Для об'єктивності моделі має бути системна єдність критеріїв на різних етапах життєвого циклу проекту при розв'язанні різних задач. Крім цього обґрунтування послідовності залежить від умов фінансування проекту.

Коли остаточно конфігурація комбінованої системи проекту нам відома, то відома й кількість етапів, а, відповідно, й множина значень параметрів проміжних конфігурацій. У такому випадку здійснюється почерговий перебір їх варіантів. Для визначення середньозваженої ефективності  $\bar{E}$  фази впровадження проекту слід шукати максимум функції (оптимізаційний зв'язок  $\zeta$ ):

$$\bar{E} = \frac{\sum_{t=1}^{R-1} \Delta t_{t+1} \cdot \sum_{i=1}^r \Delta E_i}{\sum_{t=1}^R \Delta t_t} \rightarrow \max \quad (2)$$

де  $R$  – кількість етапів (складових) проекту;

$\Delta t$ ,  $\Delta E$  – відповідно тривалість реалізації та приріст ефективності.

Під час реалізації варіанту впровадження етапів проекту уточнюють результати з моделлю (на схемі зв'язок уточнення  $\delta$ ).

*Висновки.* Враховуючи, що розглянута комбінована система відноситься до складних систем, для її дослідження доцільно використовувати метод статистичного імітаційного моделювання. Запропонований алгоритм обґрунтування параметрів системи проекту, враховує особливості підсистем проекту та взаємозв'язки між ними, і уможливорює управління проектом з використанням системного підходу до обґрунтування критеріїв ефективності. Для практичної реалізації розроблених етапів проекту в рамках предметної галузі необхідні подальші дослідження характеристик середовища та показників енергетичного і допоміжного обладнання оскільки вони будуть унікальними в межах кожного проекту.

*Список використаних джерел*

1. Бабич М. І. Обґрунтування системних функціональних показників малих дериваційних гідроелектростанцій. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2015. № 6/1(26). С. 31–36. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.56648>.
2. Бабич М. Обґрунтування стохастичної складової проектного середовища в проектах систем виробництва електроенергії на малих річках. *Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження*. 2015. Вип. 19. С. 7–12.
3. Бабич М. І., Боярчук В. М., Коробка С. В., Михалюк М. А., Баранович С. М., Стукалець І. Г. Визначення витрати води і напору дериваційних гідроелектростанцій для виробництва електроенергії на гірських річках. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип.24, т. 2. 11 с. [https://drive.google.com/file/d/1LBvJBYoA\\_mQZvpWESMiCgEn-sEXKg87N/view](https://drive.google.com/file/d/1LBvJBYoA_mQZvpWESMiCgEn-sEXKg87N/view) (дата звернення 02.09.2024).
4. Вознюк М. А. Регіональна інвестиційна політика енергозбереження: монографія / НАН України, ДУ «Ін-т регіон. дослідж. ім. М. І. Долішнього». Львів: Ін-т регіон. дослідж. ім. М. І. Долішнього, 2015. 413 с.
5. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Баштовий А. І. Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлюваних джерел енергії. Ч. 1. *Промислова теплотехніка*. 2016. Т. 38, № 2. С. 56–64.
6. Добрянська Н. А. Лагодієнко В. В., Торішня Л. А. Перспективи використання відновлювальних джерел енергії в Україні. *Український журнал прикладної економіки*. 2020. Т. 5, № 2. С. 206–213. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2020-2-25>.
7. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text> (дата звернення 02.09.2024).
8. Коробка С. В., Стукалець І. Г., Сиротюк С. В., Бабич М. І. Підвищення енергетичної безпеки електрозабезпечення споживачів ліній електропередач 0,38 кВ із застосуванням системи моніторингу віртуально вимірювальних приладів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 1. 17 с. [https://drive.google.com/file/d/16K4L3o1vXB0ybzpJ3b5A1-8ORk\\_\\_rf0g/view](https://drive.google.com/file/d/16K4L3o1vXB0ybzpJ3b5A1-8ORk__rf0g/view) (дата звернення 02.09.2024).
9. Накашидзе Л. В., Гільорме Т. В. Оцінка енергетичної безпеки при впровадженні технологій використання енергії відновлювальних джерел. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. № 8. С. 54–59.



10. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: оцінка ефективності інвестиційних проєктів : монографія / О. М. Сохацька, О. М. Ляшенко, В. М. Олейко [та ін.] ; за заг. наук. ред. О. М. Сохацької. Тернопіль : ТНЕУ, 2012. 308 с.
11. Самборський В. О. Оцінка енергетичної безпеки підприємства як складова його стратегії енергетичної безпеки. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2014. № 34 (1077). С. 163–168.
12. Свірчевська Ю. А. Сутність енергетичної безпеки країни та чинники, що на неї впливають. *Геополітика и екогеодинаміка регіонів*. 2014. Т. 10, вип. 2. С. 222–228.
13. Сидорчук О., Бабич М., Татомир А. Моделювання віртуальної системи «річка-гідроелектростанція». *Motorization and power industry in agriculture. MOTROL*. 2011. Т. 13D. Р. 244–250.
14. Чумаченко О. Роль відновлюваних джерел енергії у електроенергетичному балансі України. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2022. № 3(67). С. 39–47. <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2022-67-39-47>.
15. Ang T-Z., Salem M., Kamarol M., Shekhar Das H., Alhuyi Nazari M., Prabakaran N. A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*. 2022. Vol. 43. e100939. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>.
16. Banos R., Manzano-Agugliaro F., Montoya F.G., Consolacion G., Alcayde A., Gomez J. A., Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15 (4). P. 1753–1766. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.008>.
17. Bondarenko S., Verbivska L., Dobrianska N., Iefimova G., Pavlova V., Mamrotska O. Management of Enterprise Innovation Costs to Ensure Economic Security. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2019. Vol. 8 (3). P. 5609–5613.
18. Cherp A., Jewell J. The concept of energy security: Beyond the four As. *Energy Policy*. 2014. № 75. P. 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.0005>.
19. Energy Supply Security and Geopolitics. Final Report. *Clingendael International Energy Programme (CIEP)*. 2004. 279 p.
20. Jewell J. The IEA Model of Short-term Energy Security (MOSES). *Primary Energy Sources and Secondary Fuels*. 2011. 48 p.
21. Jewell J., Cherp A., Riahi K. Energy security under decarbonization scenarios: an assessment framework and evaluation under different technology and policy choices. *Energy Policy*. 2014. № 65. P. 743–760. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.051>.
22. Obukhov S., Ibrahim A., Tolba M. A., M. El-Rifaie A. Power balance management of an autonomous hybrid energy system based on the





dual-energy storage. *Energies*. 2019. Vol. 12. 4690. <https://doi.org/10.3390/en12244690>.

23. Qazi A., Hussain F., Abd Rahim N., Hardaker G., Alghazzawi D., Shaban K., Haruna K. Towards sustainable energy: a systematic review of renewable energy sources technologies, and public opinions. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 63837–63851. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906402>.

24. Sovacool B. K., Mukherjee I. Conceptualizing and measuring energy security: a synthesized approach. *Energy*. 2011. № 36 (8). P. 5343–5355. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.043>.

25. Winzer C. Conceptualizing energy security. *Energy Policy*. 2012. № 46. P. 36–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.067>.

*Стаття надійшла до редакції 12.09.2024 р.*

**M. Babych, V. Boyarchuk, S. Korobka, V. Ptashnyk**  
**Lviv National University Environmental University**

## **INCREASING THE LEVEL OF ENERGY SECURITY FOR THE IMPLEMENTATION OF COMPLEX PROJECTS FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES AND HYDROENERGY**

### *Summary*

The article examines the peculiarities of the implementation of complex projects from renewable energy sources and hydropower. The state and prospects of the use of renewable energy sources and hydropower in Ukraine and the world are analyzed. The peculiarities of the use of complex projects of renewable energy for the energy supply of consumers and increasing the level of energy security are considered. Since the combined system is a complex system, it is proposed to use the method of statistical simulation modeling for its study. The information obtained as a result of the research about the characteristics of the project environment and the physical and functional indicators of energy and auxiliary equipment are the basis for developing an algorithm for a simulation model of the functioning of a virtual combined system. This model takes into account the combined functioning of various types of renewable energy sources and hydropower.

An algorithm for justifying the system of a complex project from renewable energy sources and hydropower is proposed, which allows taking into account the systemic interrelationships between the components of the project. Proposed efficiency criteria based on the "green" tariff to optimize system parameters. In the process of justifying the parameters of the system, four main stages of its development are highlighted: a disordered real system; virtual system; ordered virtual system; ordered real system.

Using efficiency criteria, it is possible to optimize the parameters of the combined system for energy production. The method of implementation of the stages of the complex project on renewable energy sources and hydropower according to the maximum of the justified function is proposed.

**Key words:** project, energy security, hydropower, renewable energy sources, efficiency.