

Кузнєцова Г.О.

доктор економічних наук, доцент,
директор ГК «ГАЛАЕКСПЕРТ»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8048-6631>

Kuznyetsova Galyna

Doctor of Economic Sciences, Associate Professor,
Director at the GK «GALAEKSPERT»

ОСНОВНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ПРОГНОЗНОЇ МОДЕЛІ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕГІОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

BASIC PRINCIPLES OF FORMATION OF A TECHNICAL AND ECONOMIC FORECAST MODEL OF ENERGY SUPPLY IN THE REGION USING RENEWABLE ENERGY SOURCES

У статті здійснено аналіз основних засад формування техніко-економічної прогнозної моделі енергозабезпечення регіону з використанням відновлюваних джерел енергії. Наголошено, що актуальність створення автономних енергоджерел на базі ВДЕ обумовлена необхідністю оптимізації витрат при енергозабезпеченні об'єктів, розташованих поза систем центрального енергозабезпечення, вимогами законодавства в частині енергозбереження та підвищення ефективності використання природних ресурсів та можливими податковими обмеженнями на викиди CO₂, а також вимогами імпортозаміщення виробів зарубіжних виробників сучасними енергоустановками українського виробництва. Зазначено, що беручи до уваги той факт, що виробництво електроенергії даним типом установок не може обходитися без додаткових резервних джерел, для енергосистем на базі ВДЕ підходить поняття – енергокомплекс, що включає в себе розташовані в безпосередній близькості одна від одної енергоустановки, призначених для вироблення одного або кількох видів енергії, оснащених при цьому системами автоматизованої роботи, що дозволяє вести облік і контроль за раціональним використанням енергоресурсів. Констатовано, що енергокомплекси на базі відновлюваних енергетичних ресурсів можуть виконувати цілий ряд найважливіших завдань при організації виробничого процесу. Для економічної оцінки доцільності використання ВДЕ з визначенням потенціалу впровадження подібних технологій на промислових об'єктах було розроблено прогнозу модель економічної ефективності, що враховує можливі технологічні та інституційні зміни. При створенні прогнозної моделі економічної ефективності, що враховує можливі технологічні та інституційні зміни насамперед було визначено і описано фактори, критерії та їх параметри з розподілом значущості (ваги) кожного зі значень, взаємозв'язку і залежності. Визначено, що перший етап пропонованої моделі стосується з'ясування можливості застосування технологій енергозабезпечення на основі ВДЕ в певних географічних умовах; на другому етапі (регіональному), після вибору перспективного району проводиться мезомасштабне чисельне моделювання вітрового потоку на довільній висоті над рівнем землі; на третьому етапі здійснюється переоцінка економічної ефективності проєкту з урахуванням змін прогнозних факторів і порівняльний аналіз результатів за підсумками якого відбувається вибір підсумкового варіанту і прийняття рішення про доцільність використання систем енергозабезпечення на базі ВДЕ. Констатовано, що модель для вибору оптимальної системи енергозабезпечення поточних і перспективних проєктів з використанням ВДЕ, повинна враховувати можливі технологічні та інституційні зміни.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, моделювання, енергозабезпечення, регіональна економіка, оцінка, планування, прогнозування, енергоефективність, моніторинг, проєкти ВДЕ.

В статье осуществлен анализ основных принципов формирования технико-экономической прогнозной модели энергообеспечения региона с использованием возобновляемых источников энергии. Отмечено, что актуальность создания автономных энергоисточников на базе ВИЭ обусловлена необходимостью оптимизации затрат при энергообеспечении объектов, расположенных вне систем центрального энергообеспечения, требованиями законодательства в части энергосбережения и повышения эффективности использования природных ресурсов и возможными налоговыми ограничениями на выбросы CO₂, а также требованиями импортозамещения изделий зарубежных производителей современными энергоустановками украинского производства. Отмечено, что принимая во внимание тот факт, что производство электроэнергии данным типом установок не может обходиться без дополнительных резервных источников, для энергосистем на базе ВИЭ подходит понятие – энергокомплекс, включающий в себя расположенные в непосредственной близости друг от друга энергоустановки, предназначенных для выработки одного или нескольких видов энергии, оснащенных при этом системами автоматизированной работы, позволяет вести учет и контроль за рациональным использованием энергоресурсов. Констатировано, что энергокомплексы на базе возобновляемых энергетических ресурсов могут выполнять целый ряд важнейших задач при организации производственного процесса. Для экономической оценки целесообразности использования ВИЭ с определением потенциала внедрения подобных технологий на промышленных объектах был разработан прогнозную модель экономической эффективности, учитывающий возможные технологические и институциональные изменения. При создании прогнозной модели экономической эффективности, учитывающий возможные технологические и институциональные изменения прежде всего было определено и описано факторы, критерии и их параметры с распределением значимости (веса) каждого из значений, взаимосвязи и зависимости. Определено, что первый этап предлагаемой модели касается выяснения возможности применения технологий энергообеспечения на основе ВИЭ в определенных географических условиях; на втором этапе (региональном), после выбора перспективного района проводится мезомасштабных численное моделирование ветрового потока на произвольной высоте над уровнем земли; на третьем этапе осуществляется переоценка экономической эффективности проекта с учетом изменений прогнозных факторов и сравнительный анализ результатов по итогам которого происходит выбор итогового варианта и принятия решения о целесообразности использования систем энергообеспечения на базе ВИЭ. Констатировано, что модель для выбора оптимальной системы энергообеспечения текущих и перспективных проектов с использованием ВИЭ, должна учитывать возможные технологические и институциональные изменения.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, моделирование, энергообеспечения, региональная экономика, оценка, планирование, прогнозирование, энергоэффективность, мониторинг, проекты ВИЭ.

The article analyzes the basic principles of forming a technical and economic forecast model of energy supply in the region using renewable energy sources. It is noted that the urgency of creating autonomous energy sources based on renewable energy sources is due to the need to optimize the costs of energy supply of facilities located outside the central energy supply systems, the requirements of legislation in terms of energy saving and improving the efficiency of using natural resources and possible tax restrictions on CO₂ emissions, as well as the requirements for import substitution of products of foreign manufacturers with modern power plants of Ukrainian production. It is indicated that taking into account the fact that the production of electricity by this type of installation cannot do without additional backup sources, for power systems based on renewable energy, the concept is suitable – an energy complex that includes power plants located in close proximity to each other, designed to generate one or more types of energy, equipped with automated operation systems, which allows you to keep records and control over the rational use of energy resources. It is stated that energy complexes based on renewable energy resources can perform a number of important tasks in the organization of the production process. For the economic assessment of the feasibility of using renewable energy sources and determining the potential for implementing such technologies at industrial facilities, a forecast model of economic efficiency was developed, taking into account possible technological and institutional changes. When creating a forecast model of economic efficiency that takes into account possible technological and institutional changes, first, factors, criteria and their parameters were identified and described with the distribution of the significance (weight) of each of the values, relationship and dependence. It is determined that the first stage of the proposed model concerns finding out the possibility of applying energy supply technologies based on renewable energy sources in certain geographical conditions; at the second stage (regional), after selecting a promising area, mesoscale numerical modeling of wind flow at an arbitrary height above ground level is carried out; at the third stage, the economic efficiency of the project is reassessed, taking into account changes in forecast factors, and the results are compared, as a result of which the final option is selected and a decision is made on the feasibility of using renewable energy supply systems. It is stated that the model for choosing the optimal energy supply system for current and prospective projects using renewable energy sources should take into account possible technological and institutional changes.

Keywords: renewable energy sources, modeling, energy supply, regional economy, assessment, planning, forecasting, energy efficiency, monitoring, renewable energy projects.

Постановка проблеми: Відновлювані енергетичні ресурси, або відновлювані джерела енергії (далі – ВДЕ), в Україні є вкрай недооціненими. Україна володіє величезними запасами ВДЕ, причому, завдяки своєму географічному положенню, різноманітності кліматичних умов і особливостей місцевості, їх види значно варіюються. Багато технологій використання ВДЕ досягли рівня конкурентоспроможності, і вже зараз можуть стати джерелом інноваційного розвитку енергетики країни.

Україна підписала Паризьку угоду, ратифіковану відповідним Законом № 1469-VIII від 14.07.2016, яка передбачає, що конкретні заходи по боротьбі зі зміною клімату повинні бути націлені на скорочення викидів парникових газів, при цьому розробка і здійснення даних заходів покладається на національні уряди.

Все більшого значення набувають технологічні інновації, які підвищують ефективність виробництва електроенергії на основі відновлюваних енергоресурсів. При цьому варто відзначити, що генерація електроенергії за рахунок ВДЕ не тягне за собою емісію шкідливих речовин і парникових газів в атмосферу, на відміну від використання викопного палива традиційних джерел енергії. Дослідження доводять, що перехід до використання відновлюваних енергоресурсів сприяє значному зниженню антропогенного впливу на клімат. Відновлювані джерела енергії потенційно можуть істотно підвищити енергетичну безпеку, особливо на регіональному рівні і знизити викиди CO₂ в атмосферу.

Забезпечення енергетичної безпеки та незалежності в системі енергозабезпечення регіонів країни та відповідних регіональних підприємств, швидке зростання технологічного розвитку у сфері відновлюваної енергетики і постійне зниження собівартості її виробництва та експлуатації, зростання соціальної відповідальності та екологічної безпеки, а також виконання зобов'язань перед світовою спільнотою щодо скорочення викидів CO₂ визначає актуальність обраної теми наукового дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливі аспекти розвитку відновлюваної енергетики стали предметом дослідження низки зарубіжних науковців. Зокрема, слід відзначити Н. Ваґнера, Д. Гілена, М. Делуччі, М. Джейкобсона, Д. Ерґіна, І. Коссе, Є. Круковську, А. Макрона, У. Мосленера, Дж. Радеке, Д. Сайґіна, Р. Титко, Е. Ушера, Г. Фелль та ін.

Вагомий внесок у розробку теоретико-методичних і науково-прикладних засад розвитку відновлюваної енергетики в Україні зробили вітчизняні дослідники І. Андрійчук, С. Боблях, В. Білодід, П. Васько, Г. Гелетуґа, М. Гнідий, Г. Денисенко, О. Дроздова, С. Дубовський,

Т. Железна, В. Калініченко, В. Ключ, А. Конеченков, С. Кудря, М. Кулик, П. Кучерук, Ю. Морозов, Н. Мхітарян, О. Новосельцев, Е. Олійник, Г. Півняк, В. Резцов, Ф. Шкрабець та ін.

Слід зазначити, що в умовах стрімкого розвитку економіки, а також технологій і механізмів впровадження відновлюваної енергетики, певні наукові дослідження науковців частково втратили свою актуальність. Таким чином, сьогодні постає нагальна необхідність у дослідженні та оновленому розумінні основних засад формування енергозабезпечення регіонів з використанням відновлюваних джерел енергії.

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз основних засад формування техніко-економічної прогнозованої моделі енергозабезпечення регіону з використанням відновлюваних джерел енергії.

Виклад основного матеріалу. Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) відіграватимуть головну роль у переході світової енергетики на більш безпечний, надійний і стійкий шлях розвитку. У всьому світі ведуться дослідження, спрямовані на максимально ефективне використання в енергосистемі нетрадиційних відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні електростанції, вітрогенератори, малі гідроелектростанції тощо. Потенційні можливості застосування цих джерел практично не обмежені [8].

Актуальність створення автономних енергоджерел на базі ВДЕ обумовлена необхідністю оптимізації витрат при енергозабезпеченні об'єктів, розташованих поза систем центрального енергозабезпечення, вимогами законодавства в частині енергозбереження та підвищення ефективності використання природних ресурсів та можливими податковими обмеженнями на викиди CO₂, а також вимогами імпортозаміщення виробів зарубіжних виробників сучасними енергоустановками українського виробництва.

Беручи до уваги той факт, що виробництво електроенергії даним типом установок не може обходитися без додаткових резервних джерел [7], для енергосистем на базі ВДЕ підходить поняття – енергокомплекс, що включає в себе розташовані в безпосередній близькості одна від одної енергоустановки, призначених для вироблення одного або кількох видів енергії, оснащених при цьому системами автоматизованої роботи, що дозволяє вести облік і контроль за раціональним використанням енергоресурсів.

Енергокомплекси на базі відновлюваних енергетичних ресурсів можуть виконувати цілий ряд найважливіших завдань при організації виробничого процесу, таких як:

– вироблення і розподіл енергії, що виробляється;

- підвищення живучості системи енергозабезпечення за рахунок гнучкого управління режимом роботи енергоустановок у складі енергокомплексу;

- зниження питомої витрати традиційних енергоресурсів;

- зниження питомих експлуатаційних витрат;
- зниження негативного впливу на екологію, скорочення викидів парникових газів;

- оптимізація (а часто і зниження) та раціональний розподіл капітальних витрат за рахунок можливості першочергового будівництва, введення в роботу і подальшого поетапного розвитку [7].

Для економічної оцінки доцільності використання ВДЕ з визначенням потенціалу впровадження подібних технологій на промислових об'єктах було розроблено прогнозу модель економічної ефективності, що враховує можливі технологічні та інституційні зміни.

При створенні прогнозної моделі економічної ефективності, що враховує можливі технологічні та інституційні зміни насамперед було визначено і описано фактори, критерії та їх параметри з розподілом значущості (ваги) кожного зі значень, взаємозв'язку і залежності.

Перший етап пропонованої моделі стосується з'ясування можливості застосування технологій енергозабезпечення на основі ВДЕ в певних географічних умовах.

Валовий потенціал розраховується на основі всіх природних ресурсів відновлюваної енергетики, в принципі доступних на території застосування таких систем генерації: середні швидкості вітру на території всієї країни, рівень сонячної інсоляції тощо [3].

У пропонованій моделі розглядається так званий географічний фактор (Г.1.), описуваний двома критеріями: кліматичний (К.1.1) і територіальний (К.1.2). Кожен з критеріїв описується рядом параметрів (П.1.1.1–П.1.2.3).

Опис географічного фактору представлено на рис. 1.

Кліматичний (К.1.) критерій прийняття рішення включає в себе:

- ПК.1. – при оцінці доцільності використання та ефективності застосування сонячних електростанцій необхідно враховувати такі параметри як: кількість сонячної радіації, що надходить на поверхню (Вт/м^2), середньодобова тривалість світлової активності (год).

- ПК.2. – при оцінці доцільності використання та ефективності застосування вітрогенераторів необхідно враховувати наступні критерії: показники вітрової активності, а саме:

1. Для ефективної роботи вітрогенераторів необхідний стабільний потік вітру зі швидкістю від 7 м/с. При таких характеристиках вітрової

активності вітроустановки можуть використовуватися в якості основного джерела енергії.

2. При середньорічній швидкості вітру рівній від 4 до 7 м/с, ефективна робота вітроустановок може забезпечуватися тільки при наявності резервного або допоміжного джерела енергії.

3. У тому випадку, якщо середньорічна швидкість вітру менша ніж 4 м/с, застосування вітроустановок є недоцільним [9].

Найбільш якісна оцінка даного параметра може бути досягнута шляхом застосування методики трирівневої оцінки вітроенергетичних ресурсів при недостатній кліматичній інформації [9].

На першому етапі, згідно даної моделі, здійснюється попередня оцінка відновлюваних енергетичних ресурсів і вибір перспективної області, при цьому оцінка відбувається на підставі аналізу карт вітрів України, кадастрових та інтегральних оцінок і кліматичних довідників.

На наступному рівні оцінки вітроенергетичних ресурсів – регіональному етапі, необхідно провести мезомасштабне моделювання вітрового потоку. При моделюванні використовуються супутникові дані швидкості та напрямку вітру; мезомасштабна цифрова модель рельєфу (роздільна здатність до 10 км), а також цифрова модель шорсткості (роздільна здатність 0,5–10 км). За підсумками даних операцій достовірність даних досягає 85–90%.

На другому етапі (регіональному), після вибору перспективного району проводиться мезомасштабне чисельне моделювання вітрового потоку на довільній висоті над рівнем землі. Для моделювання необхідно використовувати супутникові дані про швидкість і напрям вітру; мезомасштабну цифрову модель рельєфу з роздільною здатністю до 10 км, а також цифрову модель шорсткості з роздільною здатністю 0,5–10 км. На даному етапі достовірність показника досягає рівня 85–90%.

На третьому рівні, пропонується проведення мікромасштабного моделювання вітрового потоку. Для підвищення точності мікромасштабного моделювання та оцінки ресурсів в конкретному місці розміщення енергокомплексу використовуються дані реаналізу зі спеціалізованих зарубіжних баз даних MERRA, CFSR тощо, супутникових спостережень NCAR/NCEP і баз цифрових моделей рельєфу і шорсткості поверхні землі Global Mapper, NASA SRTM, European Environment Agency тощо. Мікромасштабне моделювання проводиться в сучасному програмному комплексі WindPRO. При цьому рівень достовірності показників підвищується до 90–95% [5; 9; 10].

- ПК.3. – інші різні погодні та метеорологічні умови. Температура повітря ($^{\circ}\text{C}$), кількість опадів (мм/год), кількість і глибина снігового покри-

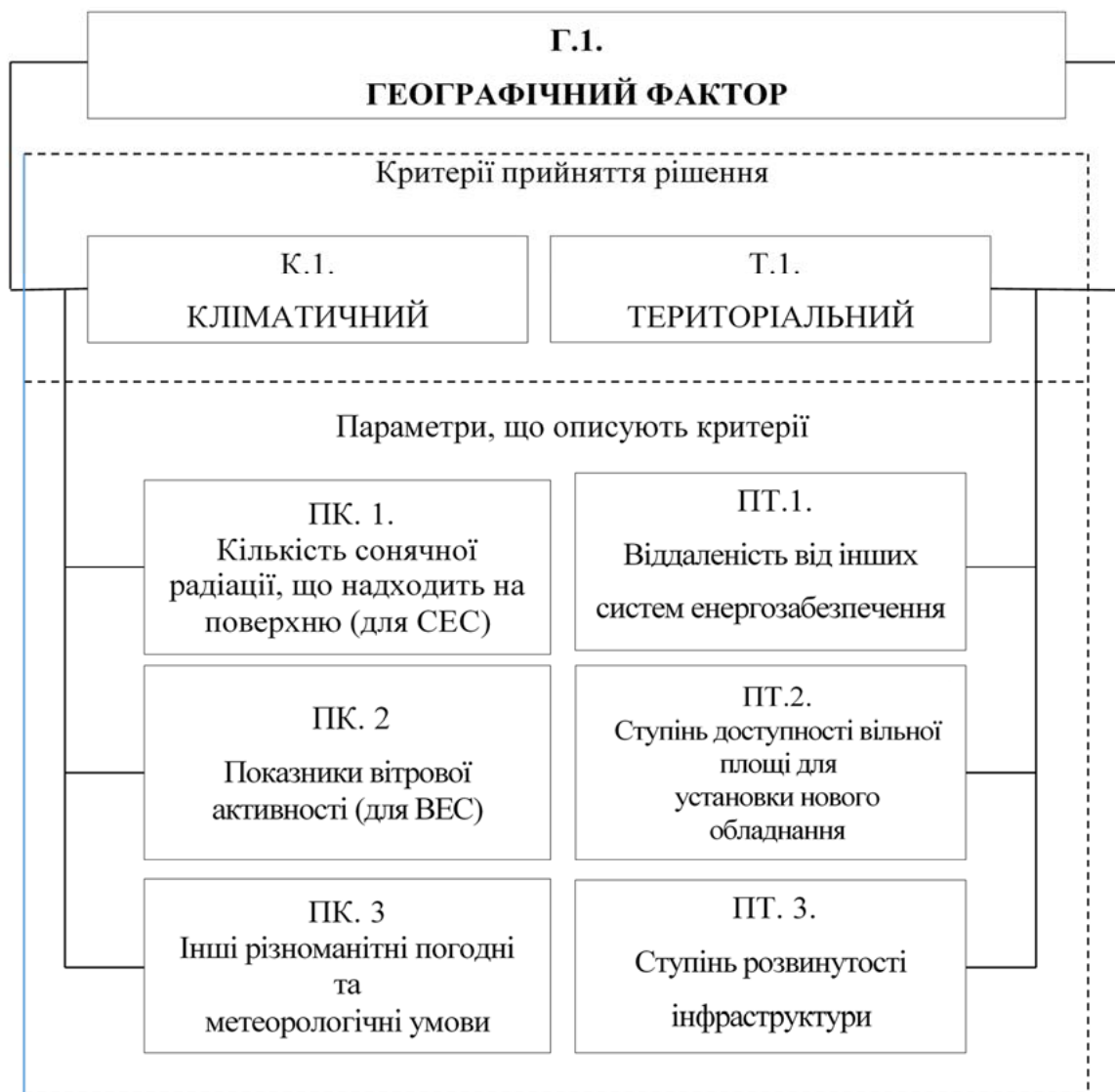


Рис. 1. Опис географічного фактору

Джерело: складено автором

ву, частка хмарного покриву, щільність повітря, атмосферний тиск тощо. Ці параметри необхідні для визначення умов для вибору типу енергоустановок, так як за своїми технічними характеристиками вони мають відмінності з точки зору обмежень роботи (наприклад, критична температура повітря при якій обладнання буде коректно працювати тощо).

Територіальний (Т.1.) критерій прийняття рішення включає в себе:

– ПТ.1. – віддаленість від інших систем енергозабезпечення. Один з найважливіших параметрів при прийнятті рішення про доцільність застосування енергоустановок на основі ВДЕ. Найбільш перспективними, з економічної точки зору, районами для установки систем енергозабезпечення на базі ВДЕ є децентралізовані райони, які не мають єдиної енергетичної системи. Тому в даному параметрі необхідно

враховувати відстані від інших видів енергогенераторів. При прийнятті рішення даний показник повинен перевищувати 150–200 км від інших об'єктів генерації [3].

– ПТ.2. – ступінь доступної площі для установки нових енергоустановок. Наприклад, крім показників вітрової активності на ефективність роботи вітрогенераторів істотний вплив чинить наявність природних або штучних перешкод в місцях установки. Тому вітроустановки слід встановлювати в місцях, максимально відкритих для вітру [9].

– ПТ. 3. – ступінь розвиненості інфраструктури. Даний параметр необхідний для визначення можливості транспортування і установки нового обладнання. В тому випадку якщо в регіоні є розвинена в достатній мірі дорожня система, то проблем з доставкою обладнання не буде. Якщо ж об'єкт будівництва знаходиться у важ-

кодоступному районі, то це вкрай ускладнює доставку такого обладнання на об'єкт, і в значній мірі збільшує витрати на транспортування.

В рамках пропонованої моделі оцінка параметрів вихідної потужності відбувається завдяки ресурсу Renewables.ninja – даний ресурс дозволяє виконати моделювання рівня вихідної потужності від вітряних і сонячних електростанцій, розташованих в будь-якій точці світу [6].

Принцип роботи даного продукту полягає в наступному: бере погодні дані з глобальної моделі реаналізу і супутникових спостережень. Двома основними джерелами даних є системи: NASA MERRA reanalysis [5] та CM-SAF's SARAH dataset [1].

Дані сонячного випромінювання перетворюються у вихідну потужність, використовуючи GSEE model (Global Solar Energy Estimator) [4]. Швидкість вітру перетворюються у вихідній потужності за допомогою моделі VWF model (Virtual Wind Farm) [10].

Другий етап відображає доцільність застосування технологій енергозабезпечення на основі ВДЕ.

Головним чином на даному етапі оцінюється технічний потенціал, тобто відбувається оцінка технічних показників з урахуванням рівня розвитку технологій трансформації валового потенціалу ВДЕ в енергію і можливостей її передачі в місця споживання. Необхідно розуміти, що на ефективність роботи, впливають крім досягнутого рівня технологічного розвитку ще й конкретні умови розміщення обладнання та об'єкти інфраструктури.

У пропонованій моделі на даному етапі розглядається технологічний фактор (О.1.) та економічний (Е. 1.).

Технологічний фактор описується критерієм «необхідні умови по проєкту» (У.1.), що включає в себе 4 параметри (ПУ.1. – ПУ.4.), але при цьому існують ще два критерії впливу на прийняття рішення (прогнозні зміни) – М.1.– Х.1., описані рядом параметрів (рис. 2.).

У. 1. Необхідні умови по проєкту є критерієм, що включає в себе наступні параметри:

ПУ.1. – необхідна потужність енергоустановок. Надзвичайно важливий параметр, який згодом впливає як на велику кількість економічних показників, так і технологічну безпеку виробництва електроенергії на об'єкті застосування.

ПУ.2. – добовий розподіл навантаження. Показник, що характеризує необхідне вироблення електроенергії об'єктом генерації для забезпечення надійного і безперебійного енергозабезпечення на необхідний період роботи.

Так, наприклад, для вибору необхідного рівня продуктивності сонячного модуля (кількості

панелей) необхідно враховувати наступні показники:

– середньодобова тривалість активного світлового дня – 8-10 год;

– за активний світловий період сонячний модуль повинен забезпечити вироблення обсягу електроенергії, рівного добовому енергоспоживанню.

Визначення необхідного числа сонячних модулів розраховується за формулою:

$$N_{cm} = \frac{P_{cd} \cdot K_{доб}}{P_{ном} \cdot T_{сер} \cdot K_{ккд}}, \quad (1)$$

де N_{cm} – необхідна кількість сонячних модулів, (шт.);

P_{cd} – середньодобове енергоспоживання, (кВт-год);

$K_{доб}$ – коефіцієнт, що враховує середньодобову тривалість світлової активності, рівний $24 / T_{cp}$;

$T_{сер}$ – середньодобова тривалість світлової активності, (год);

$P_{ном}$ – номінальна потужність одного сонячного модуля, (кВт);

$K_{ккд}$ – коефіцієнт, що враховує втрати в перетворювачах (середнє значення приймається 0,9).

ПУ.3. – система зберігання енергії. Капітальні витрати на придбання генеруючого обладнання є досить значними, а при створенні системи зберігання енергії, ці витрати значно збільшуються, тому технологічний розвиток систем зберігання і зниження собівартості виробництва таких систем, є одним з визначальних параметрів для прийняття рішення.

ПУ.4. – ККД і термін експлуатації. Необхідно враховувати збільшення показника ККД обладнання за рахунок більш ефективного використання потоку енергії, що надходить. Зі збільшенням даного показника, значно змінюються як капітальні витрати так і експлуатаційні, пов'язані в першу чергу із зниженням кількості необхідного обладнання для забезпечення певного вироблення електроенергії.

Критерії впливу на прийняття рішення (прогнозні значення) М. 1. та Х. 1. Два критерії які переважно впливатимуть на прийняття рішення – це технологічні можливості генеруючого обладнання та системи зберігання енергії.

ПМ.1. – ПМ.3. – ці параметри включають в себе технологічні зміни генеруючого обладнання. В якості основних технічних характеристик розглядаються: вихідний і ймовірний рівень ККД; ступінь зниження ККД в процесі експлуатації; критичні умови для роботи обладнання. Всі ці параметри безпосередньо впливають на ефективність роботи енергоустановок на основі ВДЕ. При зміні всіх цих показників значно змі-

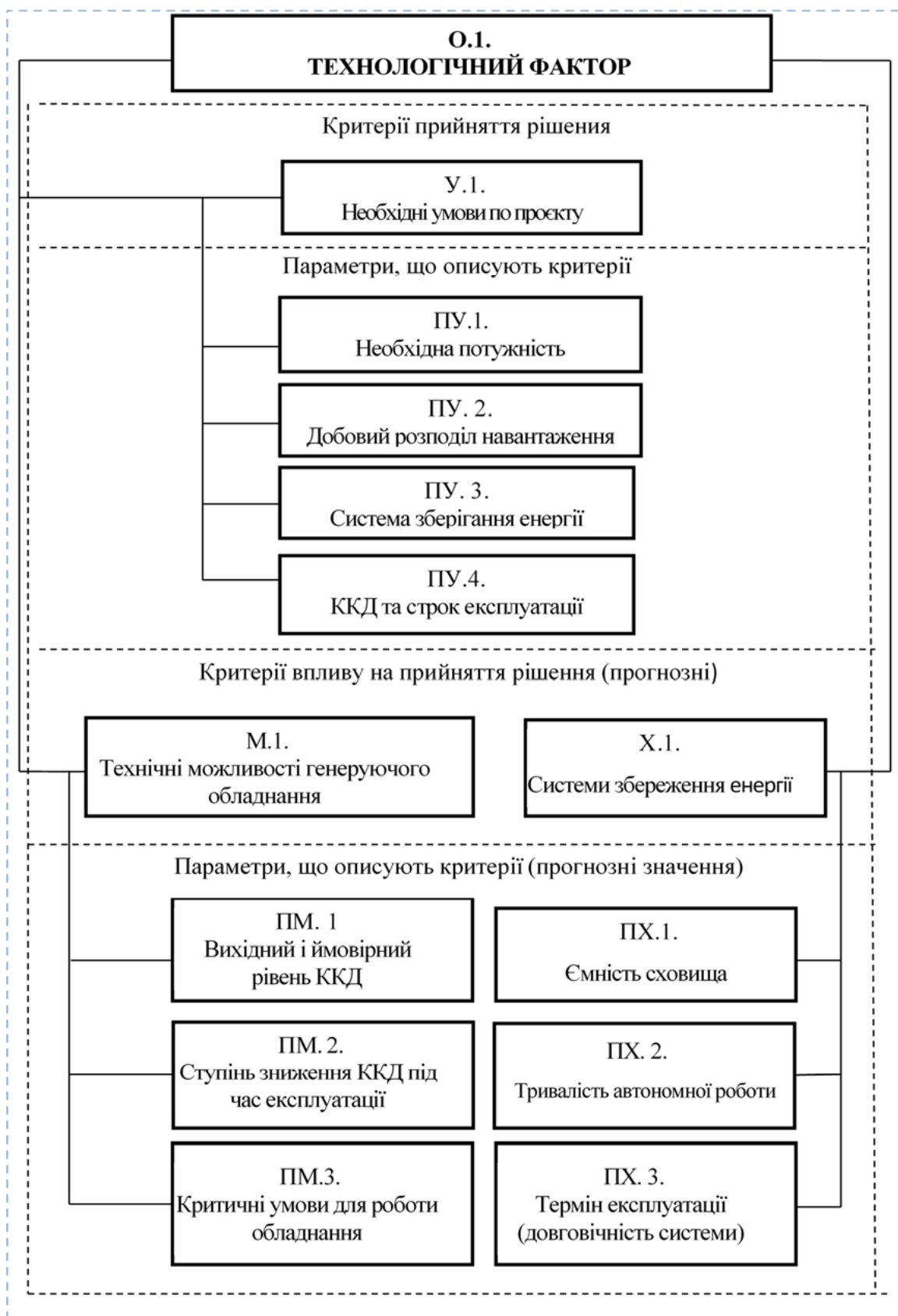


Рис. 2. Опис технологічного фактору

Джерело: складено автором

нюються і економічні показники при інвестуванні в обладнання.

ПХ.1. – ПХ. 3. – ці параметри включають в себе технологічні зміни систем акумулювання електроенергії. Системи зберігання енергії чинять найсильніший вплив на ефективність і безпеку роботи енергоустановок на основі ВДЕ. В якості їх основних технічних характеристик, при зміні яких відбуваються значні зміни в показниках ефективності роботи енергоустановок, є: ємність сховища; тривалість автономної роботи; термін експлуатації (довговічність системи).

Економічний потенціал відновлюваних енергоресурсів визначається виходячи від оцінки дослідженого технічного потенціалу, але при цьому враховується економічна доцільність його використання в конкретному місці, в рамках певної технології з урахуванням її досягнутого і можливого технологічного рівня, а також всіх сукупних витрат. Безумовно, що в міру формування технологій ВДЕ і підвищення їх ефективності, технічний і економічний потенціал відновлюваних енергоресурсів повинен змінюватися. Це стає особливо актуально при сьогоdnішній ситуації, коли відбувається стрімкий розвиток практично всіх видів технологій відновлюваної енергетики [2].

При розгляді економічного чинника, критеріями прийняття рішення є CAPEX і OPEX (С.1 та Р.2), тобто проводиться розрахунок показників за капітальними і експлуатаційними витратами, а критерій Ф.1. є критерієм за яким буде проводитися порівняльний аналіз між показниками комерційної ефективності проєктів енергозабезпечення на основі ВДЕ та традиційних джерел.

С.1. – показник основних капітальних витрат на придбання нового обладнання. До параметрів, що описують даний критерій відносяться вартість обладнання для сонячних електростанцій (ПС.1.), вартість обладнання для вітроенергоустановок (ПС.2.) і вартість обладнання для системи акумулювання електроенергії (ПС.3.). Дані показники при розрахунках враховують повну величину капітальних витрат, яка включає:

1. Загальну вартість проєктно-монтажних робіт.
2. Загальну вартість обладнання.
3. Загальну вартість будівельно-монтажних робіт.

Р. 1. – показник, що характеризує повну величину експлуатаційних витрат в процесі експлуатації енергоустановок. Показниками, що описують даний показник (ПР.1. – ПР.3.) є: експлуатаційні витрати для сонячних електростанцій (СЕС), експлуатаційні витрати для вітрових електростанцій (ВЕС), і експлуатаційні витрати

для систем акумулювання електроенергії. Опис економічного фактору представлено на рис. 3.

Основним критерієм прийняття рішення про доцільність застосування обладнання з генерації електроенергії на основі ВДЕ є зниження вартості виготовлення обладнання і, як наслідок, інвестиційних витрат на одиницю встановленої потужності.

Критерієм порівняльного аналізу доцільності застосування енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії, є Ф.1. – показники економічної ефективності.

У пропонованій моделі оцінка економічної ефективності проєкту виконується за системою наступних показників:

1. Чистий дисконтований дохід (ЧДД).
2. Дисконтований термін окупності (РВР).
3. Внутрішня норма прибутковості (IRR).
4. Індекс прибутковості (PI).
5. Експлуатаційна вартість 1 кВт-год електроенергії.
6. Капітальні та питомі витрати.

Для прийняття рішення про інвестування коштів в проєкт необхідно розглядати значення всіх перерахованих параметрів.

Для розрахунку ЧДД за базовим проєктом впровадження обладнання на основі ВДЕ використовується наступна формула:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \frac{(E_{est} - B_e + \Pi_m) - \Pi_{np} + A - K + L}{(1+r)^t}, \quad (2)$$

де E_{est} – економія витрат на експлуатацію старого обладнання, B_e – експлуатаційні витрати нового обладнання, Π_m – податкова економія з податку на майно ($t = 1-3$), Π_{np} – збільшення податку на прибуток, A – амортизаційні відрахування, K – капітальні витрати, L – ліквідаційна вартість обладнання, що продається, r – ставка дисконтування, t – рік реалізації проєкту.

Варто відзначити, що до економічних інструментів державного регулювання, можна віднести податкові пільги, що надаються підприємствам, які купують і використовують обладнання і технології, що характеризуються високою енергетичною ефективністю [8].

Наступним етапом моделі є підстановка так званих блоків умов 1 і 2, в яких враховуються прогностичні зміни в інституційному середовищі, тобто можливі варіанти державних обмежень пов'язаних з викидами CO_2 , а також техніко-економічних показників обладнання на базі ВДЕ, що передбачає зниження вартості виготовлення обладнання і, як наслідок, інвестиційних витрат на одиницю встановленої потужності.

Блок умов 1 характеризує зміни інституційного середовища. У моделі в якості державного регулювання викидів CO_2 пропонується для

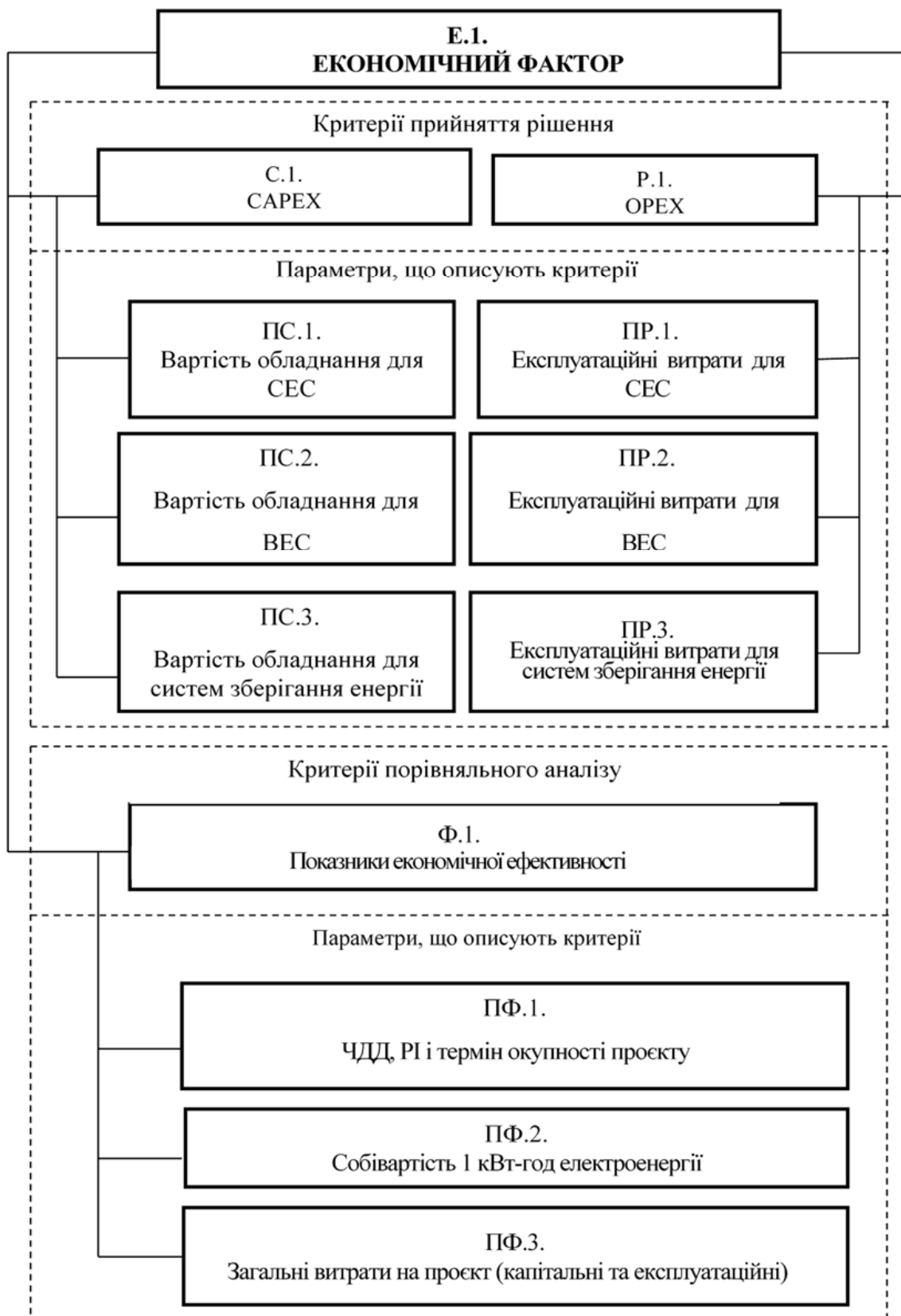


Рис. 3. Опис економічного фактору

Джерело: складено автором

використання система прискореного переходу підприємств до низьковуглецевої енергії, із застосуванням зниженої ставки податку та установки цільового показника скорочення викидів на 10% [8]. Зазначимо, що пропонується модель також включає можливість впровадження та застосування «зелених» сертифікатів.

Розрахунок показника ЧДД здійснюється наступним чином:

$$ЧДД = \sum_{t=0}^T \frac{(E_{est} - B_e + \Pi_m + \Pi_{CO_2} + B_{zc}) - \Pi_{np} + A - K + Л}{(1+r)^t}, \quad (3)$$

де Π_{CO_2} – економія від податку на CO_2 ; B_{zc} – вартість «зелених» (торгових) сертифікатів.

Блок умов 2 характеризує зміну техніко-економічних показників. Цей блок включає в себе відношення розвитку технологічних параметрів нових систем енергопостачання на основі ВДЕ та їх економічної ефективності.

Саме в цьому блоці враховані «критерії впливу на прийняття рішення», тобто ті самі прогнозні значення, які можуть бути досягнуті з плином певного часу.

У пропонуваній моделі вплив змін техніко-економічних показників значно змінює результати показників оцінки економічної ефективності.

При оцінці, з урахуванням блоку 2 (зміни техніко-економічних показників обладнання) відбуваються зміни значення капітальних витрат, і необхідно використовувати показник $K_{пт} t$ – вартість капітальних витрат з урахуванням прогнозу зміни вартості в майбутньому.

Формула для розрахунку ЧДД базового проєкту буде виглядати наступним чином:

$$ЧДД = \sum_{t=0}^T \frac{(E_{est} - B_e + \Pi_m) - \Pi_{np} + A - K_{пт} + Л}{(1+r)^t}. \quad (4)$$

Формула для розрахунку ЧДД для базового проєкту з урахуванням змін в інституційному середовищі буде виглядати наступним чином:

$$ЧДД = \sum_{t=0}^T \frac{(E_{est} - B_e + \Pi_m + \Pi_{CO_2} + B_{zc}) - \Pi_{np} + A - K_{пт} + Л}{(1+r)^t}. \quad (5)$$

На третьому етапі здійснюється переоцінка економічної ефективності проєкту з урахуванням змін прогнозних факторів і порівняльний аналіз результатів за підсумками якого відбувається вибір підсумкового варіанту і прийняття рішення про доцільність використання систем енергозабезпечення на базі ВДЕ в регіоні.

Модель для вибору оптимальної системи енергозабезпечення поточних і перспективних проєктів з використанням ВДЕ, блок схема якої представлена на рис. 4, повинна враховувати можливі технологічні та інституційні зміни.

Висновки. Актуальність створення автономних енергоджерел на базі ВДЕ обумовлена

необхідністю оптимізації витрат при енергозабезпеченні об'єктів, розташованих поза систем центрального енергозабезпечення, вимогами законодавства в частині енергозбереження та підвищення ефективності використання природних ресурсів та можливими податковими обмеженнями на викиди CO_2 , а також вимогами імпортозаміщення виробів зарубіжних виробників сучасними енергоустановками українського виробництва.

Беручи до уваги той факт, що виробництво електроенергії даним типом установок не може обходитися без додаткових резервних джерел, для енергосистем на базі ВДЕ підходить поняття – енергокомплекс, що включає в себе розташовані в безпосередній близькості одна від одної енергоустановки, призначених для вироблення одного або кількох видів енергії, оснащених при цьому системами автоматизованої роботи, що дозволяє вести облік і контроль за раціональним використанням енергоресурсів. Енергокомплекси на базі відновлюваних енергетичних ресурсів можуть виконувати цілий ряд найважливіших завдань при організації виробничого процесу.

Для економічної оцінки доцільності використання ВДЕ з визначенням потенціалу впровадження подібних технологій на промислових об'єктах було розроблено прогнозну модель економічної ефективності, що враховує можливі технологічні та інституційні зміни. При створенні прогнозної моделі економічної ефективності, що враховує можливі технологічні та інституційні зміни насамперед було визначено і описано фактори, критерії та їх параметри з розподілом значущості (ваги) кожного зі значень, взаємозв'язку і залежності.

Перший етап пропонуваної моделі стосується з'ясування можливості застосування технологій енергозабезпечення на основі ВДЕ в певних географічних умовах. На другому етапі (регіональному), після вибору перспективного району проводиться мезомасштабне чисельне моделювання вітрового потоку на довільній висоті над рівнем землі. На третьому етапі здійснюється переоцінка економічної ефективності проєкту з урахуванням змін прогнозних факторів і порівняльний аналіз результатів за підсумками якого відбувається вибір підсумкового варіанту і прийняття рішення про доцільність використання систем енергозабезпечення на базі ВДЕ. Модель для вибору оптимальної системи енергозабезпечення поточних і перспективних проєктів з використанням ВДЕ, повинна враховувати можливі технологічні та інституційні зміни.

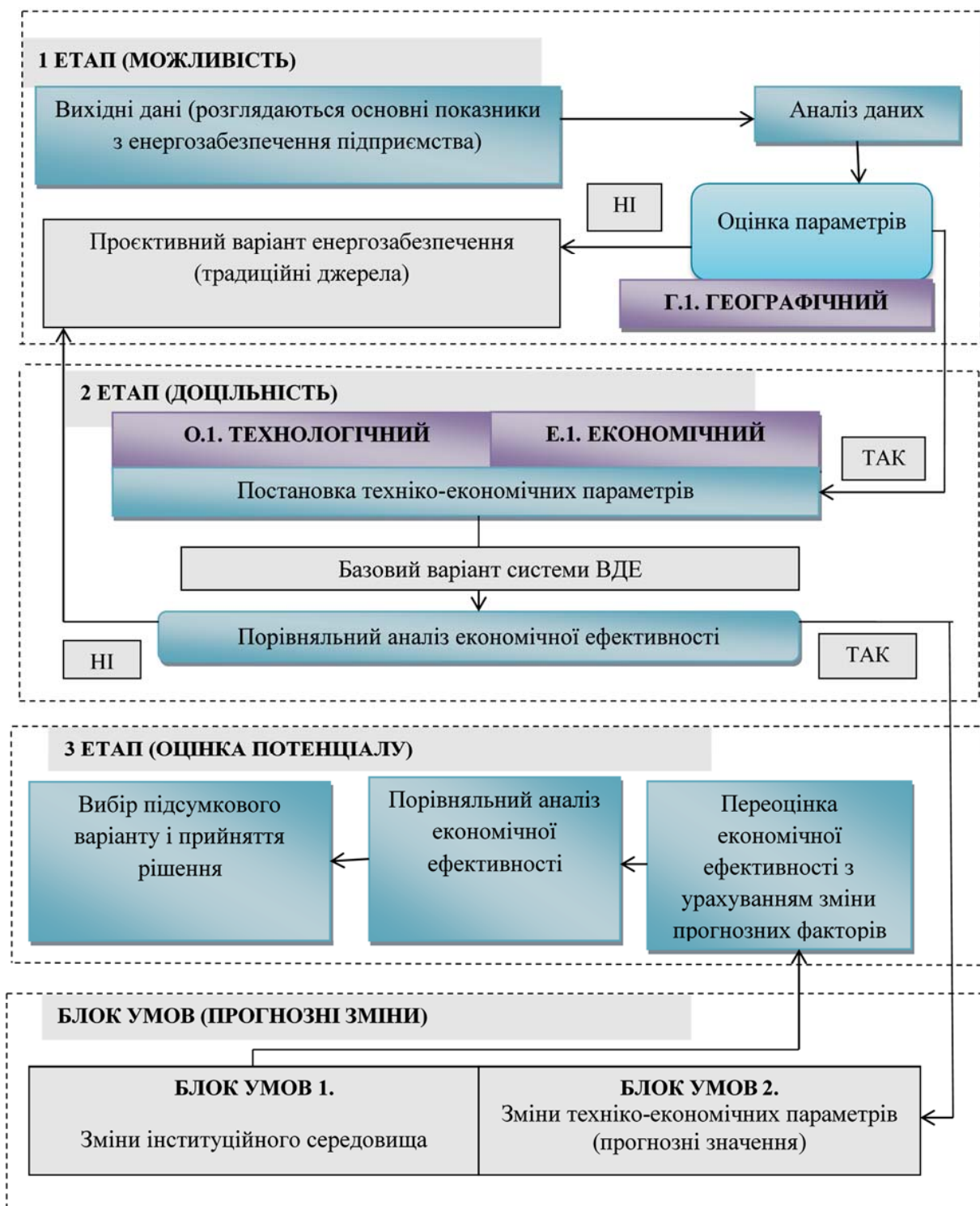


Рис. 4. Схема техніко-економічної моделі оцінки доцільності використання ВДЕ в регіоні

Джерело: складено автором

Бібліографічний список:

1. CM-SAF's SARAH dataset. URL: https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewDoiDetails?acronym=SARAH_V001 (дата звернення: 14.09.2021).
2. David Pimentel. Renewable Energy: Current and Potential Issues. *BioScience*. Volume 52, Issue 12, December 2002, pp. 1111–1120.
3. Gianfranco Di Lorenzo. Innovative power-sharing model for buildings and energy communities. *Renewable Energy*. Volume 172, July 2021, pp. 1087–1102.
4. Global Solar Energy Estimator. URL: <https://github.com/renewables-ninja/gsee> (дата звернення: 15.09.2021).

5. NASA MERRA reanalysis. URL: <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA/> (дата звернення: 12.09.2021).
6. Renewables ninja. Research the effects of integrating renewable technologies. URL: <https://www.renewables.ninja> (дата звернення: 15.09.2021).
7. Renewable energy, explained. National Geographic. URL: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/renewable-energy> (дата звернення: 10.09.2021).
8. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century: renewables 2020 global status report. 2020. 172 p.
9. Uriel Vargas. Stability assessment of a stand-alone wind-photovoltaic-battery system via Floquet Theory. *Renewable Energy*. Volume 171, June 2021, pp. 149-158.
10. Virtual Wind Farm. <https://www.youngscientistlab.com/sites/default/files/interactives/wind-energy/> (дата звернення: 10.09.2021).
3. Gianfranco Di Lorenzo (2021) Innovative power-sharing model for buildings and energy communities. *Renewable Energy*. Volume 172, July 2021, pp. 1087–1102.
4. Global Solar Energy Estimator. Available at: <https://github.com/renewables-ninja/gsee> (accessed 15 September 2021).
5. NASA MERRA reanalysis. Available at: <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA/> (accessed 12 September 2021).
6. Renewables ninja. Research the effects of integrating renewable technologies. Available at: <https://www.renewables.ninja> (accessed 15 September 2021).
7. Renewable energy, explained. National Geographic. Available at: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/renewable-energy> (accessed 10 September 2021).
8. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century: renewables 2020 global status report. 2020. 172 p.
9. Uriel Vargas. Stability assessment of a stand-alone wind-photovoltaic-battery system via Floquet Theory. *Renewable Energy*. Volume 171, June 2021, pp. 149–158.
10. Virtual Wind Farm. Available at: <https://www.youngscientistlab.com/sites/default/files/interactives/wind-energy/> (accessed 10 September 2021).

References:

1. CM-SAF's SARAH dataset. Available at: <https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewDoiDetails?acronym=SARAH> (accessed 14 September 2021).
2. David Pimentel (2002) Renewable Energy: Current and Potential Issues. *BioScience*. Volume 52, Issue 12, December 2002, pp. 1111–1120.