

В.П. Щокін, О.В. Дозоренко, І.О. Сінчук, О.О. Яловий

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ



В. П. Щокін, О. В. Дозоренко, І. О. Сінчук, О. О. Яловий

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ
ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В
СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

МОНОГРАФІЯ

За редакцією
доктора технічних наук, професора
О. М. Сінчука

**iScience
Warsaw, Poland - 2026**

УДК 621.311.1:620.92:622.271

Авторський колектив:

В. П. Щокін, О. В. Дозоренко, І. О. Сінчук, О. О. Яловий
За редакцією доктора технічних наук, професора О. М. Сінчука

Рекомендовано до друку Вченою радою Криворізького національного
університету Міністерства освіти та науки України
(*протокол № 10 від 31 березня 2026 р.*)

Рецензенти:

Олексій Чорний, доктор технічних наук, професор (Кременчуцький
національний університет імені Михайла Остроградського);

Василь Кутін, доктор технічних наук, професор (Вінницький
національний технічний університет).

Щокін В. П., Дозоренко О. В., Сінчук І. О., Яловий О. О. Інтеграція
відновлювальних автономних джерел генерації електроенергії в синергетичні
варіанти структур систем електропостачання підземних рудників : монографія
/ за ред. д-ра техн. наук, проф. О. М. Сінчука. Warsaw : iScience Sp. z o.o.,
2026. 82 с.

В монографії “Інтеграція відновлювальних автономних джерел генерації електроенергії в синергетичні варіанти структур систем електропостачання підземних рудників” викладено науково-технічне обґрунтування варіативності розбудови принципів інтеграції відновлювальних автономних джерел генерації електроенергії в моно структури систем електропостачання підземних рудників (шахт). Проаналізовано особливості режимів електроспоживання рудників, структуру навантажень гірничого технологічного обладнання та вимоги до надійності й безперервності живлення їх електроенергією в умовах глибоких підземних горизонтів рудників та можливих випадках виникнення нештатних ситуацій. Розглянуто можливості використання сонячних, вітрових та накопичувальних систем у поєднанні з традиційними – централізованими джерелами живлення, з формуванням структур синергетичних гібридних систем електропостачання. Обґрунтовано підходи до побудови багаторівневих систем електропостачання з елементами мікромереж, інтелектуального керування та адаптивного розподілу електричних потужностей між споживачами. Запропоновано методологічні засади техніко-економічного оцінювання результатів впровадження автономних відновлювальних джерел електроенергії в умовах діючих підземних гірничодобувних підприємств. Результати дослідження рекомендуються для використання при проектуванні нових та модернізації існуючих систем електропостачання підземних гірничих підприємств з метою формування стратегій декарбонізації гірничо-металургійного комплексу України.

Монографія призначена для науковців, викладачів, аспірантів і фахівців у галузі електроенергетики та гірничої промисловості.

ISBN 978-83-68188-48-6
УДК 621.311.1:620.92:622.271

© В.П. Щокін, О.В. Дозоренко,
І.О. Сінчук, О.О. Яловий, 2026
© iScience Sp. z o. o.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА В СТРУКТУРІ ТЕХНОЛОГІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ З ПІДЗЕМНИМИ СПОСОБАМИ ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ.....	7
1.1 Аналіз взаємовпливу складових: електроенергетика – видобуток залізної руди в парадигмі технології функціонування підземних гірничорудних підприємств.....	7
1.2 Аналіз встановлених електричних потужностей споживачів електроенергії залізорудних шахт.....	11
1.3 Аналіз статистичних показників рівнів споживання електроенергії залізорудної шахти.....	19
РОЗДІЛ 2. АСПЕКТИ ІНТЕГРАЦІЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ.....	25
2.1. Визначення видів, місць локацій та очікуваного потенціалу генеруємих рівнів електричних потужностей локальними автономними джерелами живлення.....	25
2.2. Класифікація та оцінювання варіантів пошуку оптимальних автономних джерел генерації електроенергії.....	28
2.3 Оцінювання загального енергетичного потенціалу джерел автономної генерації електроенергії в мережах з розподіленою генерацією для умов підземних гірничорудних підприємств.....	31
2.3.1 Аналіз вітроенергетичного потенціалу на відвалах залізорудних шахт Криворізького регіону.....	33
2.3.2 Аналіз сонячного потенціалу в умовах залізорудних шахт Криворізького регіону.....	40
2.3.3 Аналіз гідроенергетичного потенціалу залізорудних шахт Криворізького регіону.....	43
2.3.4 Аналіз потенціалу незадіяного (відпрацьованого) вентиляційного потоку у виробках залізорудних шахт.....	47
2.4 Визначення оптимального рівня інтеграції автономних джерел генерації електроенергії до енергетичних мереж залізорудних шахт.....	49
РОЗДІЛ 3. КОМПЛЕКС ВАРІАНТІВ СИНЕРГЕТИЧНИХ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ.....	54

3.1 Особливості побудови комплексу електропостачання- електроспоживання в структурах синергетичного електроенергетичного комплексу гірничорудних підприємств....	54
3.2 Розробка імітаційної моделі електротехнічного комплексу системи електропостачання з джерелами розосередженої генерації.....	62
3.3 Моделювання системи функціонування локального електропостачання ділянки мережі підземного рудника.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77

ВСТУП

Електроенергетика України в сучасних умовах функціонує під впливом комплексу системних викликів, пов'язаних із зростанням енергоємності промислового виробництва, підвищенням вартості енергоресурсів, необхідністю забезпечення енергетичної безпеки держави, а також руйнуванням частини енергетичної інфраструктури внаслідок воєнних дій. У цих умовах традиційна модель централізованого електропостачання виявляється недостатньо гнучкою та стійкою до зовнішніх впливів, що обумовлює необхідність переходу до нових концепцій організації енергозабезпечення [1].

Особливої актуальності зазначені проблеми набувають для гірничорудних підприємств з підземним способом видобутку залізної руди (ЗР), які належать до енергоємних виробництв і характеризуються підвищеними вимогами до надійності та безперебійності електропостачання. Функціонування таких підприємств безпосередньо залежить від стабільної роботи систем електропостачання (СЕР), оскільки відмова електроживлення може призвести не лише до економічних втрат, але й до загрози безпеці персоналу.

Сучасні умови функціонування підземних гірничорудних підприємств характеризуються зростанням глибин видобутку, ускладненням технологічних процесів, збільшенням встановлених потужностей електроприймачів, а також високою варіативністю режимів електроспоживання. При цьому питома вага витрат на електроенергію (ЕЕ) у собівартості видобутку ЗР має стійку тенденцію до зростання, що негативно впливає на економічну ефективність підприємств [2].

За таких умов актуальним напрямом підвищення ефективності функціонування електроенергетичних комплексів гірничорудних підприємств є інтеграція відновлювальних автономних джерел генерації електроенергії (АДГЕ) у структуру СЕР. Використання сонячної, вітрової, гідроенергетичної енергії, а також потенціалу вентиляційних потоків у поєднанні з системами накопичення ЕЕ дозволяє формувати розподілені енергетичні структури з підвищеною гнучкістю, стійкістю та адаптивністю до змін режимів роботи [2].

Разом з тим, впровадження відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в СЕР підземних рудників супроводжується рядом складних науково-технічних задач. До них належать визначення раціональних місць розміщення джерел генерації, оцінювання їх енергетичного потенціалу, забезпечення узгодженого функціонування з централізованими джерелами живлення, а також розроблення

ефективних алгоритмів керування енергопотоками в умовах стохастичності як генерації, так і споживання ЕЕ [3].

Особливістю підземних гірничорудних підприємств є обмеженість територіальних ресурсів для розміщення енергогенеруючих установок, а також наявність специфічних техногенних об'єктів (відвали, порушені території, водовідливні системи), які можуть бути використані як потенційні майданчики для розміщення ВДЕ. Це формує передумови для створення синергетичних структур електропостачання, в яких поєднуються централізовані та розподілені джерела енергії [3-4].

Метою даної монографії є науково-технічне обґрунтування принципів інтеграції відновлювальних АДГЕ в синергетичні варіанти структур СЕП підземних рудників з урахуванням їх технологічних, енергетичних та експлуатаційних особливостей.

Об'єктом дослідження є процеси функціонування СЕП підземних гірничорудних підприємств.

Предметом дослідження є методи та підходи до інтеграції відновлювальних АДГЕ в структури СЕП з розподіленою генерацією.

У монографії вирішуються такі основні задачі:

- аналіз структури та режимів електроспоживання підземних гірничорудних підприємств;
- оцінювання енергетичного потенціалу ВДЕ в умовах Криворізького регіону;
- розроблення варіантів синергетичних структур СЕП з розподіленою генерацією;
- дослідження режимів функціонування електроенергетичних комплексів з урахуванням інтеграції ВДЕ;
- обґрунтування техніко-економічної доцільності впровадження АДГЕ.

Наукова новизна роботи полягає у розвитку підходів до формування синергетичних структур систем електропостачання підземних рудників на основі інтеграції відновлювальних АДГЕ, що враховують специфіку режимів електроспоживання та технологічні особливості гірничорудних підприємств.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання при проектуванні нових та модернізації існуючих СЕП підземних рудників, а також при розробленні стратегій підвищення енергоефективності та енергетичної незалежності гірничо-металургійного комплексу України.

РОЗДІЛ 1
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА В СТРУКТУРІ ТЕХНОЛОГІЇ
ФУНКЦІОНУВАННЯ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ З
ПІДЗЕМНИМИ СПОСОБАМИ ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ

1.1 Аналіз взаємовпливу складових: електроенергетика – видобуток залізної руди в парадигмі технології функціонування підземних гірничорудних підприємств

Гірничорудні підприємства – складові гірничо-металургійної галузі вітчизняної промисловості, являють собою зразки енергоємних виробництв і, водночас, є володарями поки що недостатньо використаного, за своїм потенціалом підтримання, енергоекономічного їх стану як і стану їх внутрішніх електроенергетичних комплексів: електропостачання – електроспоживання як системоутворюючих збудників процесу формування економіки даних видів виробництв [5- 12].

При цьому доцільно зазначити, що проблеми, по факту потенціалу їх невирішеності в сфері підвищення рівня енергоефективності взагалі, та електроенергоефективності зокрема, вітчизняних гірничо-видобувних підприємств, в існуючий період часу, трансформуються в розряд стратегічно необхідних рішень державного рівня.

За останнє десятиріччя відсоток ЕЕ в собівартості видобутку ЗР на більшості гірничорудних підприємствах з підземним способом видобутку в Україні перетнув рубіж 30% і продовжує своє стійке зростання.

Причин в такому негативі немало і вони носять комплекс впливових і зростаючих в часі функціонування гірничорудних підприємств факторів. У відповідності до мети наукового пошуку, автора цікавить вплив енергетичної складової, а конкретніше, електроенергетики в цьому комплексі негативу, для визначення вектору пошуку шляхів зменшення рівня цього одіозного впливу на економіку підприємства. А факти сьогодення свідчать про наступне.

Так, якщо з 2019 року по 2025 рік обсяги видобутку ЗР по підприємству з підземного видобутку ЗР на правах шахти ТОВ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – типовому гірничорудному підприємстві, зменшились майже на 79% (в 4,7 рази) то собівартість навпаки – зросла в 2,55 рази.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

Доля ЕЕ за цей час в собівартості видобутку ЗР збільшилась в 1,8 рази при сплаті за її споживання в 2019 році 168106 грн., а в 2024 – 161121 грн. Тобто сума сплати за спожиту ЕЕ, при зменшенні обсягів видобутку ЗР майже в 5-ть разів, залишились практично без змін. При цьому, за цей час, ціна на 1 т ЗР на світовому ринку сировини, в своїх коливаннях, змінилась не суттєво.

Непрогнозованість в зміні цих показників за останні 5-ть років (відсторонюючи показники 2022-2024 років) прослідковуєма на фоні ряду об'єктивних причин, все ж являє являє собою наслідок недостатньо необхідної уваги до цього процесу і відсутності цілісності в його штучному керуванні як процесу.

Як результат – на період 2021 р. питома вага ЕЕ в загальній собівартості видобутку ЗР підземним способом, в умовах базового центру України з видобутку ЗР – Криворізького залізородного басейну, упосереднено по всім підземним підприємствам, стрімкими темпами наближається до позначки 30 % [13].

Більше того, креатив зростання цього показника прогресує в своєму негативі. З урахуванням та оцінюванням перспектив видобутку ЗР підземним способом, вищенаведені показники, без прийняття додаткових заходів для покращення ситуації кожні 5-ть наступних років прогнозно будуть зростати щорічно мінімум як на 1-3 %. З урахуванням нестабільних по характеру коливань режимів роботи даних підприємств, постійного зростання цін на ЕЕ, непрогнозованих змін вартості ЗР на світовому ринку сировини, та політичної ситуації в країні, ці прогнозні показники драматизують до рівня кризової і без того не просту поточну ситуацію, як для гірничорудних підприємств, так і для держави в цілому.

Між тим, як доповнення, слід констатувати той факт, що оцінюючи, рамочно, історію розвитку енергетики в Україні, та її впливу на процес видобутку корисних копалин, що, починаючи ще з 90-х років минулого століття, в гірничій промисловості почалась ера, в якій стала проявлятися домінуюча тенденція негативного впливу енергетики в комплексі інших внутрішніх економічних показників функціонування гірничовидобувних підприємств взагалі та гірничорудних зокрема.

Більше того, в останнє десятиріччя, вже нинішнього століття, темпи цього впливу сформували вектор свого креативного росту. При цьому логічно, що це, поряд з іншими, в т. ч. з природними факторами впливу, провокує одіозний для цих підприємств процес подальшого зростання собівартості видобутку ЗР. В перспективі це ще один крок на

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

шляху до драматизму ситуації в майбутті вітчизняної гірничорудної галузі.

На період 2005-2010 років – років достатньо стабільної роботи гірничорудних підприємств, частка електроенергозатрат при видобутку 1 тони сирової руди підземним способом збільшилась на 18% з тенденцією подальшого зростання. Водночас слід зауважити, що коливання питомих витрат ЕЕ на 1 т видобутої ЗР являються апіорно найбільш непередбачуваними із всього комплексу показників ефективності видобутку на всіх без винятку вітчизняних гірничорудних підприємствах [14].

Безумовно, що основним визначальним фактором впливу, в тому числі на ці показники, як і на всі інші – економічні, в роботі гірничорудних підприємств виступають технології видобутку ЗР. Логічно і те, що в форматі існуючих технологій, в будь якому варіанті чи-то режимі роботи даних підприємств, процес зростання показника собівартості видобутку ЗР в процесі часу експлуатації конкретних підприємств буде прогресувати, по факту природного збільшення глибин видобутку. При цьому, на жаль, застосування нових, більш економічно ефективних, в тому числі більш енергоефективних технологій видобутку ЗР не слід очікувати в найближчі роки, оскільки, це можливо лише при будівництві нових усучаснених варіантів підприємств, що в Україні поки-що не прогнозується. Тому реальним, і водночас потенційно реалізуємим, вбачається пошук шляхів вирішення вищенаведеної проблеми в межах існуючих технологій, що формує значну складність в вирішенні проблеми підвищення ефективності взагалі, та енергоефективності зокрема, цих видів гірничо-промислових підприємств. При цьому зазначимо встановлений факт, що декларування про вирішення проблеми зменшення енергоємності видобутку ЗР, до відчутно позитивних рівнів, знову таки в рамках існуючих технологій, не є достатньо коректним до ситуації, що аналізується, і, скоріше, мета – це зменшення темпів зростання цього показника.

При цьому зазначимо, що відсотки сегментів споживання енергії на аналізованих видах підприємств з роками змінюється, але загальна тенденція в їх співвідношеннях зберігається – домінує ЕЕ.

Тому, узагальненим предметом даного наукового пошуку є визначення потенціалу, меж його досяжності та розробка науково-обґрунтованих заходів для реалізації процесу стримування темпів

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

зростання електроенергозатрат при видобутку ЗР в умовах існуючих технологій, існуючих підприємств.

Цей висновок стосується всіх, без винятку, гірничорудних підприємств України, що доповнюється і фактом спорідненості їх функціонування з видобутком в них ЗР з практично з одних і тих же, або близьких до цього глибин (зараз це 1000-1500 м), та обсягів видобутку даного виду корисних копалин [14].

Ідентичними в них є і структури СЕП та встановлені електричні потужності їх технологічного обладнання [15]. Рівні споживання ЕЕ споживачами цих підприємств теж близькі, тобто ті чи інші варіанти адресних рішень для конкретного підземного гірничорудного підприємства можуть тиражуватись в інших, як споріднені.

Тому, інтегруючи проблеми, як і шляхи її вирішення, з метою послаблення матеріально – затратного електроенергетичного тиску на процес функціонування гірничорудних підприємств в стратегічних та першочергових завданнях України виділяються наступні основні спрямування до позитивної стабілізації їх енергетики [1, 13, 16]:

- розвиток та доведення рівня відновлювальної енергетики до плануємих оптимальних рівнів;
- мінімізація втрат ЕЕ в системах електропостачання-електроспоживання;
- впровадження інтелектуальних концепцій в керування СЕП: Smart Grid, Microgrid та інших.

Узагальнена схема цих рішень в своїй комплексності, і в якості базового сегмента рішень, передбачає розвиток та впровадження автономних генеруючих комплексів на основі ВДЕ, що, зокрема, визначає рівні індикативних показників майбутнього розвитку ВДЕ в синергетичних варіантах структур – СЕП з розподіленою генерацією для умов підземних гірничорудних виробництв з їх значною специфікою технологій їх роботи.

Цьому підтвердження і той позитивний момент який має місце в процесі застосування АДГЕ з застосування ВДЕ в синергетичних варіантах структур СЕП даних видів гірничих підприємств, оскільки для цього існує значний потенціал ефективного використання земної поверхні яка є техногенним продуктом роботи гірничих підприємств яка законодавчо виведена з обсягу її природного використання. Це, перш за все, порушені земні поверхні, котрі розміщуються поряд з підприємствами і які містять:

- провали земної поверхні по тракторіям ведення підземних виробок;
- відвали пустих порід;
- технологічні водосховища - результат відкачування технологічних вод з підземних горизонтів.

Перші з двох вищезгаданих характеризуються тим, що ці території вже законодавчо виведені з загальнодержавного землекористування.

Проте, як це не виглядає парадоксально, настав час коли електроенергетика даних підприємств може отримати свій позитив використовуючи ці негативні наслідки процесу видобутку корисних копалин, хоча це і являє собою непросту, але вкрай необхідну задачу для рішення.

1.2 Аналіз встановлених електричних потужностей споживачів електроенергії залізородних шахт

Аналізуючи процес функціонування електроенергетичних комплексів даних видів гірничих підприємств зупинилось, перш за все, на аналізі встановлених електричних потужностей і рівнів їх використання оскільки ці дані «підсвітлюють» перспективу шляхів пошуку.

Аналіз стану встановлених потужностей електрообладнання, в тому числі трансформаторів ГПП та ДПП вітчизняних підземних гірничорудних підприємств, свідчить, що їх основні електричні параметри (табл. 1.1) лишаються без суттєвих змін на протязі десятиків років [17]. Змінюються в основному, і суттєво, протяжність підземних сегментів ЛЕП з переходом видобутку ЗР на більш глибокі підземні горизонти, що теж може бути предметом наукового пошуку, оскільки цей технічний параметр впливає на рівень енергоефективності функціонування СЕП даних підприємств. Проте це не є предметом даного наукового пошуку.

Як встановлено [13, 17-18], електричні потужності приймачів вітчизняних підземних підприємств з видобутку ЗР близькі між собою, а нерідко навіть аутентичні. Наближаючись до конкретики даних показників розглянемо це питання на прикладі типового підприємства з аналізуємих видів (табл. 1.1).

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

В табл. 1.1 у відповідності з прийнятою класифікацією з 1-го по 7-й пункт включно встановлена потужність складає 23735 кВт, а з 8-го по 12-й – 31800 кВт.

Враховуючи наведені показники табл. 1.1 у відповідності з вказаною нумерацією споживачі ЕЕ останні умовно можна розділити на споживачі поверхневого (п. 1-7) та підземного (п. 8-12) комплексів в загальній цілісній технології видобутку ЗР. При цьому різниця в рівнях встановлених електричних потужностей між споживачами підземного і поверхневого комплексів становить 20 % у підземній частині споживачів по відношенню до «поверхні».

Таблиця 1.1 – Перелік встановлених електричних потужностей споживачів електроенергетичного комплексу підприємства з підземним видобутком залізної руди на правах шахти

№ з/п	Тип приймача	Встановлена потужність, кВт
1	Центральна компресорна станція	15750 (5 одиниць компресорів К-501 по 3150 кВт; постійно в роботі 1 турбокомпресор, а при необхідності – 2)
2	Ремонтно-механічний цех	330
3	Зовнішнє освітлення	4700
4	Адмінбудівля шахти, обчислювальний центр, диспетчерська служба	150
5	Побутовий комбінат	630
6	Дробильно-сортувальна фабрика, вантаження руди	1950
7	Інші споживачі (склад, майстерні, котельні, столова тощо)	225
8	Скіповий підйом	4000
9	Клітьовий підйом	8200
10	Головні вентиляційні установки	4000
11	Головний водовідлив	10700
12	Інші підземні споживачі ЕЕ	4900

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

В аспекті аналізу взаємодії процесів вищезазначеного електроенергетичного комплексу споживачів підземних гірничорудних підприємств, то тут можливо провести «тонку червону лінію», котра не пов'язує жорстко між собою ці дві складові єдиного узагальненого процесу функціонування комплексу: електропостачання-електроспоживання даних підприємств. Цей штрих надає можливість додаткового мислення процесу підвищення енергоефективності гірничорудних шахт з диференціюванням по видам споживачів: поверхневі – підземні.

Та все ж, маючи повну різницю в вимогах до якості електропостачання вищезаналізованих споживачів зазначимо їх загальну вимогу – безперебійність електропостачання, що вимагають як вимоги ПУЕ, так і технологія ведення гірничих робіт.

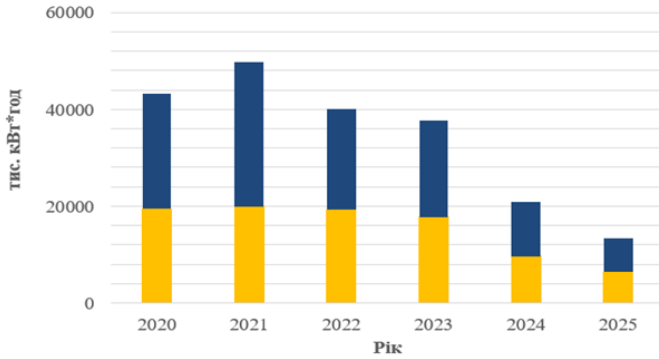
Аналіз обсягів споживання ЕЕ свідчать про те, що в останні роки (п'ять років) доля споживачів ЕЕ поверхневого комплексу, як правило, і не враховуючи екстремальні 2024-2025 роки, становила більше 60 % від загальноспоживчого обсягу (рис. 1.1). При цьому, як в денний, так і в нічний періоди часу, вищезазначені комплекси споживали менше 40 %, ніж у відповідні години доби нічні.

В продовження вищезазначеного зазначимо, що цікавим фактом для розбудови алгоритму керування електроенергопотоками виглядає те, що в обсягах споживання ЕЕ поверхневим комплексом в нічні години домінує комплекс поверхневого освітлення, а в підземній складовій – водовідливний комплекс.

Проте, більш коректні та системодоповнюючі висновки стану функціонування електроенергетичних комплексів підземних залізничних підприємств можуть бути отримані в результаті аналізу процесів споживання ЕЕ як індивідуальними, так і групами приймачів у функції відповідних часових періодів та технологічних змін параметрів роботи підприємства.

Оцінюючи, як в сьогодні, так і в рівнях перфектних - проєктно нормованих показників функціонування аналізованих видів гірничих підприємств і їх електроенергетичних комплексів в форматі авторського бачення режими споживання ЕЕ зазначимо наступне.

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**



а)



б)

Рисунок 1.1 – Еволюція рівнів споживання електроенергії між приймачами поверхневого (а) і підземного (б) комплексів відповідно в годинах доби залізорудної шахти №9 (м. Кривий Ріг)

Аналіз режимів функціонування електроенергетичних комплексів аналізуємих підприємств гірничорудного комплексу з метою отримання реальних результатів не можливий без базового матеріалу для цього – експериментальних даних, котрі були отримані в умовах діючих підприємств.

Але, до цього тривіального формату ствердження слід додати те, що поточні дані отриманих результатів даних досліджень повинні

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

співставляються з даними, котрі отримувались для умов роботи цих підприємств в номінальних – проектних, або близьких до цих режимів, з оцінюванням – прогнозом подальших перспектив в цьому аспекті. Базуючись на цій логіці, для дослідницького формату такого пошуку використані як власні експериментальні дослідження, котрі проводились в поточному часі, так і матеріали попередніх досліджень та архівів енергослужб конкретних підприємств [19-21].

При цьому враховувались не тільки результати експериментів попередників, а й їх логістика аналізу отриманих результатів. Це важливо, оскільки мета отримання результатів цього сегмента наукового пошуку в оцінюванні варіативності процесів споживання ЕЕ як в часі, так і персоніфіковано – в видах споживачів, або їх груп. Така схема пошуку відповідає загальній меті дослідження і є необхідною стартовою умовою для конструювання синергетичного електроенергетичного варіанту комплексу з єдиним керуючим органом.

При цьому логічним і водночас важливим моментом в цьому процесі є аналіз з диференціюванням рівнів споживання ЕЕ між споживачами і, водночас, об'єднання – згуртування останніх в сегменти керованості без втрати логіки управлінської централізації всім електроенергетичним комплексом. Ця ідеологія розбудови СЕП являє собою певний зразок наближеності варіанту до відомих зразків розбудови концепцій Smart Grid, Micro Grid та інших подібних, але в індивідуальному кінцевому форматі реалізації.

Це важливо і, що основне – базове, оскільки встановлено, що процес споживання ЕЕ гірничими підприємствами, як і відповідний показник енергоефективності, більш ніж на 70% визначаються технологією ведення гірничих робіт, котра відображається в відповідному проекті підприємства [2, 18, 22].

Проте, варіативність позапроектних рішень, з боку СЕП конкретного підприємства, носить і має свою значимість як в поточному стані, так і в потенціалі досяжності в шляхах пошуку та реалізації більш ефективних – сучасних енергоефективних спрямувань рішень для вирішення проблеми збільшення енергоефективності процесу видобутку ЗР.

Для визначення стану споживання ЕЕ як процесу в функції ряду впливових факторів, були проведені експериментальні дослідження в ряді залізрудних шахт. На рис. 1.2 наведені отримані в процесі експериментальних досліджень показники, котрі з позицій сьогодення, в черговий раз підтверджують раніше встановлений попередніми

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

дослідниками факт, що загальні рівні споживання ЕЕ даних підприємств, носять мінливий та непрогнозований по рівням і в часі характер.

Проте, окрім необхідності усучасненої констатації характеру споживання ЕЕ, цікавим, для подальшої розбудови логістики даного наукового пошуку, є доцільність встановлення причин та факторів впливу окремих складових, а точніше споріднених технологією роботи даних підприємств, груп споживачів на формування цього процесу і, перш за все, на динаміку коливань рівнів, як узагальненого формату споживання ЕЕ, так і диференційовано – по видам груп приймачів.

Аналізуючи отримані статичні дані і водночас, з певною допустимою коректністю, не вдаючись в прискіпливий аналіз – чому і як ці факти корелюють з іншими технологічними параметрами даного підприємства, приведемо лише певні, але все ж, як буде доведено далі системоутворюючі для подальшого пошуку показники цього аналізу (рис. 1.2).

Так, в 2018 році, відносно стабільному в режимах функціонування конкретного підземного рудника, коли обсяги видобутку ЗР в серпні склали 89930 т, а в грудні – 87225 т, тобто відхилення в обсягах видобутку ЗР в грудні зменшились лише на 2705 т – близько 3%, то, водночас рівні споживання ЕЕ в цей період саме на підземні роботи – видобуток ЗР, збільшились відповідно: активної – більше ніж на 30%, реактивної – менше ніж на 11 %. Проте, логіка змін цих співвідношень з точки зору електротехніки пояснюється природними факторами, котрі формуються технологією функціонування цих підприємств. Така ж ситуація в оцінюванні загального споживання ЕЕ.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

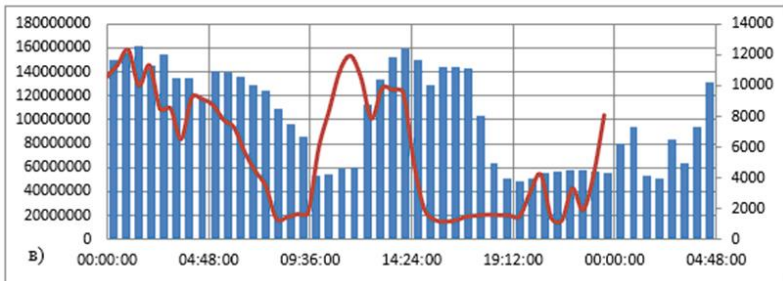
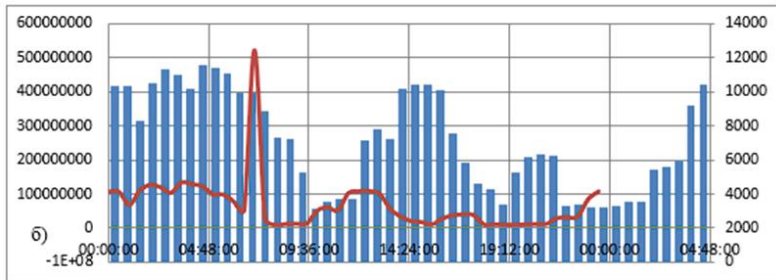
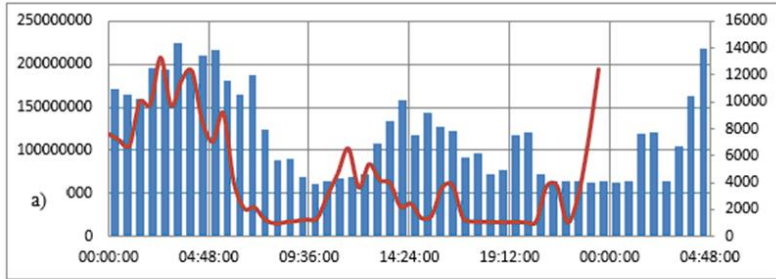


Рисунок 1.2 – Динаміка змін активної потужності споживання та електроенергії приймачами шахти №4: а) 18.12.2022, б) 15.12.2023, в) 18.12.2024

Стосовно аналогічного продовження аналізу, по іншим рокам, то тут ситуація наступна – при зменшенні обсягів видобутку ЗР в серпні 2024 р., в порівнянні з серпнем 2018 р. більш ніж на 60%, обсяги

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

споживання ЕЕ підземними приймачами зменшились майже на 30%, а в грудні цього ж 2024 р., коли підприємства взагалі не видобувало ЗР, споживання активної енергії в порівнянні з серпнем цього року, зменшилось лише на близько 5%, а в порівнянні з аналогічним місяцем 2018 р. - зменшилось близько до 22,8%.

І якщо різниця в рівнях споживання ЕЕ в реаліях технології функціонування діючих підземних гірничорудних підприємств в умовнонаближених часових співвідношеннях: день-ніч, для підземних приймачів лежить в межах 1,4-2,3 рази, то для поверхневої групи це становить 1,3-17 рази. При цьому зрозуміло, що рівні споживання ЕЕ вищенаведеними споживачами різні, як різна частка споживання ними ЕЕ в час «пік».

В серпні 2018 р. підземні приймачі спожили енергії майже на 40% більше ніж у відповідному місяці 2024 р. І це логічно, оскільки різниця в обсягах видобутку ЗР в ці періоди сягала 2,3 рази.

Цікавий факт – при відсутності видобутку ЗР підземна група приймачів споживала ЕЕ в 2,45 рази більше в денний час ніж в нічний.

Аналогічна, або близько до такої, ситуація в співвідношеннях аналізованих показників в інші роки функціонування даного гірничого підприємства як і всіх інших його прототипів – гірничорудних підприємств України [17-21].

Та все ж, підводячи певні проміжні висновки, в розрізі наведеного вище етапу досліджень, з позицій оцінювання характеру споживання ЕЕ приймачами підземних гірничорудних підприємств як процесу, доцільно зазначити, що загальний рівень його стохастичності зменшується з наближенням режиму роботи цих підприємств і, відповідно режимів функціонування їх СЕП, до рівнів проектних значень.

Все це в черговий раз підтверджує раніше встановлений факт про змінно-непрогнозуємий, зі значним рівнем стохастичності характер споживання ЕЕ приймачами підземних залізничорудних підприємств в місяцях, роках і в годинах доби (рис. 1.1) [23-24]. Це, формує «високий поріг» системоутворюючих перешкод для реалізації енергоефективних заходів в структурі комплексів керування процесами функціонування електроенергетичних комплексів: електропостачання електроспоживання гірничорудних підприємств.

Така констатація ставить перед дослідниками цієї проблеми генеральну мету – пошук новітніх енергоспрямованих шляхів технологічного функціонування самих споживачів ЕЕ даних

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

підприємств, та прийняття відповідних технічних заходів щодо мінімізації негативних наслідків цього процесу на узагальнені електроенергетичні характеристики гірничих виробництв в цілому, а значить і, що головне, на їх економіку. Стосовно схеми реалізації такого варіанту проєкту з комплексністю кінцевого рішення, то тут доцільно, перш за все, знайти рішення з реальною логікою в конкретиці формування структури пошуку, в тому числі базуючись на сучасних реаліях функціонування підземного і поверхневого.

До цього додамо, що, як зазначалось попереду в тексті пояснювальної записки даного дослідження, останні роки роботи вітчизняних гірничорудних підприємств не є типовими, а, у відповідності до політичної та економічної ситуації в країні – тимчасово скорегованими в бік значного зменшення, а в окремих випадках і навіть тимчасово зупиненого видобутку ЗР.

Проте це, факт реального пошуку від якого не можливо абстрагуватись. Тобто, в системі розбудови енергоефективних СЕП та їх варіантів необхідно враховувати всі можливі коливання в обсягах видобутку ЗР.

1.3 Аналіз статистичних показників рівнів споживання електроенергії залізорудної шахти

Як доповнення до вищенаведеного, з метою отримання реально наближених показників, проведено оцінювання ряду складових процесу споживання ЕЕ в умовах типового підземного гірничорудного підприємства на прикладі шахти №9, м. Кривий Ріг) з залученням до цього методів математичної статистики.

Статистичний показник – це якісно певна змінна величина, яка кількісно характеризує об'єкт дослідження або його властивості. Якісну визначеність забезпечує набір ознак, які покладені у форматі його визначення. Кількісна визначеність показника пов'язана з ознаками місця та часу [25-27].

Серед показників, які достатньо змістовно характеризують динаміку та зміну рівнів у часі, визначаються:

- абсолютний приріст;
- коефіцієнт (темп) зростання;
- темп просту;
- абсолютне значення 1 % приросту.

ИНТЕГРАЦИЯ ВИДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

Абсолютний приріст характеризує, наскільки кожний наступний рівень більший чи менший за попередній:

$$\Delta_{\text{ул}} = y_i - y_{i-1} \text{ – ланцюговий;}$$

$$\Delta_{\text{бб}} = y_i - y_0 \text{ – базисний.}$$

Коефіцієнт зростання характеризує відношення поточного рівня до рівня, що прийнятий за базу порівняння:

$$K_{\text{зл}} = \frac{y_i}{y_{i-1}} \text{ – ланцюговий;}$$

$$K_{\text{бб}} = \frac{y_i}{y_0} \text{ – базисний.}$$

Темп приросту показує, на скільки відсотків рівень одного періоду збільшився стосовно рівня іншого періоду, тобто цей показник характеризує відносну величину приросту у відсотках. Порівняння абсолютного приросту та темпу приросту за той самий інтервал часу показує, що в реальних процесах уповільнення темпу приросту часто не супроводжується зменшенням абсолютних приростів.

$$T_{\text{прл}} = \frac{y_i - y_{i-1}}{y_{i-1}} \cdot 100\% \text{ – ланцюговий;}$$

$$T_{\text{прб}} = \frac{y_i - y_{i-1}}{y_0} \cdot 100\% \text{ – базисний.}$$

Абсолютне значення одного відсотка приросту – показник, що показує, на скільки одиниць змінився вихідний показник при зміні темпу приросту на 1%, і розраховується як відношення абсолютного приросту до темпу приросту в той самий момент часу. Він допомагає зрозуміти фактичну величину зміни, що стоїть за кожним відсотком, особливо коли початковий рівень статистичного явища змінюється.

$$A_i = 0,01 \cdot y_{i-1}$$

Вихідні дані для отримання вищезазначених показників наведено в табл. 1.2, 1.3.

Відповідно до означених аналітичних характеристик, розрахуємо показники стосовно обсягів споживання ЕЕ для підземного та поверхневого добутку ЗР.

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

Таблиця 1.2 – Поверхнєве використання електроенергії

Рік/ показник	2020	2021	2022	2023	2024
$\Delta_{ул}$	-	6482,00	-9655,00	-2453,00	-16806,00
$\Delta_{уб\ б}$	-	6482,00	-3173,00	-5626,00	-22432,00
$K_{зл}$	-	1,15	0,81	0,94	0,55
$K_{зб}$	-	1,15	0,93	0,87	0,48
$T_{прл}$	-	0,15	-0,19	-0,06	-0,45
$T_{прб}$	-	0,15	-0,22	-0,05	-0,39
A_i	-	497,72	401,17	376,64	208,58

Таблиця 1.3 – Підземне використання електроенергії

Рік/ показник	2020	2021	2022	2023	2024
$\Delta_{ул}$	-	61,00	-5017,00	-204,00	-2073,00
$\Delta_{уб\ б}$	-	61,00	-4956,00	-5160,00	-7233,00
$K_{зл}$	-	1,002	0,81	0,99	0,90
$K_{зб}$	-	1,002	0,81	0,80	0,73
$T_{прл}$	-	0,002	-0,19	-0,01	-0,097
$T_{прб}$	-	0,0023	-0,19	-0,19	-0,27
A_i	-	264,55	265,16	214,99	212,95

За базовий період прийнято 2020 р. як для поверхневого так й для підземного використання ЕЕ аналізуемого підземного рудника.

Для поверхневого використання ЕЕ значення абсолютних показників – базисних, свідчать про найбільше зниження в період 2024 р. з цими показниками корелює показник – коефіцієнт (темп) зростання - базовий, який дорівнює 0,48. Відповідно, знижка темпу росту дорівнює -0,27. Стосовно ланцюгових характеристик, то в абсолютному вимірі найбільше зниження відноситься до 2024 порівняно з 2023, а най менше в 2023 р. порівняно з 2022 р. Аналогічні зміни спостерігаються й відносних величинах, представлених в таблиці. Відсоткова змістовність представлена характеристикою абсолютного значення одного відсотка приросту.

Для підземного використання ЕЕ найбільше абсолютне базисне значення відповідає 2024 р., а ось 2023 та 2022 можемо вважати цей показник незмінним. Ланцюговий абсолютний ріст – найбільше значення стосується 2021 року по відношенню до 2020 року, а найменший в 2023 р. по відношенню до 2022 р. Аналіз таблиці свідчить про відносні показники, значення яких менше одиниці, тобто перепаханок абсолютних значень в відсоткові має місце.

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

Загалом, можна стверджувати, що період 2024 року має найнижчі показники, хоча зміна значень цих показників різниться як для поверхневого, так й для підземного обсягу ЕЕ. Зміна показників поверхневого обсягу ЕЕ має значні коливання, в той час як підземного такі коливання відсутні.

Для проведення досліджень, щодо кореляційних процесів в даному випадку замала даних. Для представленої вихідної інформації, зрозуміло, що існує тісний зв'язок. Тому вважаємо за потрібне продовжити дослідження стосовно даних, які визначають процес споживання ЕЕ відносно часових проміжків доби, саме- день, ніч. Відповідно, дослідження ґрунтувались на наступних вихідних даних (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Таблиця вихідних даних (день, ніч)

Рік/ показник	2020	2021	2022	2023	2024
Поверхневий обсяг	43290	49772	40117	37664	20858
день	19481	19909	19256	17702	9595
ніч	23809	29863	20861	19962	11263
Підземний обсяг	26465	26516	21499	21295	19222
день	10321	9281	8815	8944	8650
ніч	16144	17235	12684	12351	10572

Відповідно до представлених аналітичних розрахунків отримує результат, наданий в відповідних таблицях 1.5-1.8.

Таблиця 1.5 – Аналітичні розрахунки (день, поверхневий обсяг)

Рік/ показник	2020	2021	2022	2023	2024
День (поверхневий обсяг)	19481	19909	19256	17702	9595
$\Delta_{ул}$	-	428	-653	-1554	-8107
$\Delta_{уб б}$	-	428	-225	-1779	-9886
$K_{зл}$	-	1,02	0,97	0,92	0,54
$K_{зб}$	-	1,02	0,99	0,91	0,49
$T_{прл}$	-	0,02	-0,03	-0,08	-0,46
$T_{прб}$	--	0,02	-0,01	-0,09	-0,51
A_i	-	194,81	199,09	192,56	177,02

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

Поступово, з кожним роком, зменшується споживання ЕЕ. Найбільше – в період 2022 -2023. Порівняно з базовим періодом – 2020 рік, таке зменшення можна вважати суттєвим, майже на 9886 од. Отриманим абсолютним значення відповідають й відносні.

Таблиця 1.6 – Аналітичні розрахунки (ніч, поверхневий обсяг)

Рік / показник	2020	2021	2022	2023	2024
Ніч (поверхневий обсяг)	23809	29863	20861	19962	11263
$\Delta_{ул}$	-	6054	-9002	-899	-8699
$\Delta_{уб б}$	-	6054	-2948	-3847	-12546
$K_{зл}$	-	0,25	-0,30	-0,16	-0,44
$K_{зб}$	-	0,25	-0,12	-0,16	-0,53
$T_{прл}$	-	0,25	-0,30	-0,04	-0,44
$T_{прб}$	--	0,25	-0,12	-0,16	-0,53
A_i	-	238,09	298,63	208,61	199,62

Стосовно нічного періоду, поверхневого обсягу добутку, ситуація інша. А саме, найбільше зниження споживання ЕЕ відноситься до періоду 2023-2024 р. зменшення майже в 10 разів. Цьому показнику відповідає значення показника темп приросту ланцюговий, що становить -0,44.

Таблиця 1.7 – Аналітичні розрахунки (день, підземний обсяг)

Рік / показник	2020	2021	2022	2023	2024
День (підземний обсяг)	10321	9281	8815	8944	8650
$\Delta_{ул}$	-	-1040	-466	129	-294
$\Delta_{уб б}$	-	-1040	-1506	-1377	-1671
$K_{зл}$	-	0,90	0,95	1,01	0,97
$K_{зб}$	-	0,90	0,85	0,87	0,84
$T_{прл}$	-	-0,10	-0,05	0,01	-0,03
$T_{прб}$	--	-0,10	-0,15	-0,13	-0,16
A_i	-	103,21	92,81	88,15	89,44

Аналіз показників щодо денних показників підземного добутку свідчить про збільшення споживання ЕЕ в період з 2022 по 2023 рр. Це віддзеркалюється в показниках – коефіцієнт зростання ланцюговий,

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

який становить 1,01, тобто збільшення на 1%. Але по відношенню до базового показника 2020, відмічається зменшення.

Таблиця 1.8 – Аналітичні розрахунки (ніч, підземний обсяг)

Рік/ показник	2020	2021	2022	2023	2024
Ніч (підземний обсяг)	16144	17235	12684	12351	10572
$\Delta_{ул}$	-	1091	-4551	-333	-1779
$\Delta_{уб\ б}$	-	1091	-3460	-3793	-5572
$K_{зл}$	-	1,07	0,74	0,97	0,86
$K_{зб}$	-	1,07	0,79	0,77	0,65
$T_{прл}$	-	0,07	-0,26	-0,03	-0,14
$T_{прб}$	--	0,07	-0,21	-0,23	-0,35
A_i	-	161,44	172,35	126,84	123,51

Відповідно до нічних показників, маємо зазначити: постійне зменшення споживання ЕЕ, що підтверджують отримані розрахунки. Найбільше зменшення відповідає періоду 2021-2022 рр. й становить – 4551 од. цьому відповідає значення показника – темп приросту ланцюговий, що становить -0,26.

Проведений аналіз засвідчив загальне зниження споживання ЕЕ, як в денний так й в нічний періоди.

Опрацьований статистичний матеріал дозволив дійти наступних висновків: загальні аналітичні розрахунки щодо підземного обсягу споживання ЕЕ вказують на менші коливання відносно поверхневого. Добові коливання стосовно підземного й поверхневого споживання ЕЕ не мають однозначної відповіді, тобто для більш ретельного аналізу необхідно збільшити обсяг статистичної інформації.

РОЗДІЛ 2

АСПЕКТИ ІНТЕГРАЦІЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

2.1 Визначення видів, місць локацій та очікуваного потенціалу генеруємих рівнів електричних потужностей локальними автономними джерелами живлення

Підземні гірничорудні підприємства з видобутку ЗР (шахти, рудники) в Україні, як правило, розташовуються в межах міст та інших видів населених пунктів. Така локація даних підприємств, в реаліях технології їх існування, обмежує, в певній мірі, потенціал територій, котрі потенційно можуть бути задіяні для відведення, в необхідному обсязі, площі земельних ділянок в межах займаємих ними промайданчиків, що, в свою чергу, обмежує енергетичний та технічний потенціал АДГЕ та рівень його задіяності для розташування на цих, законодавчо виведених з кадастрів землекористування, площах АДГЕ [13, 28].

Останнє, поряд зі специфікою технології функціонування цих підприємств, в значній мірі корелює з обмеженням обсягів встановлення електрогенеруючих потужностей – для необхідного, або бажано – досяжного рівня генерації ЕЕ.

Окрім цього, до існуючих ускладнень, в природній обмеженості потенціалу генерації ЕЕ, як зазначалось в попередньо викладених матеріалах, дані види підприємств відносяться до енергоємних видів виробництв зі значними по рівнях потужності споживачами ЕЕ, котрі задіяні в технології їх роботи. Проте, різновид та кількість таких споживачів не значна.

Доповнюючи останній тезис, в контексті допустимої упередженості тактики розбудови СК енергопотоків в аналізуємих варіантах СЕП, зазначимо, що на діючий період часу, функціонування гірничорудних підприємств, сегменти обсягів в загальному рівні споживання ними ЕЕ в денні години доби більше за нічні. При цьому для споживачів поверхні ця пропорція виглядає не так категорично.

На рис. 2.1 наведена обгрунтована структура варіативності АДГЕ для синергетичного їх застосування в структурах внутрішніх СЕП даних видів гірничих підприємств.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

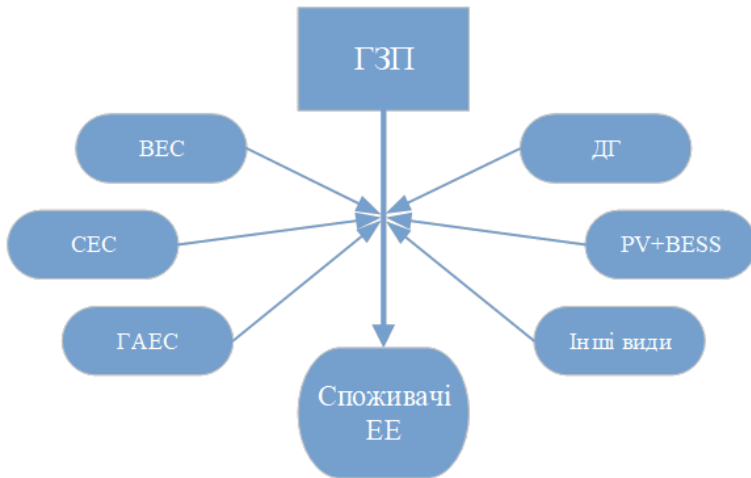


Рисунок 2.1 – Варіанти задіяння видів автономної генерації електроенергії для агрегативного включення їх в структуру внутрішніх електромереж з розподіленою генерацією для умов підземних залізородних підприємств, де: ГЗП – головна знижувальна підстанція; ВЕС – вітроенергетичні станції; СЕС – сонячні електростанції; ГАЕС – гідроакumuлюючі електростанції; ДГ – дизель-генератори; PV+BESS – мікромережі + системи накопичення енергії на акумуляторах

На рис. 2.2 наведено варіант розміщення АДГЕ на мапі типового варіанту промайданчика підземного залізородного підприємства з видобутку ЗР. При цьому, знову таки зазначимо, що специфіка цих підприємств, з процесом підземного видобутку ЗР, визначається і форматом розбудови їх промислових будівель в форматі цілісності технології їх функціонування.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

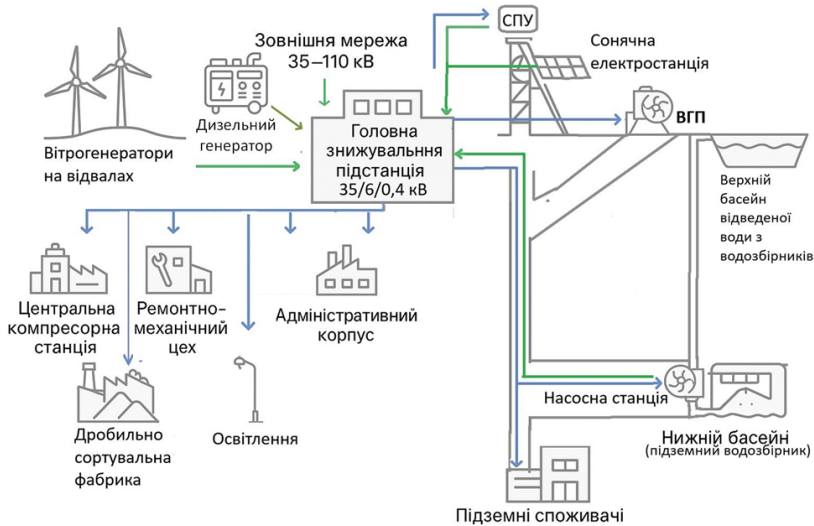


Рисунок 2.2 – Мапа варіанту розташування джерел відновлювальної генерації електроенергії в структурі систем електропостачання з розподіленою генерацією для умов гірничорудних підприємств з підземними способами видобутку залізної руди

Водночас, говорячи про можливі варіанти застосування АДГЕ слід враховувати і той факт, що підземні гірничі підприємства являють собою виробництва з високим ризиком для життя працюючих – гірників [2, 8, 18]. Тому розбудовуючи СЕП з розподіленою генерацією ЕЕ окрім варіантів, котрі базуються на природних, знову таки, альтернативних джерелах генерації ЕЕ потрібно розуміти необхідність мати аварійні джерела живлення, котрі можуть працювати незалежно від стану природних факторів, а при необхідності генерувати необхідний обсяг ЕЕ – мінімум для роботи клітьових підйомів гірників з підземних виробок на поверхню. Такими АДГЕ, як приклад, можуть бути дизель-генераторні (ДГ) установки.

2.2 Класифікація та оцінювання варіантів пошуку оптимальних автономних джерел генерації електроенергії

З вбачанням позицій, які були зазначені вище, у відповідності до «Енергетичної стратегії України на період до 2050 року» загалом виділяються наступні основні напрямлення [1]:

1. Розвиток відновлювальної енергетики;
2. Мінімізація втрат ЕЕ в системах електропостачання-електроспоживання;
3. Зниження обсягів споживання ЕЕ (підвищення електроенергоефективності).
4. Впровадження інтелектуальних СЕП: Smart grid та micro grid систем.

Ця стратегія передбачає розвиток та впровадження ВДЕ, зокрема, визначає індикативні показники майбутнього їх розвитку. Серед них – досягнення частки 27 % енергії, виробленої з ВДЕ, до 2030 року у валовому кінцевому споживанні енергії, 70 % енергії з ВДЕ у загальному первинному постачанні енергії до 2050 року та наближення до кліматичної нейтральності до 2060 року [1].

Завдання забезпечення енергетичної безпеки, енергетичної незалежності та кліматичної нейтральності держави планується реалізувати за рахунок нарощення потужності генерації з ВДЕ.

Для залізорудної промисловості Криворізького регіону і, в першу чергу, залізорудних шахт, впровадження АДГЕ, і, перш за все, ВДЕ – це не лише «еко-акція», а стратегічний крок до підвищення енергетичної стійкості, зниження операційних витрат (витрати на паливо для ДГ); технічне обслуговування ДГ (масло, фільтри, ремонт); зарплата персоналу, що обслуговує генератори; планові огляди, запчастини) та викидів, а також до підвищення інвестиційної привабливості й конкурентоспроможності продукції на експортних ринках. На національному рівні існує політично-фінансова підтримка зеленої трансформації, а технічні особливості та масштаби споживання Кривбасу роблять такі інвестиції практично досяжними й економічно виправданими.

Чому це важливо – ключові драйвери:

1. Енергетична безпека і стійкість роботи при ризиках пошкодження мережі. Під час частих пошкоджень енергосистеми й ризиків від воєнних дій розподілені джерела (СЕС, ВЕС + батареї /

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

мікромережі) дозволяють підтримувати критичні процеси шахт і зменшити залежність від зовнішньої мережі або ДГ.

2. Зниження експлуатаційних витрат (особливо дизпалива) та волатильності цін. Встановлення СЕС, ВЕС або мікромереж зменшує витрати на паливо та транспорт дизеля для автономного живлення, особливо в умовах підйому цін і логістичних складнощів. (звіти і практики в Україні показують позитивну економіку для проєктів з акумулюванням ЕЕ у віддалених або пошкоджених мережах).

3. Вимоги та стимули національної політики і фінансування зеленого переходу. Україна затвердила масштабні плани та інвестиційні програми для нарощування ВДЕ до 2030 року, а міжнародні інститути (EBRD, донори) активно фінансують реконструкцію енергосектора – це створює можливості кредитування/грантів для промислових проєктів.

4. Зниження викидів і репутаційні/ринкові переваги. Металургійна й гірничодобувна промисловість піддається дедалі більшому тиску щодо скорочення вуглецевого сліду – інвестиції у ВДЕ покращують екологічний профіль продукції (перевага при експорті, доступ до «зелених» кредитів).

5. Місцеві умови Кривбасу дають технічні можливості для реалізації. У регіоні працюють великі підземні копальні (ArcelorMittal, КЗРК тощо) з великим енергоспоживанням та об'єктами інфраструктури (цехи, склади, водойми), що дозволяє інтегрувати ВДЕ на покрівлях, кар'єрах, відвалах і створювати приватні мікромережі.

Існують також певні бар'єри та ризики впровадження ВДЕ:

- капітальні витрати та доступ до дешевих фінансів. Хоча є міжнародні програми, потрібні рішення по структурі фінансування і гарантіях (особливо для підприємств у зоні підвищеного ризику);

- операційні ризики через воєнні дії – потреба у фізичному захисті об'єктів і в страхуванні;

- обмеження мережі (пропускна здатність, формалізація підключення) – можуть ускладнити продаж надлишкової ЕЕ в мережу;

- питання регуляторики й гарантій купівлі ЕЕ – важливо коригувати договірні моделі для мобільних/приватних мікромереж;

Можливі практичні варіанти впровадження ВДЕ на шахтах Криворізького регіону:

- розміщення наземних/покрівельних сонячних станцій на промислових дахах, технічних майданчиках, кар'єрних просторах або над хвостосховищами (на гідрооборотах) – швидка окупність для ділянок з високим тарифом на ЕЕ або частковою автономією;

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

- розміщення ВЕС на відвалах відпрацьованих порід, які займають значні площі, що виведені з землекористування;
- розміщення вітроенергетичних установок (ВЕУ) для роботи на енергії незадіяних та відпрацьованих повітряних вентиляційних потоках;
- впровадження ГАЕС на основі водовідливних систем діючих або виведених (законсервованих) залізорудних шахт як пікових варіантів для покриття дефіциту та вирівнювання графіків електричних навантажень в годинах доби. Сутність даного рішення заключається в ідеї викачування води з нижніх на верхні горизонти в години доби, коли діє дешевший тариф на ЕЕ і скид цієї води в години «пік» (дорожчий тариф) для генерації ЕЕ;
- мікромережі + системи накопичення енергії на акумуляторах (PV + BESS) для забезпечення безперервного живлення ланцюга безпеки (шахтні підйомники, вентиляція, насосні станції) під час відключень;
- електрифікація рухомої і стаціонарної техніки (електровози, навантажувачі, компресори) у поєднанні з ВДЕ – зниження споживання ДТ і викидів;
- використання відновлюваного тепла / теплових насосів / побічної теплоти у технологічних процесах або для обігріву адміністративних та сервісних приміщень;
- гібридні рішення з дизелем (оптимізація, щоб дизель працював тільки як резерв) – зменшує операційні витрати і час роботи ДГ.

Конкретні короткі рекомендації для залізорудних шахт України (план дій):

- провести енергоаудит і картування навантажень (які процеси критичні, які можна електрифікувати, пік-споживання);
- пілотна ВЕС, СЕС + BESS на одній шахті або цеху для забезпечення резервного живлення і зниження дизель-залежності – збір даних про реальну економіку;
- оцінити варіант приватної мікромережі для найбільш чутливих ліній (вентиляція, підйомники, насосні станції);
- працювати з міжнародними фінансовими інституціями та державними програмами (EBRD, донори, державні ініціативи щодо ВДЕ), щоб підготувати пакети для фінансування;

– включити ВДЕ у стратегію декарбонізації компанії – ціль на зменшення CO₂ і комунікацію для клієнтів/інвесторів.

2.3 Оцінювання загального енергетичного потенціалу джерел автономної генерації електроенергії в мережах з розподіленою генерацією для умов підземних гірничорудних підприємств

Враховуючи відносно невеликі масштаби потужності розосереджених джерел ЕЕ, вони не можуть повністю задовольнити потреби в енергії потужних підприємств. Її роль полягає в доповненні централізованої енергетики, використовуючи, в основному, місцеві енергетичні ресурси регіонів, підприємств які можуть мати різний набір джерел малої енергетики [29-30].

Економічно ефективним і більш привабливим є варіант децентралізованого енергопостачання шахти або групи шахт від власного АДГЕ з високим ККД і маневреністю. Таке джерело забезпечить прилеглі підприємства теплом і ЕЕ, собівартість вироблення якої буде нижче, ніж ціна у енергосистемі, і підвищить енергетичну безпеку за рахунок можливості функціонування шахти навіть при виникненні форс-мажорних обставин в енергосистемі. Але кожний такий варіант потребує детального техніко-економічного обґрунтування і вибору типу і потужності АДЕ.

Криворізький залізрудний басейн представлений гірничорудними підприємствами з видобутку природно багатих руд підземним способом, п'ятьма гірничо-збагачувальними комбінатами (Північний, Центральний, Південний, Інгuleцький, Полтавський) і гірничо-збагачувальним комплексом АрселорМіттал Кривий Ріг, які видобувають і переробляють бідні по вмісту заліза магнетитові кварцити.

Чотири з п'яти гірничо-збагачувальних комбінатів розташовані в Криворізькому залізрудному басейні. Це найбільший в Україні басейн багатих ЗР, головний гірничодобувний центр країни, розташований на території Дніпропетровської області.

Відпрацювання залізрудних родовищ в Кривбасі ведеться кар'єрами і шахтами, які залишають величезні пустоти (кар'єри), насипи – відвали (у шахт), з'являються складовані руди – величезні хвостосховища. У хвостосховищах складаються ті руди, процентний вміст елементів в яких нижче промислового, необхідного за технологією, або складаються відпрацьовані руди (хвости) після

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

вилучення корисних компонентів. Тут складаються іноді величезні кількості (до сотень і десятків тисяч тонн) такої руди, які займають площі до десятків і сотень тисяч квадратних метрів [13, 18, 28].

На ГРП, за технологією ведення робіт, передбачно такі гідротехнічні об'єкти: хвостосховища, дренажні споруди навколо хвостосховищ і в дамбі, ставків оборотного водопостачання, ставків-накопичувачів шахтних вод тощо [28, 31].

Відкрита розробка родовищ корисних копалин характеризується інтенсивним забрудненням атмосфери. При виконанні гірських робіт в повітряне середовище надходить значна кількість мінерального пилу і газів, в процесі машинного руйнування порід, буріння свердловин, вибухової відбійки, вторинного дроблення, різання гірських порід, навантаження, транспортування і вивантаження їх на прийомних пунктах або відвалах, руйнування дорожнього полотна при русі по ньому транспортних машин, ерозії поверхні відвалів, укосів уступів, кар'єрів.

За даними Мінприроди на сьогоднішній день в Україні налічується до 200 техногенних родовищ, на яких накопичено близько 25 млрд т твердих відходів. Ці техногенні утворення негативно впливають на природні ландшафти та екологічні умови, займаючи площу близько 230 тис. га родючих земель.

Як приклад можна розглянути ситуацію зі складуванням відходів збагачення залізистих кварцитів Кривбасу. У Кривбасі діє п'ять гірничо-збагачувальних комбінатів, які за період з 1961 року по теперішній час, складували відходи збагачення залізистих кварцитів в шести хвостосховищах: балка «Петрова» (Північний ГЗК) – 375 млн м³; балка «Лозуватка» (ЦГЗК) – 246 млн м³; «Войкове» (Південний ГЗК) – 106 млн м³; «Об'єднане» (Південний ГЗК, НКГОК) – 250 млн м³; балка «Грушувато» (Південний ГЗК) – 19 млн м³; «Миролюбівка» – 105 млн м³; «Миколаївка» (ІнГЗК) – 283 млн м³ [32].

Ці вищеперелічені зони, в перспективі, можуть бути використані як готові майданчики для встановлення АДГЕ.

Інша комплексна проблема пов'язана з нерівномірністю споживання і відповідної нерівномірністю вироблення ЕЕ енергосистемою [22, 29, 33]. Такі режими нерівномірного навантаження вкрай неекономічні як в енергетичному, так і в економічному відношенні, до того ж призводять до додаткових екологічно шкідливих викидів. Досягти споживання енергії «рівномірним графіком» дуже складно: у кожного споживача свої обсяги споживання, які пов'язані,

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

в першу чергу, з часом доби, а в промисловості - в основному, з особливостями технологічних процесів. Тому повинні застосовуватися різні економічні, організаційні, технічні заходи щодо стимулювання насамперед споживачів і енергосистем, а також вирівнювання добового графіка навантаження і попиту на енергію.

Аналіз результатів розрахунків річного числа годин використання максимуму активної потужності з урахуванням максимально можливого і економічно виправданого залучення електроприймачів, що дозволить здійснювати «глибоке» регулювання електроспоживання, свідчить про те, що максимум навантаження можна зменшувати до 3500-3000 год.

Для раціонального використання ЕЕ яка генерується при децентралізованому електропостачанні виникає аналогічна ситуація, як і для енергосистеми в разі централізованого електропостачання, при якому необхідно забезпечити найбільш рівномірний графік електричних завантажень підприємства, яке, практично, можливо досягти при $T_m = 6000-7000$ год і більше.

Таким чином, підприємство, електропостачання якого може здійснюватися як централізовано, так і децентралізовано, з метою економії паливно-енергетичних ресурсів має організувати режими електроспоживання для діапазону значенні $T_m = 3000-7000$ год. При цьому максимум активної потужності споживача може змінюватися в 2,3-2,5 рази [2-4].

Не відкидаючи інші досліджені варіанти в розрізі наукових пошуків [23-24, 34-35] розглянемо більш детально можливі варіанти впровадження ВДЕ, а саме розміщення ВЕС на відвалах відпрацьованих порід та СЕС на стволі (копрі) шахти.

2.3.1 Аналіз вітроенергетичного потенціалу на відвалах залізрудних шахт Криворізького регіону

Використовуючи статистичні дані було проведено аналіз середніх значення швидкості вітру по метеостанції м. Кривий Ріг, що зображено на рис. 2.3 [28].

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

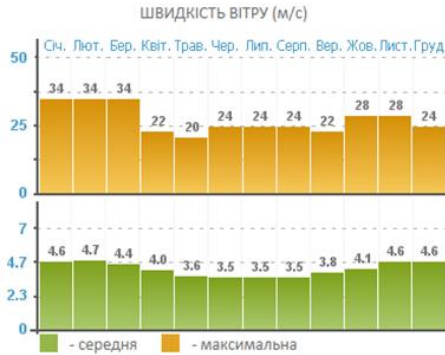


Рисунок 2.3 – Середньомісячна швидкість вітру

Виходячи з рис. 2.3 можна зробити висновок, що середньорічна швидкість вітру складає близько 4,1 м/с.

Раніше була розглянута можливість розташування електроенергетичної вітроустановки на відвалах кар'єрів гірничих підприємств [36].

Та як встановлення ВЕС планується на відвалах залізрудних шахт, то середньоперіодні швидкості вітру повинні бути перераховані на

$$\mathcal{G}_H = \mathcal{G}_n \left(\frac{H}{h} \right)^{\bar{m}}, \quad (2.1)$$

задану висоту відвалу (H) за формулою:

де $\bar{m} = 0,6 (\mathcal{G})^{-0,77}$, а \mathcal{G} - середньоперіодна швидкість вітру на висоті флюгера (h).

$$V_H = V_n (H/h)^m \quad (2.2)$$

де $m = 0,6 (V_n)^{-0,77}$, а V_n - середньоперіодна швидкість вітру на висоті флюгера (h).

Висота відвалу типової залізрудної шахти складає близько 70 м.

$$V = 4,1 \cdot \left(\frac{70}{10} \right)^{0,2} = 6,05 \text{ м/с.}$$

Власне вироблення ВЕУ протягом кожного місяця (N_{BEA}^{mic}) і року (N_{BEA}^{pic}) розраховується за формулами:

$$W_{BEA}^{mic} = \sum_{i=1}^k N_{BEA}(V_i) \cdot t_i(V_i) \cdot T_{mic}, \quad (2.3)$$

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

де $T_{міс}$ – число годин в розрахунковому місяці.

$$W_{BEA}^{pik} = \sum_{i=1}^k N_{BEA}(V_i) \cdot t_i(V_i) \cdot T_{pik}, \quad (2.4)$$

де $T_{pik} = 8760$ годин.

На вітчизняних ВЕС, побудованих на базі ВЕУ типу USW56-100, відстані між сусідніми ВЕУ в ряду становлять іноді 1,5-2,0 D 0 (у світовій практиці відстані менше 4D не практикуються). При напрямі вітру вздовж ряду агрегати працюють, як правило, через один для уникнення впливу взаємозатінення, тому отримати практичні результати для розташованих поряд ВЕУ досить складно. Більш стабільний результат можна отримати, порівнюючи роботу ВЕУ в різних рядах при фронтальному напрямі вітру, тобто при затіненні одного ряду іншим. До речі, такий напрям вітру спостерігається найчастіше, таке орієнтування рядів ВЕУ при проектуванні ВЕС [28, 38].

Для максимального використання вітрового потоку рекомендується розміщувати ВЕС рядами перпендикулярними переважному напрямку вітру на відстанні 4D одна від одної. Зате у випадку поздовжнього вітру ($\varphi 0 - \varphi \approx 0^\circ$) їх показники значно гірші. Так, втрата швидкості вітру на 20-30% спричинить зменшення потужності ВЕУ на 30-40% і більше, залежно від абсолютних значень швидкості вітру. Якщо ж напрям вітру може рівномірно змінюватися, то ВЕС доцільно розміщувати в шахматному порядку між сусідніми станціями 4D.

Тому це є важливим питанням, так як остаточна величина втрат виробітку ЕЕ залежить від того, наскільки переважаючий напрям вітру відповідає розташуванню рядів ВЕУ.

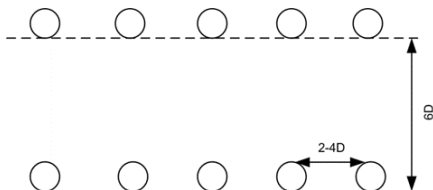


Рисунок 2.4 – Лінійна дворядка схема

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

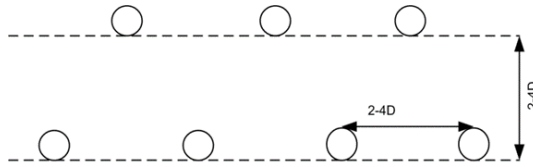


Рисунок 2.5 – Лінійна шахова рівномірна схема

Тоді, в першому випадку на площі S_T можна розмістити $S_T/(20D)^2$ установок, які дозволять отримати за рік ($T = 8760$ ч/год) енергію, яка рівна:

$$W_T = \frac{P_{cp}}{1000} \cdot T \cdot \frac{S_T}{(20D)^2} \quad (2.5)$$

або

$$W_T = \frac{\pi}{8000} D^2 \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n V_i^3 \cdot \eta(V_i) \cdot t_i \cdot T \cdot \frac{S_T}{(20D)^2} \quad (2.6)$$

У другому випадку можна розмістити $S_T/(100D^2)$ установок, яка забезпечать технічний потенціал енергії вітру території:

$$W_T = \frac{P_{cp}}{1000} \cdot T \cdot \frac{S_T}{100D^2} \quad (2.7)$$

або з урахуванням градації вітру V_i :

$$W_T = \frac{\pi}{8000} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n V_i^3 \cdot \eta(V_i) \cdot T \cdot \frac{S_T}{100D^2} \quad (2.8)$$

Як бачимо технічний потенціал вітрової енергії не залежить від діаметру і як наслідок від одиначної потужності вітроустановок.

Вибір потужності ВЕС в умовах залізрудних шахт.

Так як залізрудна шахта енергоємне підприємство, яке споживає тисячі ГВт ЕЕ щорічно, зі встановленою одиначною потужністю електроприймачів близько декількох МВт, то розглядати класичний вибір потужності ВЕС в залежності від споживача не раціонально в даному випадку.

Розрахуємо потужність повітряного потоку на відвалах залізрудної шахти за формулою:

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

$$P_n = 0,5 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot F \quad (2.9)$$

де ρ – густина повітря; v – середньорічна швидкість вітру; F – площа.

Беручи до рахунку те, що середня швидкість вітру за рік по метеостанції в м. Кривий Ріг складає 4,1 м/с то можна вирахувати середню швидкість за рік на відвалах шахти. Висота відвалу типової залізородної шахти складає близько 70 м, з урахуванням висоти мачти 75 м отримаємо:

$$V = 4,1 \cdot (145 / 10)^{0,2} = 6,99 \text{ м/с}$$

Враховуючи те, що площа типового відвалу складає близько 2500 тис. м² то потужність повітряного потоку на відвалах становитиме:

$$P_n = 0,5 \cdot 1,226 \cdot 6,99^3 \cdot 2500000 = 523397941 \text{ Вт} = 0,523 \text{ ГВт}$$

Враховуючи те, що робоча площа відвалу буде $S_{роб} = \frac{3}{4} \cdot S = 1875$ тис. м², а з технічних міркувань так як відвал робочий, то ВЕС зможуть займати не більше половини цієї площі:

$$S_{роб.ВЕС} = \frac{1}{2} \cdot 1875 = 937,5 \text{ тис. м}^2$$

Знаючи площу, яка може бути використана для ВЕС можемо розрахувати кількість установок, які можна розмістити (рис. 2.6).

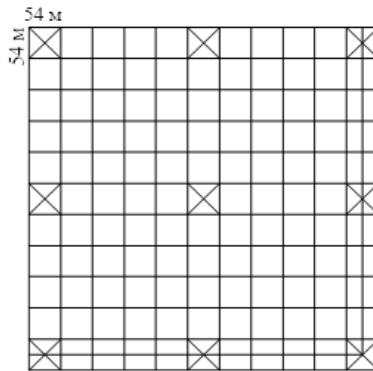


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема розташування ВЕСУ

Знаючи, що в регіоні, де знаходиться метеостанція переважний напрям вітру (рис. 2.7), тому доцільно розміщати ВЕСУ рядами перпендикулярними переважному напрямку вітру.

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

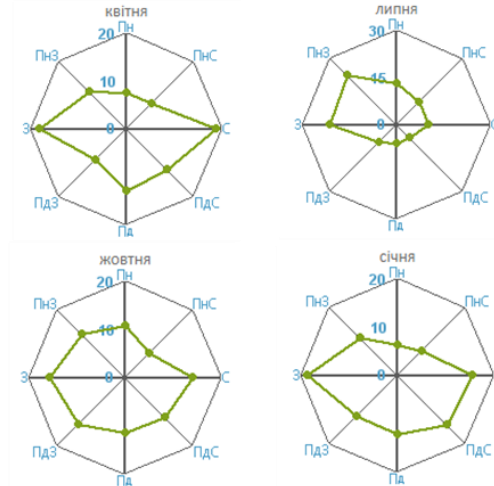


Рисунок 2.7 – Повторюваність напрямку вітру та штилю по метеостанції в м. Кривий Ріг

Обравши типовий вітрогенератор EWT Directwind 250/54 діаметр ротора вітрогенератора якого складає 54 м, а відстань між сусідніми ВЕУ повинна становити не менше 4D, площу для 4 ВЕУ розрахується наступним чином:

$$S_{4BEU} = 54 \cdot 54 \cdot 100 = 291600 \text{ м}^2$$

Звідки площа для однієї ВЕУ буде:

$$S_{1BEU} = \frac{291600}{4} = 72900 \text{ м}^2$$

$$S_{1BEU} = 54 \cdot 54 \cdot 25 = 72900 \text{ м}^2$$

Знаючи загальну робочу площу відвалу та площу, яка необхідна для роботи однієї ВЕУ, розрахується кількість ВЕУ, що можна встановити на заданій площі:

$$n_{BEU} = \frac{S_{роб.ВЕС}}{S_{1BEU}} \tag{2.10}$$

$$n_{BEU} = \frac{937500}{72900} \approx 12 \text{ шт.}$$

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

Можна встановити 12 вітрогенераторів EWT Directwind 250/54 загальною встановленою потужністю 3 МВт, характеристика якого представлена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні параметри вітрогенератора EWT Directwind 250/54

Номинальна потужність, кВт:	250
Діаметр ротора, м:	54
Омахувана площа, м ² :	2291
Кількість лопатей:	3
Початкова швидкість вітру, м/с:	2,5
Номинальна швидкість вітру, м/с:	9
Масимальна швидкість вітру, м/с:	25
Максимальна висота башти, м:	75

Далі на рис. 2.8 представлено графік виробітку потужності вітроенергетичною установкою EWT Directwind 250/54 в залежності від швидкості вітру.

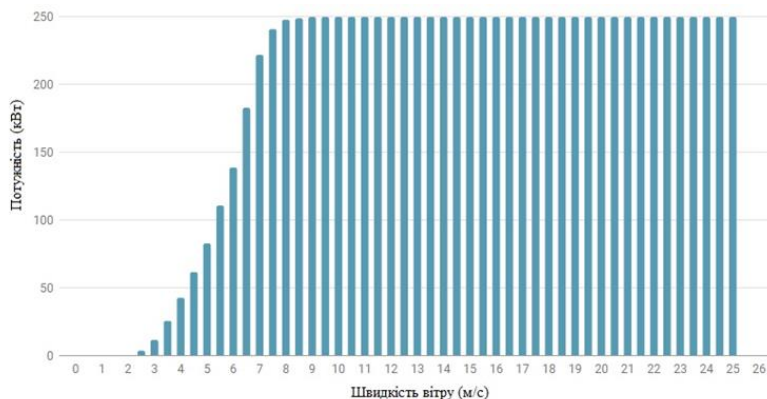


Рисунок 2.8 – Графік виробітку потужності вітроенергетичною установкою EWT Directwind 250/54

Розрахунок обсягів генерування ЕЕ.

Розрахувати потужність, яку виробляє одна вітроустановка, можна за формулою:

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

$$N_{\text{вк}} = \frac{\rho \cdot S \cdot v^3 \cdot \xi}{2}, \quad (2.11)$$

де ρ – густина повітря; S – площа, описана лопатями вітроколеса; ξ – коефіцієнт використання енергії вітру; v – середньперіодна швидкість вітру.

Площа описана лопатями вітроколеса:

$$S = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 27^2 = 2289 \text{ м}^2$$

$$N_{\text{вк}} = \frac{1,226 \cdot 2289 \cdot 6,99^3 \cdot 0,45}{2} \approx 215,650 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

З урахуванням того, що ККД обраного генератора становить 0,92, то потужність вироблена при швидкості повітряного потоку 6,99 м/с становитиме:

$$N_{\text{веву}} = N_{\text{вк}} \cdot \eta_{\text{г}} \quad (2.12)$$

де $N_{\text{вк}}$ – потужність вітрового колеса, кВт; $\eta_{\text{г}}$ – ККД генератора.

$$N_{\text{веву}} = 215,65 \cdot 0,92 = 198,398 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Розрахуємо кількість згенерованої ЕЕ за рік 12 установками:

$$N_{\text{вес}} = 12 \cdot N_{\text{вк}} \cdot T_{\text{р}} \quad (2.13)$$

де $T_{\text{роб}}$ – кількість годин роботи ВЕС за рік.

Кількість годин роботи вітроустановки за рік з коефіцієнтом попиту $K_n=0,8$:

$$T_{\text{роб}} = 8760 \cdot K_n = 8760 \cdot 0,8 = 7008 \text{ год}.$$

$$N_{\text{вес}} = 12 \cdot 198,398 \cdot 7008 = 16684478 \text{ кВт} = 16,68 \text{ ГВт} \cdot \text{год}.$$

Відповідно у місяць:

$$N_{\text{вес}} = \frac{16,68}{12} = 1,39 \text{ ГВт} \cdot \text{год}.$$

За добу:

$$N_{\text{вес}} = 12 \cdot 198,398 \cdot (24 \cdot 0,8) = 45710 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 45,71 \text{ МВт} \cdot \text{год}.$$

2.3.2 Аналіз сонячного потенціалу в умовах залізрудних шахт Криворізького регіону

Ідея заключається в тому, щоб розмістити фотоелектричну систему як комбінований набір: покриття технічних майданчиків/платформ навколо ствола (навіс), монтаж на даху

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

підйомної будівлі (копрі) та/або каркасні панелі на опорах поруч зі стволом, з інвертором і BESS в захищеному контейнері – щоб накопичувати надлишкову енергію від ВДЕ та у моменти пікового споживання віддавати її, щоб забезпечити резервне живлення критичних шахтних систем (вентиляція, підйом, насоси) та зменшити використання ДГ.

Варіанти розміщення (переваги / недоліки):

1. Навіс над технічним майданчиком ствола:

Переваги: додаткова тінь/захист обладнання, панелі використано як покриття; близькість до споживачів зменшує втрати.

Недоліки: потреба у міцному каркасі з урахуванням вітрових навантажень; складніше монтажне обладнання через доступ.

2. Покрівля підйомної будівлі (копра):

Переваги: мінімальні додаткові площі, легко під'єднати в будівельну електромережу.

Недоліки: обмежена площа, відповідно менша потужність; перевірка несучої здатності даху.

3. Наземна компактна польова установка поруч зі стволом:

Переваги: простіший монтаж, легший доступ для очищення та ремонту, можливість масштабувати.

Недоліки: займає площу; в зоні кар'єру може бути пил/забруднення.

4. Каркасні панелі/модулі на опорах прямо на шахтному відвалі або огороженій зоні:

Переваги: використовуються існуючі площі (відвали) – мінімальна конкуренція з іншими потребами.

Недоліки: нерівна поверхня, потреба підготовки ґрунту, додаткове кріплення.

Розглянемо більш детально 2 варіант встановлення сонячних панелей на стволі шахти (копрі).

Площа основи ствола типової шахти складає 576 м² (24х24м), але з урахуванням навісної конструкції можна використати площу 841 м² (29х29м).

Розглянемо декілька варіантів визначення можливої встановленої потужності сонячних панелей.

Варіант 1. Панелі потужністю 180 Вт.

Щоб розрахувати встановлену потужність сонячних панелей на певній площі потрібно наступні значення:

ИНТЕГРАЦИЯ ВИДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРИАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

1. Питома потужність сонячних панелей – тобто, скільки ват (Вт) встановлюється на 1 м² площі. Для стандартних кремнієвих панелей вона ≈ 170–200 Вт/м².

2. Коефіцієнт заповнення площі (щільність розміщення) – враховує відстані між панелями, нахили тощо. Він складає ≈ 0.7–0.85 (залежить від конфігурації установки).

Встановлена потужність розраховується за формулою:

$$W = S \cdot W_{\Pi} \cdot K_3 \quad (2.14)$$

Припустимо, що уопереднені значення складають $W_{\Pi} = 180$ Вт/м², $K_3 = 0,8$ отримаємо:

$$W = 841 \cdot 180 \cdot 0,8 = 121,1 \text{ кВт}$$

Тобто за типовими умовами на площі 841 м² можна встановити приблизно 121 кВт сонячних панелей.

Варіант 2. Розрахунок для конкретної моделі сонячних панелей, наприклад:

– Потужність однієї панелі: $W_1 = 410$ Вт.

– Площа однієї панелі: $S_1 = 1,9$ м².

1. Знаходимо кількість панелей, що можна встановити на площі 841 м²:

$$N = \frac{S}{S_1} = \frac{841}{1,9} = 442,6 \Rightarrow 442 \text{ панелі}$$

2. Обчислюємо встановлену потужність:

$$W = 442 \cdot 410 = 181,2 \text{ кВт}$$

Отже, на площі 841 м² можна розмістити 442 сонячні панелі по 410 Вт, що дає приблизно 181,2 кВт встановленої потужності, якщо повністю використати площу без втрат (що можливо на дахах чи рівних майданчиках із щільною установкою).

Припустимо, що через необхідність врахувати простір для монтажу, обслуговування та уникнення затемнення використовується коефіцієнт заповнення 0,8 (тобто 80% від загальної площі). Тоді ефективна площа, яку можна використовувати для розміщення панелей, становитиме:

$$S_{ef} = 841 \cdot 0,8 = 672,8 \text{ м}^2$$

Якщо одна панель займає 1,9 м², то кількість панелей, які можна розмістити на ефективній площі:

$$N = \frac{672,8}{1,9} = 354,1 \Rightarrow 354 \text{ панелі}$$

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

Якщо одна панель має потужність 410 Вт, то загальна встановлена потужність буде:

$$W = 354 \cdot 410 = 145,14 \text{ кВт}$$

Отже, за умов використання панелей 410 Вт (1,9 м² кожна) та врахування коефіцієнту заповнення 0,8 на площі 841 м² можна встановити приблизно 145,14 кВт сонячних панелей.

Визначити скільки ЕЕ зможе згенерувати сонячна електростанція певної потужністю за добу можна за формулою:

$$W_{\text{доб}} = W \cdot n_{\text{сер}}, \quad (2.15)$$

де W – встановлена потужність СЕС; $n_{\text{сер}}$ – середня кількість сонячних годин на добу.

Типові значення середньодобової сонячної генерації для України:

- влітку: 5–6 годин повної потужності на добу;
- восени/взимку: 1–2 год;
- річне середнє по Україні: 3,5–4 год/добу.

Відповідно середньодобова потужність генерації влітку (літній максимум):

$$W_{\text{доб}} = 145,14 \cdot 6 = 870,84 \text{ кВт}$$

Зимовий період (зимовий мінімум):

$$W_{\text{доб}} = 145,14 \cdot 1,5 = 217,5 \text{ кВт}$$

Річне середнє:

$$W_{\text{доб}} = 145,14 \cdot 3,8 = 551,5 \text{ кВт}$$

В середньому в місяць СЕС буде генерувати:

$$W_{\text{міс}} = 551,5 \cdot 30 = 16545 \text{ кВт} = 16,54 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$$

Отже, у середньому за добу СЕС встановленою потужністю 145,14 кВт може згенерувати близько 551,5 кВт·год., за місяць 16,54 МВт·год.

2.3.3 Аналіз гідроенергетичного потенціалу залізрудних шахт Криворізького регіону

В Україні товарна ЗР видобувається на 11-ти підземних підприємствах (шахтах, комбінатах) [2-4, 38].

Аналіз по роках показує недостатньо високий ступінь взаємозв'язку між обсягами видобутку ЗРС і обсягами електроенергоспоживання, що може бути обумовлено як технологічною

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

складовою, тобто внутрішніми факторами, так і зовнішніми, визначальними синергетичними складовими цього процесу.

Водовідливні (дренажні) установки за призначенням поділяються на головні (центральні), допоміжні (дільничні) і тимчасові (прохідницькі). До головних відносяться установки, призначені для своєчасного і постійного відкачування води і відкачування всього або більшої частини очікуваного припливу води до гірничих виробіток. При великій протяжності шахтних полів може використовуватися кілька головних водовідливних установок. На шахтах використовуються дві – три головні водовідливні установки. Вони розміщені на двох – трьох горизонтах. Головний водовідлив кожної шахти складається з 4-х ступенів, яка включає в себе: водозбірники, насосну камеру, камеру підстанції і т.д. Насоси працюють не постійно, а включаються раз або кілька разів на добу для відкачування води. Коли водозбірники мають достатній об'єм для накопичення води, то відкачування води здійснюється повністю у нічний час (ш. Гвардійська). Коли цей обсяг не достатній для збору всієї води, то персонал змушений включати водовідливні установки і в денний час (ш. Батьківщина і ш. Жовтнева) [39].

Відомо, що застосування для цих цілей споживачів-регуляторів, в якості яких на гірничих підприємствах досить часто використовують водовідливні установки. Максимальний ефект досягається, якщо в години максимальної генерації джерелом розосередженої генерації, вода повністю відкачується, а в інші години доби насоси не включаються. Але для цього необхідно мати достатній обсяг водозбірників і запас продуктивності насосів [40].

На доповнення до цього, постає інтерес застосування гідрогенераторів-акумуляторів, які працюють разом з насосними установками шахт і кар'єрів. При цьому в години максимуму енергосистеми генератор виробляє ЕЕ за рахунок енергії води, яка спускається з поверхні шахти або кар'єру, поповнюючи водозбірник. Потенційна енергія води, яка знаходиться на поверхні шахти або кар'єра обчислюється за формулами [39-40]:

$$W_{вод} = m \cdot g \cdot h, \quad (\text{Дж}) \quad (2.16)$$

$$W_{вод} = \frac{m \cdot g \cdot h}{3,6 \cdot 10^6}, \quad (\text{кВт} \cdot \text{год}) \quad (2.17)$$

$$W_{вод} = \frac{V \cdot h}{360} \quad (\text{кВт} \cdot \text{год}) \quad (2.18)$$

ИНТЕГРАЦИЯ ВИДНОВЛЯВАЛЬНЫХ АВТОНОМНЫХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

де m – маса води, кг; g – прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$;
 H – статичний напір або різниця геодезичних відміток, м.

У гідрогенераторній установці енергія води перетворюється в
 ЕЕ:

$$W_{el} = W_{вод} \cdot \eta_{ген} \quad (\text{кВт}\cdot\text{год}) \quad (2.19)$$

де $\eta_{ген}$ – сумарний ККД гідрогенераторної установки.

Потужність, яка передається в електричну мережу в години
 максимуму (наприклад $t_{\max} = 6$ годинам):

$$P_{ген} = W_{el} / t_{\max} = W_{el} / 6 \quad (\text{кВт}\cdot\text{год})$$

Цю ж кількість води буде потрібно відкачати насосними
 установками, для цього буде потрібно затратити ЕЕ, яку можна
 обчислювати за допомогою співвідношення:

$$W_{нас} = W_{вод} \cdot \eta_{нас} \quad (\text{кВт}\cdot\text{год}) \quad (2.20)$$

де $\eta_{нас}$ – сумарний ККД насосної установки.

Потужність, використана з мережі в години мінімуму (наприклад
 $t_{\min} = 7$ годинам):

$$P_{викор} = W_{нас} / t_{ніч} = W_{нас} / 7 \quad (\text{кВт}\cdot\text{год})$$

Вартість ЕЕ в години максимальної генерації:

$$B_{\max} = W_{el} \cdot C_{\max}$$

Вартість ЕЕ в години мінімальної генерації:

$$B_{ніч} = W_{нас} \cdot C_{\min}$$

Економія в оплаті ЕЕ дорівнює різниці вартості в години
 максимуму електроспоживання і нічний час, тобто:

$$\Delta B = B_{\max} - B_{\min} = W_{el} \cdot C_{\max} - W_{нас} \cdot C_{\min},$$

де C_{\max} – ціна на 1 кВт·год в години максимуму споживання в
 енергосистемі; C_{\min} – ціна на 1 кВт·год в нічні години.

З урахуванням складових вираз можна записати наступним
 чином:

$$\Delta B = m \cdot g \cdot H / 3,6 \cdot 10^6 (C_{\max} \cdot \eta_{ген} - C_{\min} / \eta_{нас}) \quad (\text{грн})$$

Беручи до уваги наведені раніше результати досліджень, щодо
 можливості впровадження ВДЕ в умовах ГЗК [31, 38], можна зазначити
 актуальність та наявність підґрунтя для впровадження МГЕС в СЕП
 ГЗК.

При підземному водовідливів в кар'єрі вода перекачується або
 відводиться в спеціальні дренажно-водовідвідні вироблення (штреки),
 пройдені з ухилом у бік водозбірника з насосною камерою, звідки вона

відкачуються насосами на поверхню через водовідливні стволи або свердловини в поверхневі потоки або водойми. При цьому використовуються, в основному, ті ж самі насоси.

Розглянемо енергетичні складові процесу функціонування мікрогідроакумулюючих станцій в умовах залізрудних підприємств.

Приплив води водозбірника визначається за швидкістю його наповнення або його частини за формулою [39-40]:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (2.21)$$

де V , m^3 – об'єм водозбірника або його частини, підлягає наповненню; t , s – час наповнення.

Відповідно до методу гідрогеологічних аналогій, які застосовуються в простих гідрогеологічних умовах, оцінка притоку води в гірничі виробки визначається за формулою [23, 39-40]:

$$Q = Q_1 \cdot \frac{S}{S_1} \cdot \sqrt{\frac{H}{H_1}}, \quad (2.22)$$

де Q_1 , m^3/s – фактичний приплив до діючих виробкам, прийнятим в якості аналога, $m^3/год$; S та S_1 – площа проектних очисних виробок та їх аналогів, m^2 ; H – глибина проектних виробок, m , H_1 – глибина діючих виробок, m .

Енергію водотоку за час t на виділений ділянці водовідливу між перетинами горизонтів можна визначити як різницю енергії потоку в цих горизонтах на підставі рівняння Бернуллі [23, 39-40]:

$$E_v = \rho \cdot g \cdot W \cdot \left(Z_1 - Z_2 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} - \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{\beta_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} - \frac{\beta_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} \right), \quad (2.23)$$

або

$$E_v = \rho \cdot g \cdot W \cdot (Z_1 - Z_2) + W \cdot (P_1 - P_2) + 0,5 \cdot \rho \cdot W \cdot (\beta_1 \cdot v_1^2 - \beta_2 \cdot v_2^2), \quad (2.24)$$

де E_v – енергія водотоку на виділеній ділянці, Дж; t – час, s ; g – прискорення вільного падіння, $9,81 m/s^2$; ρ – густина рідини, kg/m^3 (для водотоків з чистою прісною водою $\rho = 1000 kg/m^3$); W – обсяг стоку води, m^3 ; Z_1 і Z_2 – геометрична висота над площиною порівняння в горизонтах, m ; P_1 і P_2 – тиск в перетинах горизонтів, Па; v_1 і v_2 – середня швидкість води в горизонтах, m/s ; β – коефіцієнт кінетичної енергії (Коріоліса).

Таким чином потужність протоку води водовідливу можна визначити з формули:

$$N_v = \frac{E_v}{t} \quad (2.25)$$

А генерована ЕЕ мікрогідроакумуляуючою станцією в умовах залізорудної шахти визначається з формули (2.25), при врахуванні сумарного коефіцієнту корисної дії:

$$N_g = \rho \cdot g \cdot \frac{W}{t} \cdot (Z_1 - Z_2) \cdot \eta, \quad (2.26)$$

де η – сумарний коефіцієнт корисної дії мікрогідроакумуляуючої станції.

2.3.4 Аналіз потенціалу незадіяного (відпрацьованого) вентиляційного потоку у виробках залізорудних шахт

Шахтна вентиляційна мережа – це сукупність: гірничих виробіток і споруд, вздовж яких рухається повітря; виробіток, вентиляційних споруд і вироблений простір, через які просочується повітря в кількості, яке забезпечує необхідний вплив на провітрювання шахти [3, 17, 22, 38].

Шахтна вентиляційна система характеризується:

- схемою руху повітря в мережі;
- аеродинамічним режимом повітряних течій;
- інтенсивністю вентиляційного процесу (обміну і перенесенням маси і енергії).

Головними параметрами шахтної вентиляційної системи є:

- концентрація шкідливих домішок в шахтній атмосфері;
- об'ємний розподіл повітряних потоків (розподіл повітря в шахтній мережі);
- аеродинамічний опір гірських виробіток і споруд;
- депресія джерел природної та штучної тяги.

Шахтна вентиляційна система, зазвичай, знаходиться в квазістаціонарному стані (в середньому є стаціонарною).

Природної тягою називається рух повітря під дією природних причин, таких як [3, 15, 17, 22, 38]:

- різна густина повітря;
- швидкісного тиску вітру;
- рух води.

Природна тяга в шахтах може виникати в слідуючих умовах:

- при наявності декількох виходів на земну поверхню, особливо якщо ці виходи знаходяться на різних висотних відмітках;
- в окремих виробітках при різній густині повітря по периметру виробітки.
- між окремими горизонтами, якщо повітроподавальних стволів кілька.

Різниця тисків, обумовлена природним причинами, називається деспресією природної тяги. Вона в значній мірі залежить від добових і річних коливань температури повітря [3, 15, 17, 22, 38].

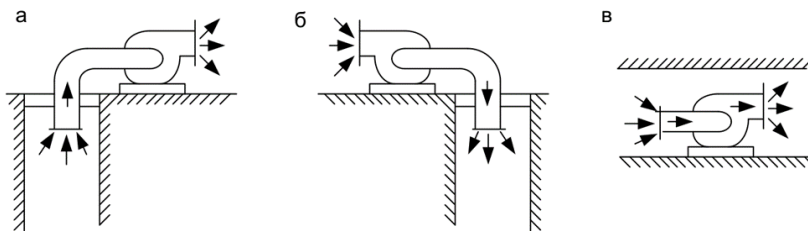


Рисунок 2.9 – Схеми включення вентилятора в мережу при роботі на:
а – всмоктування; б – нагнітання; в – всмоктування і нагнітання

При цьому витрати вентилятора рівні:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (2.27)$$

А загальна деспресія складається з деспресій всіх вентиляторів:

$$h_{\text{заг}} = h_1 + h_2 + h_3 \quad (2.28)$$

Для визначення витрати і деспресії двох послідовно працюючих вентиляторів, необхідно по їх індивідуальних характеристиках побудувати сумарну характеристику. Для цього на графік наносяться характеристики 1 і 2 вентиляторів і при 10-15 значеннях дебіту складаються деспресії вентиляторів.

Таким чином, послідовна робота вентиляторів різного типорозміру призводить до збільшення деспресії вентиляторів тільки при високому опорі вентиляційної мережі, при цьому, збільшення витрат, як правило, виявляється незначним. Крім цього, при спільній роботі вентиляторів важче, ніж при одиночній, забезпечити відповідність режимів на ділянках які характеризуються з високим ККД [3, 15, 17, 22, 38, 41].

При паралельній роботі вентиляторів потоки повітря від окремих вентиляторів зливаються і утворюють загальний потік.

В цьому випадку загальний обсяг повітряного потоку на ділянці АВ дорівнює сумі витрат вентиляторів:

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 \quad (2.29)$$

Таким чином, на рис. 2.10 запропоновано способи розміщення ВЕУ в умовах шахт для роботи на енергії незадіяних та відпрацьованих повітряних вентиляційних потоках:

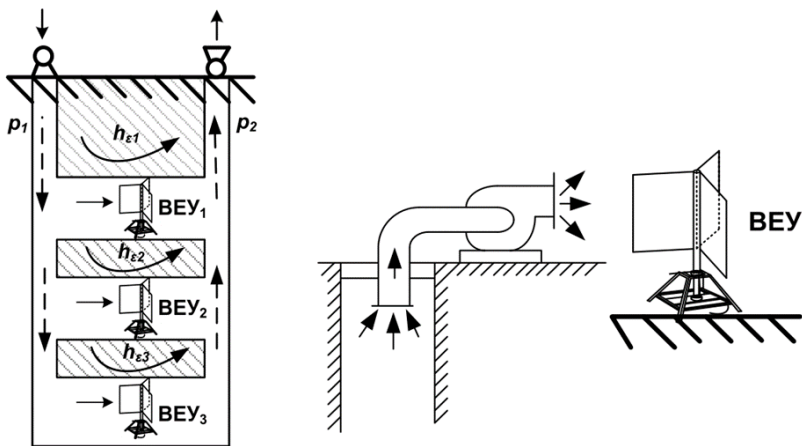


Рисунок 2.10 – Способи розміщення вітроенергетичних установок в умовах шахт для роботи на енергії незадіяних та відпрацьованих повітряних вентиляційних потоках

2.4 Визначення оптимального рівня інтеграції автономних джерел генерації електроенергії до енергетичних мереж залізорудних шахт

Як обгруновано вище, у середньому ВЕС встановленою потужністю 3 МВт за добу може згенерувати близько 45,71 МВт·год. ЕЕ, за місяць – 1,39 ГВт·год. В свою чергу, СЕС встановленою потужністю 145,14 кВт за добу може згенерувати близько 551,5 кВт·год., за місяць – 16,54 МВт·год.

В табл. 2.2 представлено потенційно можливі потужності АДГЕ в умовах підземних гірничорудних підприємств.

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

Таблиця 2.2 – Потенційно можливі електричні потужності АДГЕ в умовах підземних гірничорудних підприємств

№ з/п	Вид АДГЕ	Потужність генерації, МВт·год./доба
1	ВЕС на відвалах	45,71
2	СЕС на копрі	0,5515
3	ГАЕС	160
4	Вентиляційні ВЕУ	достатньо обмежена потужність
5	PV + BESS	необмежена
6	ДГ	необмежена

Обсяги споживання ЕЕ споживачами поверхневого комплексу шахти №9 за місяць:

1. Енергоцех – 4148586 кВт·год=4,148 ГВт·год.
2. Освітлення – 150000 кВт·год=150 МВт·год.
3. Адміністрація – 35000 кВт·год=35 МВт·год.
4. РМЦ – 17000 кВт·год=17 МВт·год.
5. Σ = 1467776 кВт·год=1,467 ГВт·год.

Підземна група споживачів: Σ = 1703511 кВт·год=1,703 ГВт·год.

Відповідно до реальних даних споживання ЕЕ споживачами шахти та орієнтовними рівнями генерації ЕЕ від ВЕС та СЕС отримуємо наступні розрахунки:

- Місячне споживання (сумарне) = 4350,586 МВт·год/місяць
- Місячна генерація сумарно = 1390 + 16,54 = 1406,54

МВт·год/місяць

- Частка покриття = $1406,54 / 4350,586 \approx 0,3235 \approx 32,4 \%$

– Покриття $\approx 32\%$ – тобто за поточних параметрів ВЕС+СЕС покривають $\sim 1/3$ місячного енергоспоживання.

Дефіцит $\approx 68\%$ (≈ 2944 МВт·год/місяць) – потрібно або додавати потужності ВДЕ, або значно зменшувати споживання/перерозподіляти навантаження, або покладатися на мережу/ДГ.

СЕС у цьому балансі майже незначна (лише 16,5 МВт·год/місяць) – її роль більше локальна (освітлення/адміністрація) ніж енергетична заміна для енергоцеху.

Ризики: залежність від вітру (інтермитентність), нічний час/слабкий вітер – без BESS великі піки дефіциту. Якщо ВЕС дає більшість енергії – треба перевірити надійність роботи ВЕС (фактичний

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

коефіцієнт використання встановленої потужності), доступність середньомісячних показників.

Рекомендації щодо даної інтерпретації:

– Пріоритезація навантажень: виділити критичні лінії (вентиляція, підйом, насоси) і живити їх у пріоритеті від ВЕС/ВЕСС.

– ВЕСС: для підвищення надійності і вирівнювання добових коливань – ВЕСС з енергією, що дозволяє покрити мінімум 2-4 години пікового навантаження критичних споживачів. (Потрібні дані по потужностях у кВт критичних ліній для точного підбору).

– Збільшення СЕС – у поточному вигляді СЕС дає мало; має сенс або, за можливості, масштабувати СЕС, або перенаправити інвестиції в додаткові ВЕС / ВЕСС.

– Операційні заходи: перенесення енергоємних навантажень у періоди пікової генерації ВЕС (якщо це можливо за технологією).

– Резервний дизель/мережа – залишити як резерв для тривалих періодів низької генерації; налаштувати автоматичне АВР.

Для забезпечення оптимального рівня інтеграції ВДЕ до енергетичної мережі шахти можна виділити наступні уніфіковані превентивні заходи:

1. Отримати годинний профіль навантажень (24-годинний по кожному типу споживача) – без цього неможливо конкретно підбирати ВЕСС і інвертори;

2. Провести аналіз надійності ВЕС: розподіл за місяцями, коефіцієнт використання встановленої потужності, екстремальні періоди малої генерації;

3. Визначити список критичних навантажень (кількість кВт, що мають працювати при аварії) – для розрахунку потрібної потужності ВЕСС (кВт) та енергії (кВт·год);

4. Пропозиція типової ВЕСС-стратегії:

– Для забезпечення 2-4 годин автономії критичних навантажень → $ВЕСС (кВт) = (сума\ потужностей\ критичних\ ліній, кВт) \times (години\ автономії)$;

– Для підвищення власного споживання та зрізання піків навантаження – ВЕСС розміром 0,25–1 від добової середньої генерації ЕЕ від ВДЕ.

5. План взаємодії з ДГ: дизель як «застереження», автоматичне вмикання при падінні заряду батарей нижче мінімального рівня;

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

6. Моніторинг, SCADA, прогнозування генерації (особливо для ВЕС) – прогноз погоди + прогноз генерації для оптимізації передачі ЕЕ/заповнення BESS;

7. Технічні заходи: захисти від зворотного струму, АВР, мікромережеві контролери для автономного режиму.

Якщо мета – підвищити надійність критичних споживачів (вентиляція/підйом), то необхідно:

- провести асесмент критичних потужностей.

- встановити BESS, що дає 2-4 год автономії для цих потужностей.

- налаштувати пріоритетне живлення з ВЕС → BESS → дизель/мережа.

Після аварійного відключення від зовнішньої мережі СЕС та ВЕС продовжують подавати ЕЕ, BESS підтримує піки і забезпечує резерв, ДГ вмикається лише за потреби. Це дозволяє шахті продовжувати роботу критичних споживачів без перебоїв навіть без підключення до основної мережі

Якщо ж мета – зменшити витрати на енергоцех, то необхідно:

- перенаправити значну частину потужності ВЕС на енергоцех (якщо це технічно можливо);

- розглянути збільшення встановленої потужності СЕС (коли потужність СЕС мала – її масштабування дасть додаткове покриття денної частини).

Не зважаючи на очевидні позитивні моменти застосування ВДЕ в системі електропостачання підземного залізрудного підприємства з розподіленою генерацією, як-то низька, практично нульова, вартість виробництва ЕЕ, є й очевидний негативний момент. Залежність виробництва ВЕС і СЕС від погоди в місці встановлення, що є причиною коливань генерації у часі. Частково це може знівелюватися застосуванням АКБ. Проте, це якщо в принципі зарядити АКБ вдається. Бо, наприклад, в зимовий період в м. Кривому Розі більша частина днів хмарна і інсоляція є недостатньою для забезпечення СЕС потрібної потужності для заряду.

Тому в системі має бути стабільне, у певній мірі, джерело енергії яким є ДГ. Він виробляє ЕЕ одразу змінного струму без коливань в генеруванні. Проте, його повноцінне застосування обмежує велика вартість пального. Тому залучення ДГ в систему розподіленої генерації вбачається, по-перше, як резервного живлення критичних електроприймачів підземного залізрудного підприємства, які потрібні

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

для безпеки проведення видобувних робіт, як-то вентилятори провітрювання, клітьовий підйом робітників, водовідлив, пожежна сигналізація тощо. По-друге, як пікового джерела, коли вартість виробництва кВт·год. ЕЕ ДГ перевищує тариф на ЕЕ електропостачальної компанії.

РОЗДІЛ 3

КОМПЛЕКС ВАРІАНТІВ СИНЕРГЕТИЧНИХ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

3.1 Особливості побудови комплексу електропостачання-електроспоживання в структурах синергетичного електроенергетичного комплексу гірничорудних підприємств

На рис. 3.1 зображена структурна схема синергетичного електротехнічного комплексу електропостачання залізорудних підприємств на базі джерел розосередженої генерації.

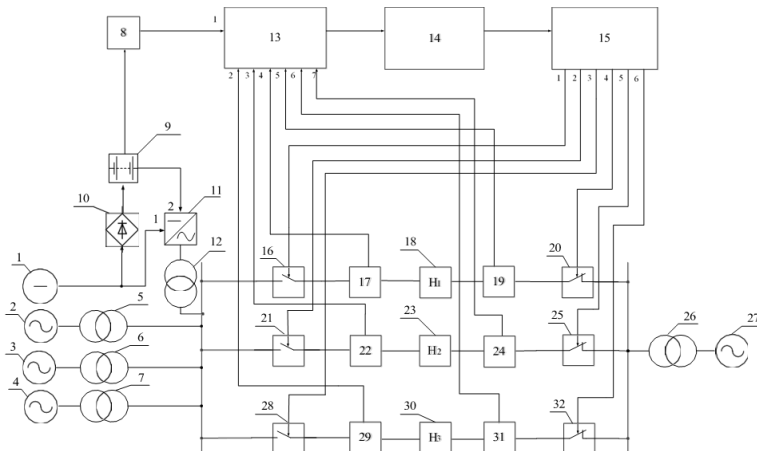


Рисунок 3.1 – Структурна схема електроенергетичного комплексу електропостачання залізорудних підприємств на базі джерел розосередженої генерації

На рис. 3.1 зображено: 1 – сонячна електростанція; 2 – вітроенергетична станція; 3 – мікрогідроелектростанція; 4 – гідроакumuлююча електростанція; 5 – перший трансформатор; 6 – другий трансформатор; 7 – третій трансформатор; 8 – система діагностики акумулятора; 9 – блок акумуляторних батарей; 10 – блок заряду акумуляторної батареї; 11 – інвертор; 12 – четвертий трансформатор; 13 – погоджуючий пристрій блоків датчиків; 14 – система керування електропостачання; 15 – погоджуючий пристрій системи керування електропостачання; 16 – перший керуючий

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

комутатор; 17 – перший блок датчиків; 18 – перший активний споживач; 19 – другий блок датчиків; 20 – другий керуючий комутатор; 21 – третій керуючий комутатор; 22 – третій блок датчиків; 23 – другий активний споживач; 24 – четвертий блок датчиків; 25 – четвертий керуючий комутатор; 26 – п'ятий трансформатор; 27 – мережа; 28 – п'ятий керуючий комутатор; 29 – п'ятий блок датчиків; 30 – третій активний споживач; 31 – п'ятий блок датчиків; 32 – шостий керуючий комутатор.

Принцип роботи інтелектуального електротехнічного комплексу наступний: ЕЕ, яка згенерована сонячною електростанцією (1) передається на спільну шину локальної СЕП промислового підприємства через керовані комутатори (16), (21), (27).

Сонячна електростанція (1) під'єднана до першого входу інвертора(11), а також з'єднаний через блок заряду акумуляторної батареї (10), який під'єднаний до блоку акумуляторної батареї (9). До блоку акумуляторної батареї (9) під'єднаний блок системи діагностики акумуляторної батареї (8) який з'єднаний з погоджувачим пристроєм блоків датчиків (13). Вихід блоку акумуляторної батареї (9) з'єднаний з другим входом інвертора(11), який перетворює електричну енергію із постійного струму на електричну енергію змінного струму. Інвертор (11) з'єднаний з четвертим трансформатором (12) який під'єднаний на спільну шину локальної СЕП промислових підприємств.

Електрична енергія, яка згенерована вітроенергетичною станцією (2) до якої під'єднаний перший трансформатор (5). Перший трансформатор (5) під'єднується на спільну шину локальної СЕП промислового підприємства, який призначений для узгодження рівня напруги, який заданий шиною локальної СЕП промислового підприємства. Перший трансформатор (5) передає електричну енергію на шину локальної СЕП через керовані комутатори (16), (21), (27).

Згенерована енергія гідроелектростанцією (3) до якої під'єднаний другий трансформатор (6). Другий трансформатор (6) під'єднується на шину локальної СЕП промислового підприємства, який призначений для узгодження рівня напруги, який заданий спільною шиною локальної СЕП промислового підприємства. Другий трансформатор (6) передає електричну енергію на спільну шину локальної СЕП через керовані комутатори (16), (21), (27).

Згенерована енергія гідроакумуляуючою електростанцією (4) до якої під'єднаний третій трансформатор (7). Третій трансформатор (7) під'єднується на спільну шину локальної СЕП промислового підприємства, який призначений для узгодження рівня напруги, який

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

заданий спільною шиною локальної СЕП промислового підприємства. Третій трансформатор (7) передає електричну енергію на спільну шину локальної СЕП через керовані комутатори (16), (21), (27).

Електрична енергія із спільної шини локальної СЕП промислових підприємств розподіляється по активних споживачах (18), (23), (29), через керовані комутатори (16), (21), (27).

Блоки датчиків (17), (19), (22), (24), (28), (30), які контролюють параметри струму, напруги та які знаходяться по обидва боки від активного споживача.

Керований сигнал із блоків датчиків (8), (17), (19), (22), (24), (28), (30), передається на погоджувачий пристрій блоків датчиків (13), який перетворює дані з датчиків в сигнал і передає сигнал на систему керування електропостачанням (14).

Керований сигнал із системи керування (14) передається на погоджувачий пристрій системи керування (15), який формує сигнал і передає сигнал на один із керованих комутаторів (16), (20), (21), (25), (27), (31).

Навантаження через керовані комутатори (20), (25), (31) під'єднано до мережі (26) та через керовані комутатори (16), (21), (27), а також під'єднано до шини локальної СЕП промислових підприємств. Мережа (26) під'єднується до активних споживачів (18), (23), (29), через керовані комутатори (20), (25), (31).

Якщо відбуваються аварійний режим, то блок (14) подає керуючий сигнал на блок погоджувачого пристрою системи керування (15), який відправляє сигнал на комутацію блоку керованого комутатора для підключення мережі (26) і живлення блоків (18), (23), (29), відбувається від блоку (26).

Якщо відбувається дефіцит генерованої потужності то блок (14) подає керований сигнал на блок погоджувачого пристрою системи керування (15) який відсилає сигнал на керовані комутатори (20), (25), (31) та відбувається підключення блоку мережі (26).

Після усунення аварійного режиму, блок (14) подає керований сигнал на блок (15) для підключення блоків (18), (23), (29) до тобто відбувається повернення до нормального режиму роботи.

Система має можливість регулювати роботу джерел ЕЕ, як додаткових джерел живлення, на одну спільну СЕП промислового підприємства, в результаті аварійної ситуації живлення відбувається від магістральної електромережі, система при необхідності може підключати та відключати певну кількість споживачів, з метою

ИНТЕГРАЦИЯ ВИДНОВЛЯВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

регулювання навантаження та ефективної роботи, що зумовлює підвищення надійності електропостачання і підвищує ефективність роботи комплексу.

Модернізація насосної станції гірничорудних підприємства.

За результатами проведених досліджень було розроблено та запропоновано модернізований електротехнічний комплекс насосної станції залізорудної шахти (рис. 3.2, 3.3).

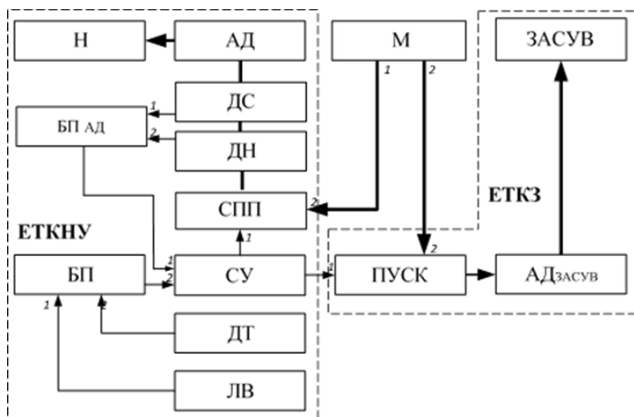


Рисунок 3.2 – Модернізований електротехнічний комплекс насосної установки залізорудної шахти

Електротехнічний комплекс насосної установки (ЕТКНУ) пояснюється кресленням, де: Н – насос; АД – асинхронний двигун; БП – блок погодження; БПАД – блок погодження АД; ДС – датчик струму; ДН – датчик напруги; ДТ – датчик тиску; ЛВ – лічильник води; СУ – система управління; СПП – система плавного пуску; ЗАСУВ – засувка; АДЗАСУВ – АД засувки; ПУСК – керований пускач АДЗАСУВ; М – мережа; ЕТКЗ – електротехнічний комплекс засувки.

1 вихід блоку М поєднаний з 2 входом блоку СПП. 2 вихід блоку М поєднаний з 2 входом блоку ПУСК. Вихід блоку АД поєднаний з входом блока Н. Вихід блоку АДЗАСУВ поєднаний з входом блоку ЗАСУВ. Вихід блоку ДС поєднаний з 1 входом блоку БПАД. Вихід блоку ДН поєднаний з 1 входом блоку БПАД. Вихід блоку ЛВ поєднаний з 1 входом блоку БП. Вихід блоку ДТ поєднаний з 2 входом блоку БП. Вихід блоку БП поєднаний з 2 входом блоку СУ. Вихід блоку

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

БПАД поєднаний з 1 входом блоку СУ. Вихід блоку СУ поєднаний з 1 входом блоку ПУСК. Вихід блоку СУ поєднаний з 2 входом блоку СПП.

Електротехнічний комплекс насосної установки працює наступним чином.

Асинхронний двигун живиться від мережі через систему плавного пуску обертає ротор насоса.

СУ збирає інформацію від датчиків ДС, ДН, ДТ, ЛВ.

За даними ДС через БПАД СУ визначає струм, що споживає АД.
За даними ДН через БПАД СУ визначає напругу на клеммах АД.

За даними ДТ через БП СУ визначає тиск в гідротранспортній системі.

За даними ЛВ через БП СУ визначає витрати води в гідротранспортній системі.

Асинхронний двигун засувки живиться від мережі через керований пускач та приводить до руху засувку.

На рис. 3.3 зображена структура електротехнічного комплексу НС, яка складається з 9 насосів.

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

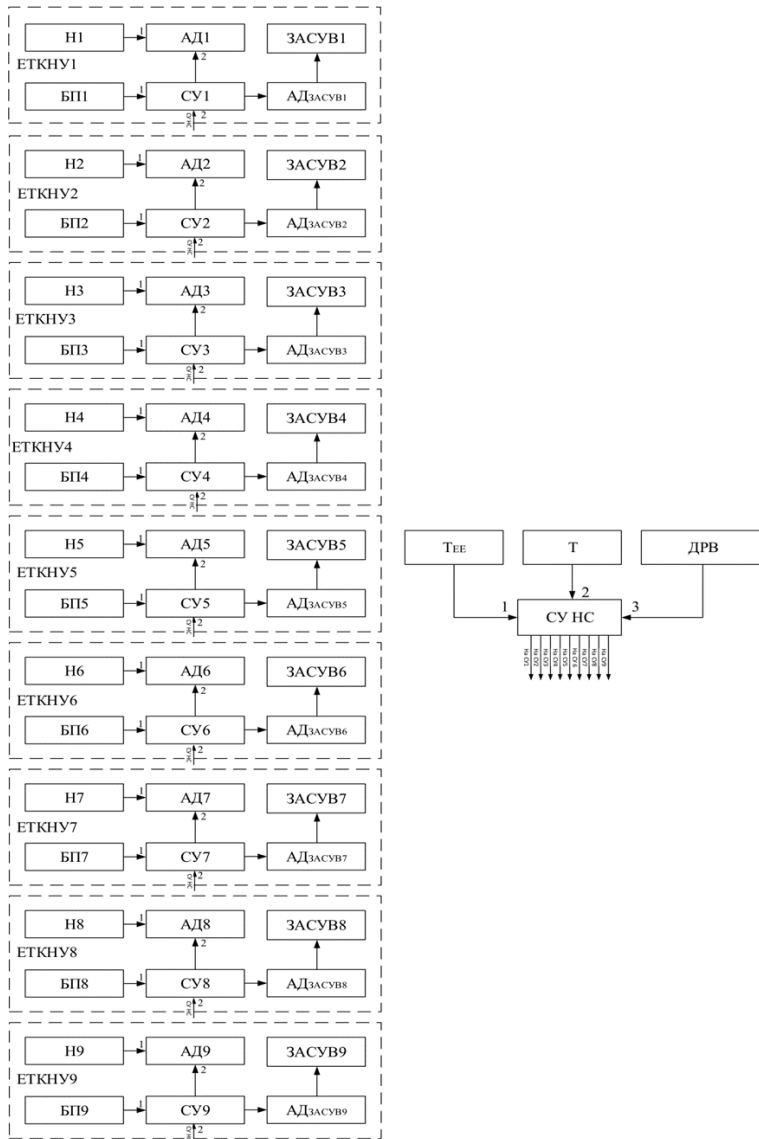


Рисунок 3.3 – Модернізований електротехнічний комплекс насосної станції залізорудної шахти

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

Електротехнічний комплекс НС пояснюється кресленням, де: Н – насос; АД – асинхронний двигун; ЗАСУВ – засувка; АДЗАСУВ – АД засувки; БП – блок погодження; СУ – система управління; СУ НС – система управління насосної станції; Т – таймер; ТЕЕ – тариф на ЕЕ; ДРВ – датчик рівня води.

Вихід блоку Теє поєднаний з 1 входом блоку СУ НС. Вихід блоку Т поєднаний з 2 входом блоку СУ НС. Вихід блоку ДРВ поєднаний з 3 входом блоку СУ НС. Вихід блоку СУ НС поєднаний з входом блоку СУ1. Вихід блоку БП1 поєднаний з 1 входом блоку СУ. Вихід блоку СУ поєднаний з входом блоку АДЗАСУВ. Вихід блоку СУ поєднаний з 2 входом блоку АД1. Вихід блоку АДЗАСУВ поєднаний з входом блоку ЗАСУВ. Вихід блоку Н1 поєднаний з 1 входом блоку АД1.

Аналогічно поєднані блоки інших ЕТКНУ.

Електротехнічний комплекс насосної станції працює наступним чином.

На блок СУ НС надходить інформація від датчика рівня води, Теє, Т.

СУ НС подає керований сигнал на СУ1. Система управління подає керований сигнал на АД, який обертає ротор насоса.

АД засувки живиться від мережі та приводить до руху засувку.

Через БП1 СУ отримує дані для прийняття рішень.

Робота схеми заснована на принципі пуску і зупинки насосів в залежності від рівня рідини в контрольованому резервуарі, з якого виробляється відкачка. Для контролю заповнення зумфра (резервуара) рідиною застосовується електродний датчик рівня ДУ.

Також, в умовах підземних виробок залізрудних шахт та кар'єрах, є можливість використання ВЕУ для заряду тягових акумуляторних батарей в умовах підземних виробок залізрудних шахт [38]. Запропонована система актуальна для впровадження у віддалених виробках. Функціонування ВЕУ, як вітрозарядної, може розглядатися в контексті даної роботи, як один із можливих режимів функціонування ВЕУ.

Таким чином, запропоновані рішення щодо модернізації, покликані на впровадження активного споживання ЕЕ, у даному випадку згенерованої енергії власними потужностями розосередженої генерації. Такий підхід покликаний оптимізувати систему керування, яка повинна адаптивно- превентивно реагувати на рівень генерації ЕЕ джерелами розосередженої генерації, та використовуючи потужності

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

приймачів-регуляторів ЕЕ, впровадити активне споживання ЕЕ на гірничорудних підприємствах.

СЕП споживачів, що має додаткове АДГЕ на базі вітроустановки.

Система має можливість корегувати роботу вітроустановки, як додаткового джерела живлення, на одну спільну СЕП насосної станції шахти, в результаті аварійної ситуації насосна станція живиться від магістральної електромережі, система при необхідності може підключати та відключати певну кількість насосів, з метою регулювання навантаження та ефективної роботи насосної станції, що зумовлює підвищення надійності електропостачання насосної станції і підвищує ефективність роботи вітроенергетичного комплексу.

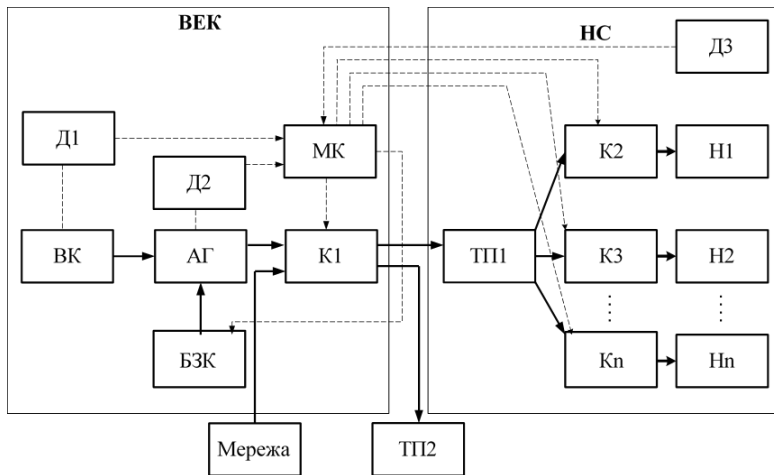


Рисунок 3.4 – Система електропостачання споживачів, що має додаткове автономне джерело електричної енергії на базі вітроустановки

СЕП споживачів, що має додаткове АДГЕ на базі вітроустановки пояснюється рис 3.4: ВЕК – вітроенергетичний комплекс; НС – насосна станція; ВК – вітрове колесо; АГ – асинхронний генератор; МК – мікроконтролер; БЗК – блок збуджуючих конденсаторів; Н1, Н2, Нn – насоси; ТП1, ТП2 – трансформаторна підстанція; К1, К2, К3, Кn – комутатор; Д1 – датчик частоти обертів ВК; Д2 – датчик напруги та частоти напруги згенерованої АГ; Д3 – датчик рівня води.

Пристрій працює наступним чином. ВК обертає АГ в результаті чого, за допомогою БЗК, генерує ЕЕ.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

МК збирає інформацію від датчиків Д1, Д2, Д3.

За даними Д1 МК визначає кількість обертів ВК та АГ.

За даними Д2 МК визначає рівень напруги згенерованої АГ.

Комутатор К1 при наявності номінального рівня напруги відповідної частоти АГ підключає за командою МК, при необхідному рівні води для відкачування, ТП1 або ТП2.

Через ТП1 за командою МК комутаторами К2, К3, Кп для відкачування води підключаються насоси Н1, Н2, Нп з урахуванням максимальної можливої потужності ВЕК.

Кількість насосів, необхідних для відкачування води, визначає МК за допомогою багаторівневого датчика води Д3.

При достатній потужності ВЕК для роботи насосів ТП2 підключається до ВЕК. При обмеженій потужності ВЕК ТП2 за допомогою комутатора К1 підключається до мережі.

Якщо сигнали датчиків Д1, Д2 вказує на відсутність чи неналежний рівень напруги та частоти АГ, або якщо потужність необхідної кількості насосів для відкачування води перевищує максимальну можливу потужність ВЕК, МК за допомогою К1 відключає ВЕК від споживачів та сигналізує про аварійну ситуацію. У цьому випадку ТП1 і ТП2 підключається до мережі.

Таким чином, запропонована система дозволяє підвищити надійність електропостачання споживача за рахунок додаткового джерела живлення і забезпечення регулювання числа підключених до енергосистеми споживачів.

Застосування даної СЕП дозволить створити в короткі терміни енергорайони, що знаходяться поряд з споживачами з незначними капітальними вкладеннями в будівництво без шкідливої дії на навколишнє середовище.

3.2 Розробка імітаційної моделі електротехнічного комплексу системи електропостачання з джерелами розосередженої генерації

В програмному пакеті LabView було з модельовано комплекс електропостачання залізорудних підприємств на базі джерел розосередженої генерації.

На рис. 3.5 зображено структурну схему інтелектуального комплексу електропостачання залізорудних підприємств на базі джерел розосередженої генерації на якій зображено: графіки які відображають всю послідовність даних які надійшли. Індикатор може бути багато

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

екранним а також багатолінійним. Кнопка стоп яка зупиняє процес роботи комплексу. Також наявні числові функції які представлені у вигляді форматів чисел та констант, а саме функція перемноження, відбувається перемноження констант для одержання очікуваного результату, функція ділення відбувається для ділення констант для отримання очікуваного результату, а також функція додавання, тобто сумується декілька функцій і представляється у вигляд суми функцій.

Також в даній схемі зображений цикл по умові який здійснює ітераційні коди всередині даної структури для виконання заданої умови. Числові елементи які являють собою джерела та приймачі числових даних, якими виступають: швидкість вітру в м/с, потужність ВЕС, коефіцієнт інсоляції для сонячної електростанції, потужність сонячної станції, потік води м³/с, потужність гідроелектростанції, потік води м³/с, потужність гідроакumuлюючої електростанції, потужність локальної енергетичної системи, навантаження, економія в грн., потужність споживання ЕЕ, а також потужність мережі. Графіки ВЕС, СЕС, ГЕС, ГАЕС, локальної СЕП, мереж, графік економії коштів, та графік споживання ЕЕ. Також присутнє прогнозування графіка яке задається у відповідний масив, який розраховується та будується графік у вигляді кривої.

Зображено числові елементи за допомогою яких відбувається процес зчитування інформації, яка була введена вручну, або за допомогою додаткових файлів, також присутня затримка часу для регулювання швидкості протікання імітації.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

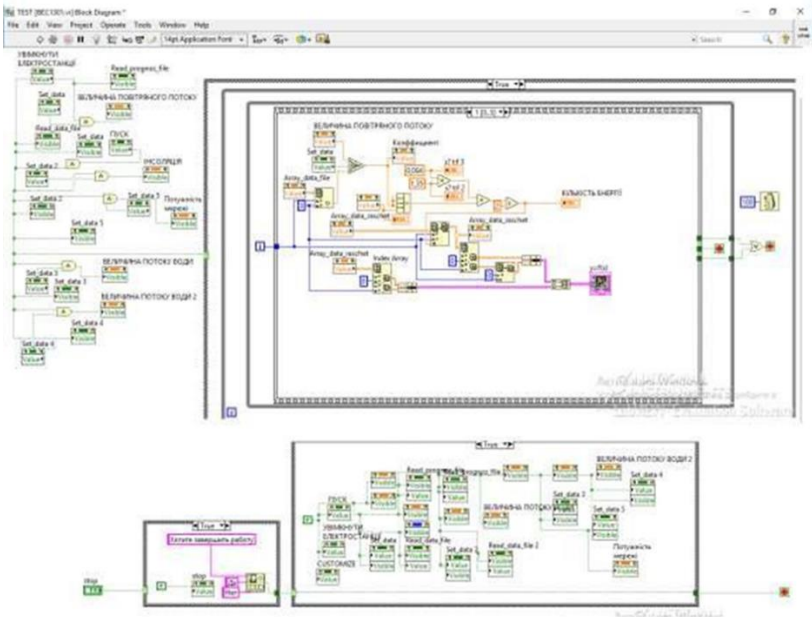


Рисунок 3.5 – Структурна схема синергетичного комплексу електропостачання гірничорудних підприємств на базі джерел розосередженої генерації

На рисунку 3.6 представлено структуру синергетичного комплексу електропостачання залізорудних підприємств на базі джерел розосередженої генерації, на ньому зображено ВЕС, СЕС, ГЕС та ГАЕС, також представлені числові елементи які являють собою джерела та приймачі числових даних ними виступають: потужність ВЕС, потужність СЕС, потужність ГЕС, потужність ГАЕС, потужність локальної СЕП, потужність мережі, також наявні логічні елементи, тобто логічні елементи керування та індикації на рисунку вони зображені як керовані комутатори, кнопки пуск та стоп, а також представлено поля для введення даних як вручну так і автоматично, які беруться з файлу, який під'єднується до даного програмного пакету.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

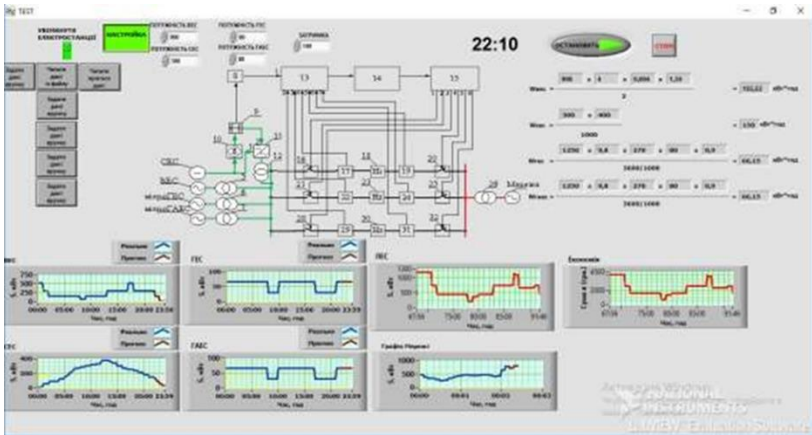


Рисунок 3.6 – Структура синергетичного комплексу електропостачання гірничорудних підприємств

3.3 Моделювання системи функціонування локального електропостачання ділянки мережі підземного рудника

Рациональне та ефективне, з економічної точки зору, впровадження альтернативних джерел енергії, в тому числі на ГРП, потребує детального попереднього аналізу, який здійснюється за допомогою спеціалізованих програмних пакетів (наприклад, Homer Energy, Hybrid2, RETScreen тощо). Програмні пакети, на жаль, не здатні врахувати всі аспекти, які можуть привести до неефективної роботи розосереджених СЕП, однак вони можуть допомогти у виконанні величезного обсягу роботи і, в деяких випадках, взагалі здатні усунути необхідність проведення детального аналізу.

Моделі розосереджених систем генерації енергії дають можливість користувачеві легко прорахувати велику кількість конфігурацій системи і вибрати оптимальну, за власними потребами та побажаннями.

Наведемо характеристику програмних комплексів, які доцільно використовувати на території України для моделювання та розрахунків систем джерел розосередженої генерації на базі ВДЕ: Homer Energy, Hybrid2, RETScreen [38, 42-44].

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

Програмне забезпечення відповідно до функціонального призначення умовно можна розділити на чотири групи, які коротко проаналізуємо далі.

Група 1. Розрахункові інструменти Dim (Dimensioning tools). Застосовуються для обчислення параметрів системи на основі вихідних даних (тип навантаження, кліматичні дані, компоненти системи). За допомогою цих програм можна підібрати оптимальне енергетичне обладнання для покриття потреб в енергії. Різні інструменти використовуються для досягнення різних цілей. Деякі з них мінімізують вартість життєвого циклу системи, інші підбирають параметри обладнання для ефективного функціонування системи. Більшість розрахункових інструментів надають детальну інформацію щодо потоків енергії між компонентами системи і їх сезонними коливаннями протягом року. Такі програми, як правило, є невеликими пакетами програмного забезпечення і мають зручний і легкий у використанні інтерфейс [38, 42-44].

Група 2. Інструменти моделювання Sim (Simulation tools). Використовують вхідні дані для моделювання поведінки системи протягом певного періоду часу. На відміну від розрахункових інструментів, користувачеві потрібно вказати технічні характеристики кожного компонента системи. Потім інструмент моделювання надає детальний аналіз поведінки системи. Тимчасові інтервали моделювання залежать від заданого користувачем рівня деталізації і наявності вихідних даних (наприклад, дані про кліматичні умови). Погодинне моделювання системи є найпоширенішим і використовується для перевірки придатності до використання обладнання, дослідження впливу майбутніх змін в навантаженні, спостереження за продуктивністю системи при нетипових умовах (наприклад, погана погода), аналізу можливих пошкоджень компонентів системи. За допомогою інструментів моделювання можна отримати інформацію про фінансові та екологічні характеристики системи, такі як життєвий цикл витрат. Зазвичай це складні програмні пакети, які поширюються науково-дослідними центрами та спеціалізованими компаніями [38, 42- 44].

Група 3. Дослідницькі інструменти Res (Research tools). Мають високу ступінь гнучкості і широкі можливості налаштування. Ці програми доповнюють моделювання різних систем для дослідницьких цілей. Традиційні інструменти моделювання пропонують широкий аналіз чутливості, однак вони, як правило, не дозволяють користувачу

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

змінювати алгоритми програми, згідно з якими визначаються поведінку системи і взаємодія окремих її компонентів. Для цього потрібна відкрита архітектура: програмне забезпечення складається з вибору «процедури», яка описує компоненти, а також платформи для об'єднання цих підпрограм в одне ціле. Користувач може змінювати процедури або додавати абсолютно нові. Ці дослідні інструменти можуть бути написані на таких мовах, як Fortran, C++ або Pascal.

Група 4. Інструменти проектування електричних мереж Des (Mini-Grid Design tools). Дають можливість користувачеві визначити, що є Квазіоптимальний рішенням для електропостачання деякого об'єкту: автономна установка або підключення до централізованої мережі. З їх допомогою можна мінімізувати втрати потужності в розподільних мережах за рахунок вибору рівня напруги і площі перерізу кабелів [38, 42-44].

Таким чином, оскільки групи програм Sim і Dim є найбільш доступними широкому колу користувачів без спеціальних знань програмування, мають зручний і легкий у використанні інтерфейс і поширюються науково-дослідними центрами, то в подальшому, будемо розглядати програмне забезпечення саме цих груп (табл. 3.1).

Програмний комплекс Homer energy створений для надання допомоги в розробці систем розосередженої генерації та для полегшення порівняння технологій виробництва ЕЕ в широкому діапазоні використання. Ця розробка здійснена Національною лабораторією відновлюваних джерел енергії США (NREL). В результаті дослідження була розроблена комп'ютерна оптимізаційна модель енергосистеми, яка отримала назву Homer energy [38, 42-44].

Таблиця 3.1 – Інструменти різного програмного забезпечення

Назва програми	Існуючі інструменти
RETSscreen	Dim
Homer energy (HOMER)	Sim/Dim
Hybrid2	Sim

Homer energy одна з програм, яка виконує моделювання часових рядів, чим і відрізняється від статистичних моделей, таких як RETScreen. З переліку цих моделей Homer energy є найбільш гнучкою з точки зору різноманітності систем, які вона може моделювати. Розглянемо найбільш широко вживається програмний продукт,

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

програму RETScreen, який дає можливість інженерам, архітекторам, фахівцям з фінансового планування здійснювати моделювання та аналіз будь-якого проекту з використанням екологічно чистої енергії. Програма надає інформацію проєктувальникам, необхідну для прийняття рішень, завдяки виконанню стандартного аналізу з п'яти етапів: енергоаналіза, аналізу собівартості, аналізу емісії парникових газів, фінансового аналізу, аналізу ризиків, аналізу чутливості системи.

Базові модулі та напрямки проєктів, що охоплює програма, це технології, які включені до моделей проєктів RETScreen і охоплюють традиційні і нетрадиційні джерела екологічно чистої енергії, а також загальноприйняті традиційні джерела енергії та технології. Прикладами таких проєктних моделей можуть бути [38, 42-44]:

- проєкти раціонального використання енергії, тобто проєкти по енергоефективності (від промислових підприємств до окремих будівель);

- проєкти по опаленню і охолодженню (наприклад, з використанням біомаси, теплових насосів, сонячної енергії для повітряного і водяного опалення);

- проєкти по генерації ЕЕ, включно з поновлюваними джерелами енергії, а саме: сонячної, вітрової, енергії хвиль, гідро- і геотермальної енергії, а також загальноприйнятими технологіями, такими як газ і парові турбіни, поршневі двигуни;

- проєкти комбінованого виробництва теплової та ЕЕ (когенерацію).

Основними недоліками програми RETScreen, в порівнянні з програмним пакетом Homer energy, є відсутність функції моделювання різних варіантів структур системи, для порівняння, яке базується на їх технічних і економічних характеристиках в реальному часі, або потрібно їх послідовне введення. Homer energy при моделюванні сама обирає оптимальну комбінацію необхідного поєднання заданих технологій. Також Homer energy надає допомогу в розумінні і кількісній оцінці ефекту при змінних вихідних даних (Sensitivity analysis), що відсутній в RETScreen.

Аналогом Homer energy є програма Hybrid2. Це імовірна комп'ютерна модель, яка використовує такі вхідні дані: навантаження, швидкість вітру, сонячну інсоляцію, температуру і потужність системи, обрані користувачем, щоб спрогнозувати продуктивність гібридної енергетичної системи. Зміни швидкості вітру і навантаження в кожен момент часу враховуються при прогнозуванні продуктивності.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

Опрацьовуючи великі обсяги інформації про ВДЕ, програма Hybrid2 дає можливість знайти оптимальний варіант побудови СЕП з точки зору технічних і економічних аспектів. Перелік початкових даних для роботи програми і результати наведено в табл. 3.2. Головними недоліками Hybrid2 є відсутність інтеграції з базами даних NASA, складний інтерфейс, відсутність розрахункових інструментів Dim і більш складний алгоритм роботи (робота з програмою потребує апаратного забезпечення високого рівня).

Більш детально зупинимося на використанні програмного комплексу Homer energy.

Використання Homer energy дає можливість моделювати багато різноманітних варіантів структур СЕП для порівняння, як фізичних, так і економічних характеристик системи, що допомагає при аналізі і кількісній оцінці ефекту при змінних вихідних даних (Sensitivity analysis).

Homer energy може моделювати широкий спектр конфігурацій систем розосередженої генерації, яка включає будь-яку комбінацію з масиву фотоелементів, однієї або декількох вітрових турбін, гідротурбін, ДГ, акумуляторних батарей, AC-DC і DC-AC перетворювачів, технологічних систем, наприклад, систем на основі електролізера і бака для зберігання водню. Енергетична система може бути підключена до централізованої мережі або бути автономною, може покривати навантаження постійного і змінного струму, а також теплове навантаження [38, 42-44].

Таблиця 3.2 – Перелік початкових даних для роботи програми Hybrid2

Вхідні дані	Вихідні дані
1. Тип навантаження, підключення до змінного або постійного струму; 2. Кліматичні умови: швидкість вітру, інсоляція, температура навколишнього середовища, висота над рівнем моря, географічні координати; 3. Параметри системи: конфігурація, технічні дані обладнання; 4. Економіка: вартість обладнання, витрати на обслуговування, фінансові показники.	1. Споживання енергії кожним компонентом системи, для кожного довільного часового інтервалу; 2. Результати оптимізації: сонячний і вітровий потенціал, ємність акумуляторної батареї, потужність генераторних установок, життєвий цикл проекту, аналіз витрат.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

У Homer energy можливо змодельовати окремі функціонально-структурні схеми таких енергетичних систем як:

- електричне навантаження змінного струму, яке живиться від ДГ;

- електричне навантаження постійного струму, електроживлення якого забезпечується системою з фотоелементами;

- гібридна гідро-вітро-дизельна система з резервною батареєю і випрямлячем;

- вітродизельна система, яка живить електричне і теплове навантаження з двома генераторами, акумуляторними батареями, бойлером та скидним навантаженням, що дозволяє поставляти теплову енергію шляхом передачі надлишкової потужності вітрової турбіни через резистивний нагрівач;

- фотоводнева система, в якій електролізер перетворює надлишкову потужність фотоелемента в водень, який зберігається в водневому баку і використовується в паливних елементах під час нестачі потужності від фотоелемента;

- системи з вітрогенераторами і використанням акумуляторних батарей, і водню для акумуляування енергії, де водень є паливом для генератора;

- електрична система, підключена до системи фотоелементів;

- енергетична система, підключена до когенераційної установки, в якій мікротурбіни виробляють ЕЕ і тепло;

- енергетична система, підключена до когенераційної установки, в якій паливний елемент забезпечує систему ЕЕ і теплом.

Аналіз і проектування систем розосередженої генерації ускладнюється через можливе великої кількості комбінацій щодо використання альтернативних джерел енергії. Це істотно ускладнює побудову, зокрема, через недостатню вихідної потужності або її мінливості, сезонності, відсутність диспетчеризації. Такі труднощі разом з високою ціною ставили під сумнів використання ВДЕ. Пакет Homer energy і був розроблений для подолання цих проблем.

Homer energy забезпечує виконання трьох основних завдань: моделювання; оптимізація; аналіз чуливості.

У разі реалізації задачі моделювання, програмою Homer energy моделюється побудова заданої системи та здійснюється оцінка можливості її функціонування, що дає можливість перевірити її технічну валідність і вартість експлуатації.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

При оптимізації здійснюється моделювання великої кількості системних конфігурацій, побудованих для різних варіантів застосування елементів, заданих на першому етапі. Під час виконання цього етапу здійснюється пошук такої конфігурації системи, яка б за своїми техніко-економічними показниками і своєму життєвому циклу була найбільш прийнятною.

При здійсненні аналізу чутливості, Homer energy виконує багаторазову оптимізацію в діапазоні, заданому при введенні початкових даних (обмежень). Така процедура дає можливість оцінити «цінність» змінних на початковому етапі, які присутсвуют на кожному елементі даних. Також аналіз чутливості допомагає оцінити ефекти сталості або варіативності змінних, на які ми не можемо впливати, наприклад, швидкість вітру, ціна на паливо тощо.

У програмі є графічне відображення схеми компонентів, які будуть промодельовані. Це дає можливість швидко отримати доступ до технічних і економічних даних кожного компонента простим натисканням на окремий елемент на функціональній схемі.

У вікнах «Навантаження, компоненти і ресурси» (Load, Component and Resource) є можливість самостійно вводити дані, імпортувати їх або синтезувати інформацію про потреби в ЕЕ, що становлять потужності і витрат, а також наявність її запасів.

Вікна «Оптимізації і чутливості» (Optimization and Sensitivity) дають можливість вводити значення, коли ви хочете використовувати в Homer energy для оптимізації системи, створення її за довільним початковими умовами, наприклад, мінімального життєвого циклу, при мінімальній вартості, або коли ви хочете виконати аналіз чутливості до зміни початкових.

Раціональне та ефективне, з економічної точки зору, впровадження альтернативних джерел енергії, в тому числі на підприємствах гірничорудної галузі, передбачає здійснення детального попереднього аналізу, який можна виконати за допомогою спеціалізованого програмного пакета Homer Energy.

Моделі розосереджених систем генерації енергії дають можливість користувачеві легко прорахувати велику кількість конфігурацій системи і вибрати раціональну, керуючись власними потребами та побажаннями.

Homer energy забезпечує виконання трьох основних завдань: моделювання, оптимізація, аналіз чутливості.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

У ряді робіт розглядається можливість використання енергії потоків атмосферного повітря на відвалах кар'єрів, між відвалами кар'єрів і в умовах виробок ЗР. В результаті дослідження аеродинамічних характеристик повітряних потоків ГРП був зроблений висновок про те, що використання ВЕУ, які використовуються як автономно так і в складі СЕП, є доцільними і досить рентабельними [13, 28-29, 38].

Таким чином, в середовищі програми Homer energy було змодельовано раніше запропоновану систему електропостачання з використанням джерел розосередженої генерації на базі ВЕУ інтегрованою з мережею (рис. 3.7–3.13).

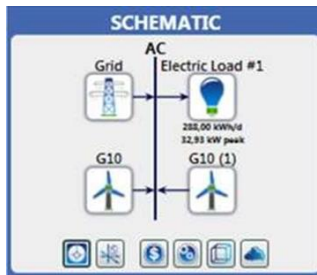


Рисунок 3.7 – Схема електроспоживання в програмі Homer energy



Рисунок 3.8 – Тип та затрати вітрогенератора

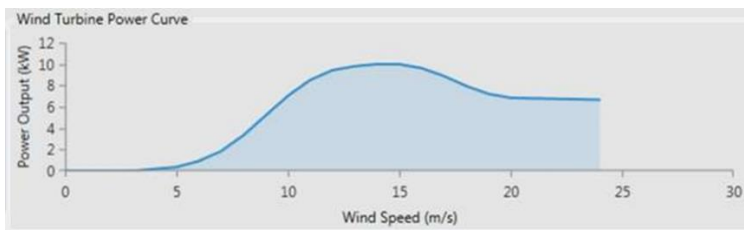


Рисунок 3.9 – Характеристика вітрогенератора, залежність вихідної потужності від швидкості вітру

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

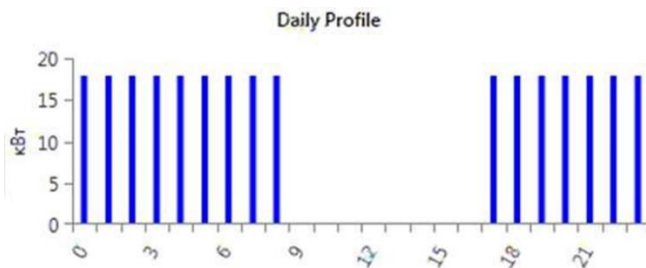


Рисунок 3.10 – Графік навантаження освітлення за добу

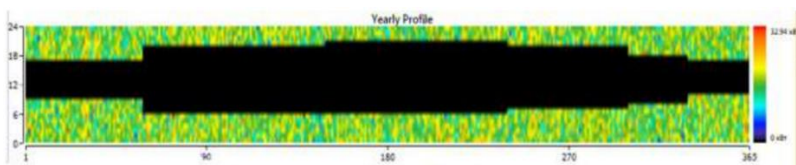


Рисунок 3.11 – Графік навантаження освітлення за рік

Architecture		Cost				System	GIS	GIS (I)	Grid							
+	+	GIS	Dispatch	COE	NPC	Operating cost	Initial capital	Ren-Frac	Capital Cost	Production	Capital Cost	Production	Energy Purchased	Energy Sold		
+	+	1	1	35.0	CC	0.4698	434.506k	25.876k	300.000k	23	150.000	14.891	150.000	14.891	74.891	19.138

Рисунок 3.12 – Оптимальний техніко-економічний варіант автономної енергетичної системи

Architecture		Cost				System	GIS	GIS (I)	Grid							
+	+	GIS	Dispatch	COE	NPC	Operating cost	Initial capital	Ren-Frac	Capital Cost	Production	Capital Cost	Production	Energy Purchased	Energy Sold		
+	+	1	1	35.0	CC	0.4698	434.506k	25.876k	300.000k	23	150.000	14.891	150.000	14.891	74.891	19.138
+	+	1	1	35.0	CC	0.9338	1.154M	77.481k	150.000k	18	150.000	14.891	150.000	14.891	80.102	9.437
+	+	1	1	35.0	CC	1.508	1.668M	129.304k	0.00k	0.00019					85.536	0

Рисунок 3.13 – Можливі варіанти автономної енергетичної системи електропостачання

В середовищі програми Nomer energy було змодельовано раніше запропоновану систему електропостачання з використанням джерел розосередженої генерації на базі ВЕУ інтегрованою з мережею (рис. 3.14–3.19).

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

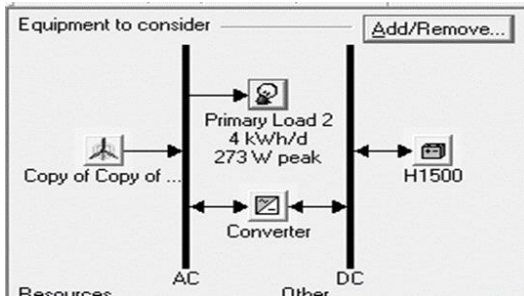


Рисунок 3.14 – Схема електропостачання в програмі Homer energy

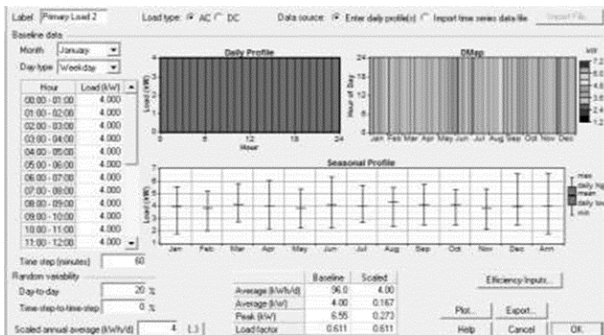


Рисунок 3.15 – Графіки навантажень автономної енергетичної системи в програмі Homer energy

Calculate Simulations: 1536 of 1536 Progress: Status: Completed in 54 seconds.

Sensitivities: 4 of 4

Sensitivity Results Optimization Results

Sensitivity variables

Wind Speed (m/s) 8

Double click on a system below for simulation results.

	15/50	12VRE-3..	Conv. (kW)	Disp. Strgy	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	1	5	1	CC	\$ 3,660	36	\$ 4,119	0.221	1.00

Рисунок 3.16 – Оптимальне техніко-економічне рішення елементної бази автономної енергетичної системи в програмі Homer energy

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

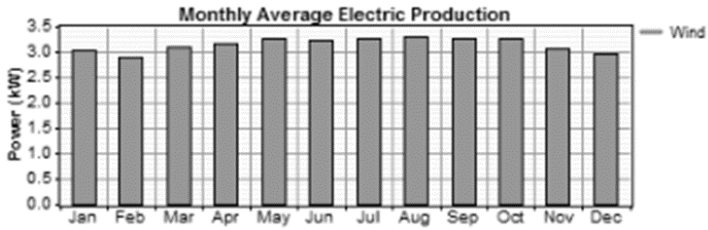


Рисунок 3.17 – Середньомісячний обсяг згенерованої електричної енергії вітроенергетичною установкою, розраховано у програмі Homer energy

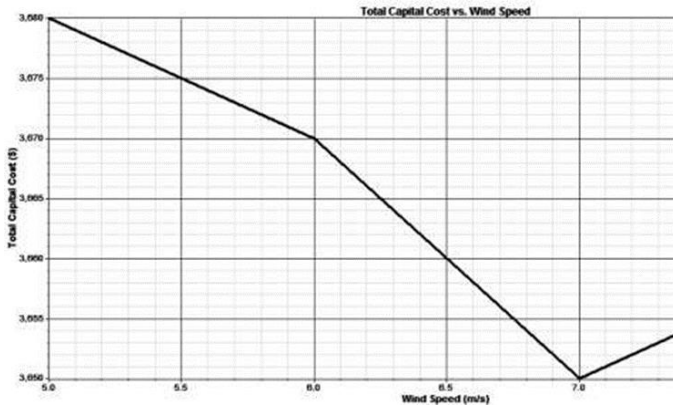


Рисунок 3.18 – Графік собівартості вітроенергетичної системи, розраховано у програмі Homer energy

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

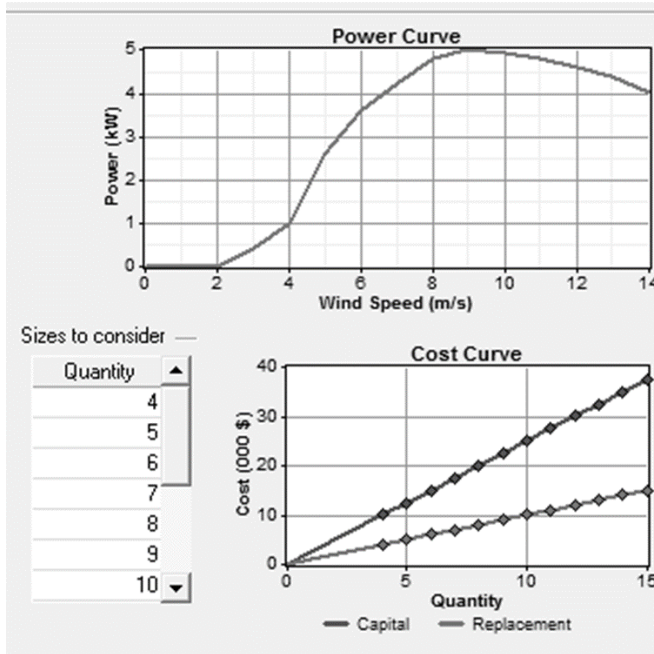


Рисунок 3.19 – Вікно параметрів характеристик вітроенергетичної установки у програмі Homer energy

Беручи до уваги наведені вище результати досліджень, і результати досліджень, одержані раніше, можна зробити висновок про те, що використання джерел розосередженої генерації в умовах гірничорудних підприємств є реальним і для оцінки можливості їх використання можна використовувати програмний пакет Homer Energy. В той же час, враховуючи результати моделювання, системи джерел розосередженої генерації, ті що інтегровані з мережею більш перспективні, ніж автономні, так як мають більшу надійність та менші затрати на генерацію ЕЕ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергетична стратегія України на період до 2050 р. // сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України: [Електронний ресурс]. URL: <https://mpe.kmu.gov.ua>.
2. Синчук И. О., Гузов Э. С., Яловая А. Н., Бойко С. Н. Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья: Монография. Под редакцией доктора технических наук, профессора О. Н. Синчука – Кременчуг: ПП Щербатых А. В. – 2015. 296 с.
3. Синчук І. О. Методологічні засади оцінювання електроефективності залізородних підприємств: монографія, ПП Щербатих. – 2019. 284 с.
4. Синчук І. О. Базові засади форматизації структури і алгоритму функціонування автоматизованої системи управління електроенергопотоками залізородних шахт: Монографія – Кременчук: ПП Щербатих О.В. – 2019. 144 с.
5. Білий М.М. Електрообладнання та електропостачання підземних гірничих робіт : навч. посіб. Дніпро: Національний гірничий університет, 2010. 223 с.
6. Електрифікація гірничих робіт: Підручник. - Вид. 2-е, допрац. та доп. / Г. Г. Півняк, М. М. Бєлий, Л. П. Ворохов, В. Т. Заїка, Ю. М. Зражевський, Ю. Т. Разумний, А. Я. Рибалко, В. І. Тесленко, Ф. П. Шкрабець ; За ред. академіка НАН України Г. Г. Півняка. — Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. 615 с.
7. Півняк Г.Г., Білий М.М., Бажін Г.М. Електропостачання гірничих підприємств: Довідковий посібник. - Д.: Національний гірничий університет, 2008. 550 с.
8. Синчук О.Н., Синчук И.О., Гузов Э.С., Пархоменко Р.А. Повышение эффективности функционирования подземных участковых подстанций, *Наук. пр. ДонНТУ. Серія «Електротехніка і енергетика»*, №1(14), с. 256-260, 2013.
9. Sinchuk I., Budnikov K., Krasnopolsky R. Fundamentals of integrating smart for controlling power systems at iron ore underground mining enterprises: Monograph. – Warsaw: iScience Sp. z. o. o. – 2021. – 123 p.
10. Папаїка Ю.А. Енергетична ефективність систем електропостачання гірничих підприємств з нелінійними навантаженнями. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи», 2019, Дніпровська політехніка, 320 с.

11. Вілкул Ю.Г., Азарян А.А., Колосов В.О. Сучасний стан гірничо-видобувної промисловості України. *Гірничий вісник. Науково-технічний збірник*. Кривий Ріг : Випуск 110, с. 3-9.
12. Сінчук І.О., Берідзе Т.М., Федотов В.О., Барановська М.Л., Сменова М.Л. Пироженко А.В. Сучасний ринок електричної енергії: Підручник. Курс лекцій. За редакцією доктора технічних наук, професора О.М.Сінчука – Кременчук: ПП Щербатих О.В. – 2021. – 232 с.
13. Energy-efficient system of power supply of remote consumers of mining and concentration plants: monograph / I. Sinchuk, O. Dozorenko, M. Baranovska, O. Zamytskyi, P. Polishchuk. Warsaw: iScience Sp. z.o.o. 2023. 107 p.
14. Operating modes of mining enterprises. Condition, problems.: monograph / O. Dozorenko, I. Peresunko, O. Mykhailenko, V. Fedotov, A. Ryuzhenko. Warsaw: iScience Sp. z.o.o. 2023. 114 p.
15. Моркун В. С., Тонкошкур Л. С., Гарковенко Е. Е. Електроустаткування і електропостачання гірничих підприємств. Кривий Ріг, Мінерал, 2005. – 269 с.
16. Денисюк С.П. Формування політики підвищення енергетичної ефективності – сучасні виклики та європейські орієнтири. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. №1. С. 7-28.
17. Сінчук І. О. Аспекти теорії та практики оцінки електроенергетичної конкурентоспроможності залізорудних підприємств : звіт про НДР (заключний) / кер. теми І. О. Сінчук; № держ. реєстр. 0118Ш06520; НР/П-84-18. – Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2020. – 144 с.
18. Сінчук І.О. Коментар до стану електроенергетики залізорудних підприємств як сегмента їх конкурентоспроможності: монографія – Кременчук: ЧП Щербатих А.В. – 2018. – 166 с.
19. Сінчук О. М. Розроблення енергозберігаючих заходів на підприємствах гірничодобувної промисловості : звіт про НДР (заключний) / кер. теми О. М. Сінчук; № держ. реєстр. 0115Н003180; № 30-102-15. - Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2016. – 309 с.
20. Сінчук О. М. Розроблення комплексу заходів по енергозбереженню на підприємствах залізорудної промисловості : звіт про НДР (заключний) / кер. теми О. М. Сінчук; № держ. реєстр. 0114Ш03457; № 30-98-14. - Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2015. – 288 с.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

21. Сінчук О. М. Інтеграція розумних технологій побудови електроенергетичних систем у контексті підприємств гірничо-металургійної галузі : звіт про НДР (проміжковий) / кер. теми О. М. Сінчук; № держ. реєстр. 0121Ш11709; № дог. 30-114-21. - Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2021. – 165 с.
22. Синчук И.О., Гузов Э.С., Бойко С.Н. Энергоэффективность железнорудных производств. Оценка, практика повышения: Монография – Ламберт. – 2016. – 351 с.
23. Sinchuk O., Sinchuk I., Beridze T., Filipp Y., Budnikov K., Dozorenko O., Strzelecki R. Assessment of the factors influencing on the formation of energy-oriented modes of electric power consumption by water-drainage installations of themines. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. Vol. 15, Issue 4. pp. 25-33. DOI: <https://doi.org/10.33271/mining15.04.025>.
24. Sinchuk I., Kupin A., Budnikov K., Baranovska M. Preventive theses to options for developing smart control systems for power flows distribution among consumers of iron ore underground mines /Monograph/ – Warsaw: iScience Sp. z.o.o. – 2023. – 92 p.
25. Sinchuk, I., Beridze, T., Mykhaylenko, O., Yalovyi, O., & Shepeliev, K. (2025). Integration of enterprises electricity material costs into the structure of its consumption efficiency indicators. *Journal of Kryvyi Rih National University*, 1(23), 80-91. DOI: <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2025-1-23-80-91>.
26. Берідзе Т.М. Дослідження критеріїв оцінювання якісних показників електропостачання промислових підприємств / Берідзе Т.М., Касаткіна І.В., Бойко С.М. // *Вісник Криворізького національного університету*: зб. наук, праць, Кривий Ріг, вип. 57, 2023. с. 121-127.
27. Sinchuk O. M., Beridze T. M., Sinchuk I. O., Dozorenko O. V., Baranovska M. L., Yalovyi O. O. Structure of a model for scientific research of complex electrical objects. *Applied Aspects of Information Technology*. 2025; Vol.8 No.4: 453–464. DOI: <https://doi.org/10.15276/aait.08.2025.29>.
28. І. О. Сінчук, С. М. Бойко, І. В. Касаткіна, О. В. Дозоренко. Аспекти розвитку вітроенергетики в умовах залізорудних підприємств // *Вісник Криворізького національного університету*: зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2021. – Вип. 52. – С. 70–76. DOI: <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2021-1-52-70-77>.
29. Бойко С.М., Сінчук І.О., Жуков О.А., Савицький О.І. Комплексне використання відновлювальних джерел енергії: Підручник. За

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

- редакцією доктора технічних наук, професора О.М. Сінчука – Кривий Ріг: ПП Щербатих О.В. – 2021. 204 с.
30. Сінчук О.М., Бойко С.М., Сінчук І.О., Ялова О.М. Нетрадиційна та відновлювальна енергетика: Підручник – Кременчук: ПП Щербатих О.В. – 2017. – 218 с.
 31. Сінчук О.М., Бойко С.М., Юрченко М.М. До можливостей розбудови систем електропостачання підприємств гірничо-видобувного комплексу з включенням в їх структуру вітроенергетичних комплексів. *Вісник Криворізького національного університету*, 52 вип. 42, 2016. С. 52-55.
 32. Герасимова К.В., Тихоступ В.В., Фізико-хімічні показники води шламосховищ Криворізького регіону та їх зв'язок з флористичною структурою прибережної рослинності. *Вісник Криворізького національного університету*, вип. 48, 2019. С. 159-164.
 33. Денисюк С.П., Дерев'яноко Д.Г., Горенко Д.С. Особливості оцінюва́гая режимів функціонування локальних систем з джерелами розосередженої генерації та накопичувачами. *Енергетика: економіка, технологія, екологія*. №1, 2020. С.7-20. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2020.217558>.
 34. Sinchuk O., Strzelecki R., Sinchuk I., Beridze T., Fedotov V., Baranovskyi V., Budnikov K. Mathematical model to assess energy consumption using water inflow drainage system of iron-ore mines in terms of a stochastic process. *Mining of Mineral Deposits*, 2022. Vol. 16, Issue 4, pp. 19-28. DOI: <https://doi.org/10.33271/mining16.04.019>.
 35. Михайленко О., Барановський В., Щокін В., Федотов В., Поліщук П. Нечітке керування електроспоживанням електромеханічного обладнання головного водовідливного комплексу залізорудної шахти. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2024. Т. 331, №1. С. 107-115. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-18>.
 36. Патент UA 86427. Кривоус А. О., Бойко С. М., Дяченко В. С., Сінчук О. М. Спосіб розташування електроенергетичної вітроустановки на відвалах кар'єрів та шахт. Опубл.: 25.12.2013.
 37. Кузнецов М.П. Вплив розташування групи ВЕС на рівномірність їх сумісної роботи / М.П.Кузнецов // *Відновлювана енергетика XXI століття: XIV міжнар. конф.*, 16–20 вересня 2013 р.: тези доп. – АР Крим, 2013. – С. 334–339.
 38. Бойко С.М. Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

- підприємств. / С. М. Бойко // Монографія, під редакцією доктора техн. наук, професора О.М. Сінчука. – Кременчук, 2020. – 263с.
39. О. М. Сінчук, Ю. Б. Філіпп, І. О. Сінчук, І. О. Бобріков, І. В. Касаткіна, Р. І. Краснопольський Створення оборотних гідроагрегатів ГАЕС в структурі систем енергопостачання залізрудних підприємств. *Scientific Journal «ScienceRise»* №1(42). 2018. С. 29-36.
40. Сінчук І.О., Касаткіна І.В., Дозоренко О.В., Краснопольський Р.І., Новий погляд на вирішення проблеми підвищення енергоефективності водовідливних установок залізрудних підприємств. *Вісник Криворізького національного університету*, 164 вип. 48, 2019 С. 164-170.
41. Сінчук, О.М. До питання проектування вітроенергетичних станцій в умовах гірничорудних підприємств / О.М. Сінчук, С.М. Бойко, А.В. Некрасов, М.О. Ножнова, М. М. Федь // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* – 2020 – Том 31 (70) № 3. – С. 153-157.
42. Синчук И.О., Яловая А. Н., Бойко, С.М., Специфика моделирования возобновляемых источников энергии в среде homer energy с целью реализации мероприятий по повышению электроэнергоэффективности железорудных предприятий. *Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві.* – Кіровоград: КНТУ, 2015 – с. 12-14.
43. Сайт DMCC [Електронний ресурс]. URL: <http://www.homerenergy.com/training.html>.
44. Сінчук О. М., Бойко С. М., Краснопольський Р. І. До питання формування джерел розосередженої генерації в умовах залізрудних підприємств. *Вісник Криворізького національного університету*, 2020. № 50. С. 41-45.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Щокін Вадим Петрович
Дозоренко Олег Вікторович
Сінчук Ігор Олегович
Яловий Олександр Олександрович

**ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ
АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИНЕРГЕТИЧНІ
ВАРІАНТИ СТРУКТУР СИСТЕМ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ**

МОНОГРАФІЯ

За редакцією
доктора технічних наук, професора
О. М. Сінчука

Subscribe to print 01/05/2026. Format 60×90/16.
Edition of 300 copies.
Printed by “iScience” Sp. z o. o.
Warsaw, Poland
08-444, str. Grzybowska, 87
info@sciencecentrum.pl, <https://sciencecentrum.pl>

В монографії “Інтеграція відновлювальних автономних джерел генерації електроенергії в синергетичні варіанти структур систем електропостачання підземних рудників” викладено науково-технічне обґрунтування варіативності розбудови принципів інтеграції відновлювальних автономних джерел генерації електроенергії в моно структури систем електропостачання підземних рудників (шахт). Проаналізовано особливості режимів електроспоживання рудників, структуру навантажень гірничого технологічного обладнання та вимоги до надійності й безперервності живлення їх електроенергією в умовах глибоких підземних горизонтів рудників та можливих випадках виникнення нештатних ситуацій. Розглянуто можливості використання сонячних, вітрових та накопичувальних систем у поєднанні з традиційними – централізованими джерелами живлення, з формуванням структур синергетичних гібридних систем електропостачання. Обґрунтовано підходи до побудови багаторівневих систем електропостачання з елементами мікромереж, інтелектуального керування та адаптивного розподілу електричних потужностей між споживачами. Запропоновано методологічні засади техніко-економічного оцінювання результатів впровадження автономних відновлювальних джерел електроенергії в умовах діючих підземних гірничодобувних підприємств. Результати дослідження рекомендуються для використання при проектуванні нових та модернізації існуючих систем електропостачання підземних гірничих підприємств з метою формування стратегій декарбонізації гірничо-металургійного комплексу України.

Монографія призначена для науковців, викладачів, аспірантів і фахівців у галузі електроенергетики та гірничої промисловості.



ISBN 978-83-68188-48-6

