

Б. І. Мокін¹
О. Б. Мокін¹
Д. О. Шалагай¹

ПЕРШІ ДВА ЕТАПИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ПЛАНУ ВІДБУДОВИ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ В НАПРЯМКУ ІНТЕГРАЦІЇ В НЕЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ

¹Вінницький національний технічний університет

Реалізовано перших два етапи системного аналізу плану відбудови та розвитку енергетики України в напрямку інтеграції в неї відновлювальних джерел, тобто, плану, розробленого групою фахівців при Кабміні України та оприлюдненого в липні 2022 року. Системний аналіз здійснюється, по-перше, з метою вироблення реалістичніших оцінок урахуванням збитків, нанесених бомбардуваннями об'єктів української енергетичної інфраструктури протягом року, відлік якого починається від дня вторгнення російських окупаційних військ на територію України в лютому 2022 року. По-друге, системний аналіз здійснюється для окреслення реалістичніших траєкторій подальшого розвитку української енергетики, обумовлених цими уточненими оцінками збитків. Згідно з ідеологією системного аналізу цей метод реалізується в п'ять етапів. Перший етап включає в себе окреслення об'єкта дослідження, постановку задач та визначення критеріїв оцінки отриманих результатів. На другому етапі виокремлюється об'єкт дослідження з навколишнього середовища і визначаються точки, лінії чи поверхонь контакту цього об'єкта з навколишнім середовищем та уточнюються обмеження, в полі яких об'єкт дослідження реалізує закладену в нього програму функціонування. Третій етап включає в себе синтез математичних моделей процесів, що відбуваються в об'єкті дослідження. Четвертий етап містить в собі вибір метода та результати дослідження і їхню оцінку, отримані з використанням синтезованих на третьому етапі математичних моделей та вибраних на першому етапі критеріїв. На п'ятому етапі оптимізується функціонування об'єкта дослідження у випадку, якщо дослідників не задовольняють результати, отримані на четвертому етапі системного аналізу. Розкриваючи суть усіх етапів системного аналізу зрозуміло, що в одній публікації вмістити увесь матеріал, отриманий на кожному з п'яти його етапів, неможливо, тому у першу статтю з системного аналізу плану відбудови та розвитку енергетики України в напрямку інтеграції в неї відновлювальних джерел включені лише матеріали, отримані в результаті реалізації перших двох етапів системного аналізу.

Ключові слова: енергетика України, відновлювальні джерела, збитки від бомбардувань, план відбудови і розвитку, системний аналіз.

Вступ

За дорученням Кабінету Міністрів України група фахівців з енергетичної безпеки напрацювала матеріали [1], з використанням яких запропоновано досить детальний проєкт «Плану відновлення України: Енергетика», оприлюднений у липні 2022 року [2], який містить 7 розділів з додатками, що викладені на 164 сторінках. Метою нашого дослідження є системний аналіз з використанням ідеології, викладеної в роботі [3], цього проєкту в напрямку інтеграції в енергетику її відновлювальних джерел та вироблення рекомендацій з його вдосконалення для врахування наслідків руйнування енергетичної інфраструктури України бомбардуваннями російських агресорів, а також для доповнення пропозиціями з географічного розміщення нових джерел відновлювальної енергетики та їхньої агрегації з акумуляторами електроенергії різних типів. Але, оскільки згідно з ідеологією системного аналізу цей метод реалізується в п'яти етапах, перший з яких включає в себе окреслення об'єкта дослідження, постановку задач та визначення критеріїв оцінки отриманих результа-

тів, на другому виокремлюється об'єкт дослідження з навколишнього середовища і визначаються точки ліній чи поверхонь контакту цього об'єкта з навколишнім середовищем та уточнюються обмеження, в полі яких об'єкт дослідження реалізує закладену в нього програму функціонування, третій включає в себе синтез математичних моделей процесів, що відбуваються в об'єкті дослідження, четвертий містить в собі вибір метода та результати дослідження і їхню оцінку, отримані з використанням синтезованих на третьому етапі математичних моделей та вибраних на першому етапі критеріїв в полі заданих на другому етапі обмежень, а на п'ятому етапі оптимізується функціонування об'єкта дослідження у випадку, якщо дослідників не задовольняють результати, отримані на четвертому етапі системного аналізу, то стає зрозумілим, що в одній публікації вмістити увесь матеріал, отриманий на кожному з п'яти його етапів неможливо. Тому у першу статтю з системного аналізу плану відбудови та розвитку енергетики України в напрямку інтеграції в неї відновлювальних джерел, нами включені лише матеріали, отримані в результаті реалізації перших двох етапів системного аналізу вказаного вище об'єкта дослідження.

Отже об'єктом нашого дослідження є проєкт «Плану відновлення України: Енергетика» [2], реперними точками якого в цілому є 2021, 2030, 2040 та 2050 роки, а для відновлювальних джерел енергетики (ВДЕ) — 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2029, 2030, 2031 та 2032 роки. Саме для цих точок на часовій осі в проєкті запропоновано оптимістичну та песимістичну траєкторії розвитку. Песимістична траєкторія розвитку української енергетики з урахуванням інтеграції ВДЕ в міру їхньої розбудови передбачає в проєкті подолання наслідків руйнації уже створених відновлювальних джерел від бомбардувань російськими агресорами станом на червень 2022 року. Але, як показала Ольга Буславець в своїй роботі [4] на діаграмі, яка показана в нашій статті на рис. 1, станом на початок лютого 2023 року реальні наслідки руйнації енергетичної інфраструктури України від бомбардувань російськими агресорами виявились суттєво більшими, а тому навіть песимістичну траєкторію проєкту плану відновлення енергетики України, запропонованого в роботі [2], необхідно суттєво корегувати.

РІК НЕЗЛАМНОСТІ

Енергосистема України пережила:

Українська енергетика протягом усього року піддавалась обстрілам зі сторони РФ.

14
масованих ракетних атак

17
масованих атак БПЛА

255
ударів по об'єктах

Внаслідок атак Україна тимчасово втратила:



Рис. 1. Діаграма пошкоджених джерел генерації енергії

І та ж Ольга Буславець у своїй роботі [5] показала, що станом на початок березня 2023 року цифри цих втрат ще більше зросли.

Але, як показав наш системний аналіз, навіть песимістичний варіант проєкту «Плану відновлення України: Енергетика» в напрямку інтеграції в енергетику її відновлювальних джерел необхідно корегувати не лише тому, що потрібно враховувати значніші наслідки руйнування енергетичної інфраструктури України, викликані бомбардуваннями російських агресорів, а ще й тому, що в проєкті цього плану ще не знайшли відображення пропозиції побудови замість частини зруйнованих блоків теплових електростанцій 20 атомних малих модульних реакторів (ММР), сформульовані Германом Галущенком та Мирославом Ілляшем в роботах [6], [7], на неналежному рівні враховані пропозиції Максима Тімченка про створення до 2030 року 30 ГВт потужностей ВДЕ, озвучені ним в Давосі на форумі та оприлюднені в роботі [8], і зовсім немає пропозицій з впровадження таких перспективних видів ВДЕ, якими є системи трубопровідних міні-гідроелектростанцій вздовж течій гірських річок, системи приколіїних міні-вітрових електростанцій від вітрових потоків залізничних потягів, теорія яких розроблена в роботах [9]—[14] та системи хвильових міні-

гідроелектростанцій вздовж причорноморського узбережжя.

Виявив наш системний аналіз і те, що немає у цьому проєкті плану пропозицій і з конкретизації географічного розміщення нових ВДЕ, і те, що суттєвого доповнення проєкту цього плану вимагає і в частині змісту розділів, присвячених агрегації ВДЕ з акумуляторами електроенергії різних типів, серед яких у проєкті плану навіть не згадується такий перспективний вид акумуляції електроенергії, яким є повітряні акумулювальні електростанції (ПАЕС), теорія яких розроблена в роботах [15]—[18], а коштів і часу на спорудження яких потрібно набагато менше ніж на спорудження рівновеликих їм за потужністю гідроакуюлюючих електростанцій (ГАЕС).

Конкретизація результатів системного аналізу проєкту «Плану відновлення України: Енергетика» в напрямку інтеграції в енергетику її відновлювальних джерел з числовими розрахунками і синтезом математичних моделей буде представлена нами в двох наукових статтях у «Віснику Вінницького політехнічного інституту» протягом першої половини 2023 року, з першою з яких ми пропонуємо ознайомитись, читаючи викладки, приведені нижче.

Результати дослідження

Отже, почнемо з визначення змісту першого етапу системного аналізу проєкту «Плану відновлення України: Енергетика» в напрямку інтеграції в енергетику її відновлювальних джерел, на якому, як ми уже зазначили у вступній частині цієї статті, окреслюється об'єкт дослідження і здійснюється постановка задач дослідження та визначаються критерії оцінки отриманих результатів.

Зміст проєкту цього плану розміщено в його розділах під заголовками:

1. Відновлення і розвиток енергетики України: мета, виклики, можливості;
2. Електроенергетичний сектор;
3. Газовий сектор;
4. Нафта і нафтопродукти;
5. Power-to-X;
6. Відновлення і розвиток: деталізований план заходів;
7. Загальнонаціональні проєкти;

Додатки.

А далі акцентуємо увагу на цитаті з роботи [2]: «Резюме: яку енергетичну галузь ми будемо? Передумови для успішного відновлення. Цей План відновлення — амбітний. Для того, щоб Україна досягла викладених у ньому цілей в енергетичному секторі, необхідні такі передумови:

Україна виграє війну протягом наступних 1—2 років і не понесе додаткових суттєвих втрат енергетичної інфраструктури;

Бізнес-клімат та макрофінансова стабільність протягом наступних 2—4 років дозволять Україні залучити значні інвестиції, які забезпечать інвесторам привабливий рівень заробітку; бюрократичні перепони та інші бар'єри для швидкої реалізації інвестиційних проєктів будуть усунуті якнайшвидше.

В Україну буде спрямований значний обсяг капіталу, як від міжнародних фінансових інституцій, так і від приватного сектору. Головна тенденція для відновлення України в енергетиці — швидка електрифікація економіки завдяки енергетичному переходу, а також значне підвищення енергоефективності», — кінець цитати.

Одразу ж звертаємо увагу на те, що викладені вище передумови, фактично задають узагальнену множину обмежень, в полі яких необхідно буде розв'язувати задачі, поставлені в цьому проєкті. А окреслюючи наш об'єкт дослідження, який визначається з проєкту «Плану відновлення України: Енергетика» в напрямку інтеграції в енергетику її відновлювальних джерел», бачимо, що матеріали, які стосуються нашого об'єкта дослідження, який в-подальшому позначатимемо аббревіатурою ППВУЕ-ВД, зосереджені в основному в 2-му розділі «Електроенергетичний сектор» з конкретизацією в його підрозділах:

2.1 Аналіз стану генерувальних потужностей Об'єднаної енергосистеми України;

2.2 Аналіз режимів роботи генерувальних потужностей ОЕС України;

2.4 Сценарії розвитку пропозиції;

2.5 Оцінювання відповідності (достатності) генерувальних потужностей ОЕС України;

2.6 Сценарії розвитку генерувальних потужностей — в напрямку «Відновлювальної енергетики», а також у підрозділі 5.1 — Виробництво водню з ВДЕ 5-го розділу «Power-to-X» та у 6-му розділі «Відновлення і розвиток: деталізований план заходів» для визначення:

Цілі 2: Енергобезпека — диверсифікація джерел постачання енергоресурсів, створення резер-

вів, кібербезпека;

Цілі 3: Декарбонізація, оптимізація енергоміксу і розвиток низьковуглецевої генерації;

Цілі 4: Модернізація і розвиток інфраструктури для транспортування, передачі, розподілу і зберігання енергії.

Отже, виходячи саме з цих матеріалів, автори досліджуватимуть окреслений ними об'єкт дослідження. І почнемо з постановки задач, які ми будемо розв'язувати в процесі системного аналізу ППВУЕ-ВД.

Першою задачею, яку ми поставимо перед собою, буде корекція траєкторій відновлення та розвитку української енергетики, закладених в ППВУЕ-ВД, з урахуванням втрат від російських бомбардувань, більших за ті втрати, що мали місце станом на червень 2022 року, від яких розробники ППВУЕ-ВД стартували, а також з урахуванням наших пропозицій доповнення структури енергетичної системи України тими класами ВДЕ та тими засобами акумуляції електричної енергії, які не враховані в ППВУЕ-ВД.

Другою задачею, яку ми поставимо перед собою, буде синтез математичних моделей траєкторій відновлення та розвитку української енергетики, скоригованих авторами відносно закладених в ППВУЕ-ВД, та використання синтезованих моделей для оцінювання точок цих скоригованих траєкторій в полі визначених або очікуваних обмежень.

Третьою задачею, яку ми поставимо перед собою, буде розроблення структури ППВУЕ-ВД, не лише доповненої перспективними ВДЕ та перспективними засобами акумуляції електричної енергії, але і оптимізованої в полі визначених критеріїв.

І як ці критерії ми пропонуємо взяти такі інтегральні показники: загальна кількість згенерованої активної потужності P_g , загальна кількість згенерованої реактивної потужності Q_g , вартість ϖ_p одного кіловату згенерованої активної потужності, вартість ϖ_Q одного кіловару згенерованої реактивної потужності, загальні втрати ΔP_{gc} активної потужності при її передаванні від джерел генерації до споживачів, якість W_g згенерованої електроенергетичної потужності, надійність H_{es} електроенергетичної системи, яка характеризується ймовірністю безвідмовного забезпечення електроенергією споживачів у разі виникнення аварійних режимів в процесі нормальної експлуатації електроенергетичної системи, та живучість J_{es} , яка характеризується ймовірністю мінімально допустимого забезпечення електроенергією споживачів електроенергетичною системою, що зазнала руйнувань в результаті природного стихійного лиха чи бомбардувань під час війни.

Цілком очевидно, що в загальному вигляді

$$P_g = P_g \left(\sum_{i=1}^N K_{gi}^P, t_i \right), \quad (1)$$

де K_{gi}^P, t_i — відповідно капітальні затрати на будівництво чи відновлення і уведення в експлуатацію i -го базового генератора електростанції, віднесені на генерацію активної потужності, та проміжок часу, потрібний для цього;

$$Q_g = Q_g \left(\sum_{i=1}^N K_{gi}^Q, t_i, \sum_{s=1}^S K_{ds}^Q, t_s \right), \quad (2)$$

де K_{gi}^Q, t_i — відповідно капітальні затрати на будівництво чи відновлення і уведення в експлуатацію i -го базового генератора електростанції, віднесені на генерацію реактивної потужності, та проміжок часу, що потрібний для цього, а K_{ds}^Q, t_s — відповідно капітальні затрати на будівництво чи відновлення і уведення в експлуатацію s -го джерела реактивної потужності, не пов'язаної з її генерацією базовими генераторами електростанцій, та проміжок часу, потрібний для цього;

$$\varpi_p = \varpi_p \left(\sum_{i=1}^N K_{gi}^P, t_i, \sum_{l=1}^N C_{gl}^P, t_l, \sum_{l=1}^N c_{gl}^P, t_l \right), \quad (3)$$

де C_{gl}^P, t_l, c_{gl}^P — відповідно затрати на експлуатацію l -го базового генератора електростанції, віднесені на генерацію активної потужності, проміжок часу, вибраний як базовий для підрахунку цих затрат, та вартість використаних протягом цього відрізка часу енергоносіїв, віднесена на генерацію активної потужності;

$$\varpi_Q = \varpi_Q \left(\sum_{i=1}^N K_{gi}^Q, t_i, \sum_{l=1}^N C_{gl}^Q, t_l, \sum_{l=1}^N c_{gl}^Q, t_l, \sum_{l=1}^N K_{ds}^Q, t_s, \sum_{l=1}^S C_{dl}^Q, t_l \right), \quad (4)$$

де C_{dl}^Q — затрати на експлуатацію l -го джерела реактивної потужності, не пов'язаної з її генерацією базовими генераторами електростанцій;

$$P_{gc} = \frac{1}{t_l} \int_{t=0}^{t_l} \sum_{m=1}^M I_{ml}^2(t) R_m dt, \quad (5)$$

де $I_{ml}(t)$ — струм, що протікає в m -му елементі електроенергетичної системи з активним опором R_m протягом базового проміжку часу t_l ;

$$W_g = W_g (\forall i \in [1, M] \rightarrow P_{gi} = P_{ci}; Q_{gi} = Q_{ci}), \quad (6)$$

де $P_{gi}(t), Q_{gi}(t)$ — активна та реактивна потужності, що генеруються в i -й ланці електроенергетичної системи, а $P_{ci}(t), Q_{ci}(t)$ — активна та реактивна потужності, що споживаються у цій же i -й ланці;

$$H_{es} = H_{es} (\forall P_{ci}(t), Q_{ci}(t)) \exists (P_{gi}(t), Q_{gi}(t) \cup P_{g(i+t)}(t), Q_{g(i+t)}(t)) \cap \exists (A_i \cup A_{i+1}), \quad (7)$$

де A_i — система протиаварійної автоматики в i -й ланці електроенергетичної системи, а оператори $\forall, \exists, \cup, \cap$ визначають логіку подачі системою протиаварійної автоматики електричної потужності від того ж чи альтернативного джерела до споживача через резервне коло у випадку аварії в його основному колі;

$$J_{es} = J_{es} (\forall P_{ci}(t), Q_{ci}(t)) \exists (P_{g(i-1)}(t), Q_{g(i-1)}(t) \cup P_{g(i+t)}(t), Q_{g(i+t)}(t)) \cap \exists B_i, \quad (8)$$

де B_i — аварійна бригада, яка в змозі підключити в i -й ланці електроенергетичної системи електричну потужність від альтернативного джерела до споживача через резервне коло у випадку зниження чи суттєвого пошкодження джерела потужностей $P_{gi}(t), Q_{gi}(t)$ в його основному колі.

Визначенням критеріїв оцінки режимів функціонування електроенергетичної системи у формі виразів (1)—(8) завершено перший етап системного аналізу ППВУЕ-ВД.

Як уже зазначалося у вступній частині, на другому етапі системного аналізу нашого об'єкта дослідження у вигляді ППВУЕ-ВД необхідно виокремити цей об'єкт із навколишнього середовища і визначити точки, лінії чи поверхні їхньої взаємодії.

Цілком очевидно, що точками взаємодії з навколишнім середовищем усіх класичних ВДЕ, оцінка вкладу яких у генерацію електроенергії в Україні здійснена в запропонованому у роботі [2] варіанті ППВУЕ-ВД, — а це гідравлічні електростанції (ГЕС), вітрові електростанції (ВЕС) та сонячні електростанції (СЕС) або, що те саме, фотоелектричні електростанції (ФЕС), — є точки їхнього розміщення на мапі України. Але для цих же ВДЕ при деталізації їхньої взаємодії з навколишнім середовищем мають місце і поверхні взаємодії, якими є поверхні лопатей гідротурбін для ГЕС, поверхні лопатей вітрових коліс для ВЕС та поверхні, вкриті сонячними панелями для СЕС.

Однак менш очевидним, оскільки на це раніше ніхто з дослідників в галузі електроенергетики не звертав увагу, є необхідність доповнення вищезначених поверхонь взаємодії лопатей гідротурбін і вітрових коліс з навколишнім середовищем під час розгляду систем трубопровідних міні-гідроелектростанцій вздовж течій гірських річок, систем приколійних міні-вітрових електростанцій від вітрових потоків залізничних потягів та систем хвильових міні-гідроелектростанцій вздовж причорноморського узбережжя, про які не згадується в ППВУЕ-ВД, але якими нами пропонується його доповнити, ще й лініями взаємодії, обумовленими тим, що усі ці міні-генератори електроенергії об'єднуються в довгі лінії протягнутих вздовж них кабелів.

І, як буде показано в одній з наших подальших статей зовсім нетривіальними в математичному плані виявляються результати системного аналізу ППВУЕ-ВД з ГАЕС та ПАЕС у своїй структурі, оскільки взаємодія з навколишнім середовищем в точках підключення ГАЕС та ПАЕС через наявність гідравлічних та повітряних акумуляторів характеризується в математичному плані атрактора-ми з точками біфуркації, в яких ці акумулятори за одної траєкторії руху трансформуються у точки внутрішньої структури ППВУЕ-ВД, а за іншої — вони додаються до навколишнього середовища.

Висновки

Реалізовано перших два етапи системного аналізу проєкту «Плану відновлення України: Енергетика» в напрямку інтеграції в енергетику її відновлювальних джерел, в результаті яких окреслено об'єкт дослідження, виявлена його неповнота, сформульовано задачі дослідження, вибрані та структуровані вісім критеріїв оцінки результатів системного аналізу окресленого об'єкта дослідження в полі уже заданих цим проєктом обмежень, визначені точки, лінії і поверхні взаємодії окресленого об'єкта дослідження з навколишнім середовищем та показано, що цей проєкт вимагає як суттєвого корегування навіть в реалізації його песимістичної траєкторії, так і суттєвого доповнення в частині перспективного розвитку енергетичної структури України за рахунок впровадження неврахованих цим проєктом видів генерації та акумуляції електричної енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Робочі групи / Національна рада з відновлення України від наслідків війни. Урядовий портал. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/nacionalna-rada-z-vidnovlennya-ukrayini-vid-naslidkiv-vijni/robochi-grupi>.
- [2] Національна рада з відновлення України. Проєкт Плану відновлення України, 2022. 164 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/restoration-and-development-of-infrastructure.pdf>
- [3] Б. І. Мокін, і О. Б. Мокін, *Методологія та організація наукових досліджень*, навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2015, 317 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://mokin.com.ua/pedagogical/posibn/6504.html#_WODckWe_4fU.
- [4] О. А. Буславець, «Остання публікація моїх традиційних підсумків тижня співпала з річницею початку повномасштабної війни і я згадала про основні події і випробування,» *Facebook*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.facebook.com/olhabuslavets/posts/pfbid0jCwzcCNALCCSHx93MMeRv9KLS7Tn8Fny7wJWwffZSzgoYJq7pCbVgNKz9ttZGwWPl>.
- [5] О. А. Буславець, «Підсумки першого тижня весни 2023 року,» *Facebook*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.facebook.com/olhabuslavets/posts/pfbid02MU7n6QhSiJtR68E81euoguxV6WicVFpNCvJHViZzuYEx5R8ZfwoU4qDmHVJ22GZkl>.
- [6] П. Б. Котін, «Заміна зруйнованих блоків теплової генерації малими модульними реакторами,» *Економічна правда*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/news/2023/03/17/698168/>.
- [7] М. Ляшин, «Перспективи будівництва малих модульних атомних реакторів,» *LB.ua*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://lb.ua/blog/myroslav_iliash/540167_krok_maybutnie_chi_varto_ukraini.html?fbclid=IwAR%200eRHttfUqVHrTObGmPld7sVOVhZXH8FTsh4n1Z_T4QJ65HaOVft8_bZo.
- [8] М. В. Тімченко, *Експорт чистої енергії в ЄС після війни*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.unian.ua/economics/energetics/ukrajina-mozhe-stati-golovnim-eksporterom-chistoji-energiji-v-yes-pislya-viyni-gendirektor-dtek-12182799.html?fbclid=IwAR13CMJBL0LwaJg2caMDersxaSuxwDCN_cyOVx7EQbOjKmqvjeMrNo93Ydk12182799.html?fbclid=IwAR2fcJyX7k14S7O3muPmXpTBPai0ToWOO72zVFAMoGFZ0G8BVxugM7-SP4c.
- [9] Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, і В. П. Базалицький, «Вітроелектротехнічні комплекси для відбору потужності вітрових потоків, створених електропотягами,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 111-113, 2011.
- [10] Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, і В. П. Базалицький, «Оцінка потужності, яка може бути отримана з вітрового потоку, створеного рухом залізничного потягу,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 81-84, 2012.
- [11] Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, В. П. Базалицький, і В. В. Горенюк, «Оцінка потужності, яка може бути отримана вітроенергетичною установкою з вітрового потоку, створеного рухом залізничного потягу,» *Наукові праці ВНТУ*, № 2, 2013. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/361>.
- [12] Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, В. П. Базалицький, і В. В. Горенюк, «Структура та характеристики лабораторного стенда для оцінки енергетичного потенціалу вітрових потоків,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3, с. 87-70, 2013.
- [13] B. I. Mokin, O. B. Mokin, and V. P. Bazalytskyi, "Measuring System for Estimation of Power of Wind Flow Generated by Train Movement and its Experimental Testing," *Energy and Power Engineering*, vol. 6, pp. 333-339, 2014.
- [14] Boris Mokin, Oleksander Mokin, Vadym Bazalytskyi, and Viktor Goreniuk, "As to selection values for of best design wind-driven wheel of rail-track-adjacent electric power plant," *Przegląd Elektrotechniczny*, № 04/2016, pp. 159-161, 2016.
- [15] Б. І. Мокін, «Екологічні та економічні аспекти створення повітряних акумулюючих електростанцій,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 5, с. 95-103, 2006.
- [16] Б. І. Мокін, і О. Б. Мокін, «Особливості побудови та функціонування повітряних акумулюючих електростанцій на Криворіжжі,» *Вісник Криворізького техн. ун-ту*, № 5, с. 77-80, 2007.
- [17] Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, і М. М. Чепурний, «Повітряна акумулююча електростанція з двома повітросховищами різного тиску,» *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, № 1, 2008. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/45>.
- [18] B. I. Mokin, O. B. Mokin, and M. M. Chepurnyi, "Accumulation and Generation of Electric Power on Air Accumulating Power Stations with Two-Section Air Reservoirs, Compressors and Gas-Expansion Generating Units," *IEEE Power & Energy Society, 2008 General Meeting, Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 20-24 July 2008, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, PESGM 2008-001005.

Рекомендована кафедрою системного аналізу та інформаційних технологій ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 22.03.2023

Мокін Борис Іванович — академік НАПН України, д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, e-mail: borys.mokin@gmail.com ;

Мокін Олександр Борисович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, e-mail: abmokin@gmail.com ;

Шалагай Дмитро Олександрович — аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, e-mail: d.shalagai@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

B. I. Mokin¹
O. B. Mokin¹
D. O. Shalagai¹

The First Two Stages of the Systemic Analysis of the Plan for the Reconstruction of Ukraine's Energy Sector Towards Integration of Renewable Sources

¹Vinnitsia National Technical University

The first two stages of the system analysis of the plan for the reconstruction and development of Ukraine's energy industry aimed at integration of the renewable sources, i.e., the plan developed by a group of specialists under the Cabinet of Ministers of Ukraine and published in July 2022, have been implemented. The systematic analysis is carried out, firstly, with the aim of producing more realistic estimates, considering the damage caused by the bombing of Ukrainian energy infrastructure facilities during the year, the countdown of which begins from the day of the invasion of the Russian occupation forces into the territory of Ukraine in February 2022. Secondly, a systematic analysis is carried out to outline more realistic trajectories of the further development of the Ukrainian energy industry, conditioned by these refined estimates of damages. According to the ideology of system analysis, this method is implemented in five stages. The first stage includes the outline of the research object, the setting of tasks and the definition of criteria for evaluating the obtained results. The second stage is dedicated to distinguishing the object of research from the surrounding environment and determining the points, lines or surfaces of contact of this object with the surrounding environment and clarifying the limitations in the field of which the object of research implements the program of functioning embedded in it. The third stage includes the synthesis of mathematical models of the processes taking place in the research object. The fourth stage includes the choice of the method and the results of the research and their evaluation, obtained using the mathematical models synthesized in the third stage and the criteria selected in the first stage. The fifth stage is dedicated to optimizing the functioning of the research object in case the researchers are not satisfied with the results obtained at the fourth stage of the system analysis. From the disclosure of the essence of all stages of the system analysis, it is clear that it is not possible to include all the material obtained at each of its five stages in one publication, therefore, in the first article on the system analysis of the plan for the reconstruction and development of the energy industry of Ukraine in the direction of the renewable sources integration, only the materials obtained as a result of the implementation of the first two stages of the system analysis are included.

Keywords: energy sector of Ukraine, renewable sources, damage from bombings, reconstruction and development plan, system analysis.

Mokin Borys I. — Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of System Analysis and Information Technologies, e-mail: borys.mokin@gmail.com ;

Mokin Oleksandr B. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of System Analysis and Information Technologies, e-mail: abmokin@gmail.com ;

Shalagai Dmytro O. — Post-Graduate Student of the Chair of System Analysis and Information Technologies, e-mail: d.shalagai@gmail.com