

Криворізький національний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БАРАНОВСЬКИЙ ВЛАДИСЛАВ ДМИТРОВИЧ

УДК 621.313-57

ДИСЕРТАЦІЯ

**НЕЧІТКЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ГОЛОВНИХ
ВОДОВІДЛИВНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Галузь знань 14 – «Електрична інженерія»

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

ТОМ 2

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

В. Д. Барановський

Науковий керівник:

Сінчук Олег Миколайович,
доктор технічних наук, професор

Кривий Ріг – 2024

ЗМІСТ

ДОДАТОК А. Зasadничі імперативи сутності визначення тактики аналізу енергоємності видобутку залізної руди в умовах залізрудних шахт.....	3
ДОДАТОК Б. Практика застосування теорії виробничих систем в оцінюванні споживання електроенергії як процесу в умовах залізрудних шахт.....	9
ДОДАТОК В. «Рамочне» оцінювання ефективності застосування електроенергії, яку може отримати підземне залізрудне підприємство з підземним способом видобутку шляхом розбудови автономних джерел генерації.....	21
ДОДАТОК Г. Приклади типових архітектур водовідведення з підземних горизонтів діючих залізрудних шахт України.....	25
ДОДАТОК Д. Експериментальні статистичні дані з рівнів споживання електроенергії рядом залізрудних шахт України.....	29
ДОДАТОК Е. Базові характеристики насосів шахтних водовідливних комплексів.....	54
ДОДАТОК Є. Збільшення енергоефективності головних водовідливних комплексів за допомогою нічних тарифів.....	59
ДОДАТОК Ж. Акти впровадження результатів досліджень.....	65

ДОДАТОК А

Засадничі імперативи сутності визначення тактики аналізу енергоємності
видобутку залізної руди в умовах залізорудних шахт

В значній кількості сучасних наукових досліджень, які присвячені питанням розбудови існуючих електроенергетичних комплексів електропостачання-електроспоживання в напрямку підвищення їх технологічної енергоефективності, як об'єкт дослідження, в своїй більшості, виокремлюється той чи інший енергоємний споживач ЕЕ залізорудного підприємства, що звужує можливість необхідної уніфікації використання цих досліджень для умов різних видів і типів шахт, у тому числі вітчизняних залізрудних, з особливостями їх технологій. Така в значній мірі певна системоутворююча обмеженість об'єкта досліджень не дозволяє в повній мірі застосувати методи і відповідну методологію системного аналізу та підходу до вирішення проблеми енергоефективності даних підприємств у комплексно-необхідному варіанті (рис. А.1).



Рисунок А.1 – Базові емпіричні напрямки комплексу досліджень із підвищення рівня електроенергоефективності гірничорудних підприємств

Позитивна роль системного підходу може бути зведена до наступних основних моментів. По-перше, поняття і принципи системного підходу виявляють більш широку пізнавальну реальність порівняно з тією, яка фіксувалася в попередніх дослідженнях. По-друге, системний підхід містить у собі нову, схему пояснення, в основу якої покладено пошук конкретних механізмів цілісності об'єкту і виявлення досить повної типології його зв'язків. По-третє, складний об'єкт припускає не одне, а декілька розчленувань. При цьому критерієм обґрунтованого вибору розподілу об'єкта, що вивчається, може служити те, наскільки в кінцевому дослідницькому результаті вдається побудувати операційну «одиницю» аналізу.

Системний підхід відіграє найважливішу роль не тільки при аналізі діючих складних систем, але і при реалізації задач системотехніки, тобто, задач проектування великих технічних систем. На практиці системний підхід це: системне охоплення, системне подання, системна орієнтація досліджень. Системне подання досягається шляхом побудови єдиної комплексної моделі, здатної заміщувати реальний об'єкт і надавати актуальну інформацію про об'єкт, який моделюється. Системна організація дослідження означає неперервне планування й управління розробкою за допомогою методів і засобів координації робіт.

Залізорудні підприємства є досить специфічними підприємствами щодо споживання ЕЕ, а, отже, аналіз енергоємності видобутку залізорудної сировини є складною задачею. Здійснення аналізу енергоємності, а значить визначення напрямків покращення цього показника на основі наявного методичного забезпечення без його ґрунтовної доробки практично неможливо, оскільки спрямовано на застосування спрощених аналітичних і емпіричних залежностей, розрахованих на одні і ті ж, незалежно від умов, вихідні данні. Аналіз енергоємності видобутку залізорудної сировини – необхідний етап щодо

відповідної розбудови системи керування комплексом електропостачання-електроспоживання.

Саме енергоємність видобутку залізорудної сировини визначає, наскільки результативними є дії управлінських структур у сфері розподілу, спрямування, планування і аналізу всіх наявних енергоресурсів залізорудного підприємства, яку нішу займає та буде займати в майбутньому дане підприємство на ринку залізорудної сировини з урахуванням впливу на нього конкурентного середовища. Важливе місце в цьому питанні належить впливу на динаміку складових виробничого процесу поточних тенденцій у сфері розвитку технологій, тобто врахування чинника науково-технічного прогресу. Дослідити ці процеси, провести відповідний аналіз є важливим і актуальним питанням для вітчизняних гірничовидобувних та залізорудних підприємств.

При визначенні комплексного оцінювання електроспоживання постає питання щодо зміни споживання з кожного джерела електроенергії в порівнянні з минулим періодом, а також змін причин: глибини шахти, величини водопрпливу, якості руди, технологій тощо. Опрацювання цих питань і реальне оцінювання стану в аналізованому напрямку є суттєвим підґрунтям можливості вирішення питань задля формування комплексного підходу до розгляду електроспоживання на підприємствах видобутку залізорудної сировини як системного процесу.

Природньо, що рівень позитиву ефективності функціонування комплексу електропостачання-електроспоживання є наслідком зменшення енергоємності видобутку залізорудної сировини і для його керованості має спиратися на оптимальне планування та прогнозування витрат електричної енергії з диференціацією розподілу електропотоків між споживачами.

Превентивне нормування обсягів витрати електроенергії багато в чому залежить від логістики планових заходів електроспоживання на залізорудних підприємствах. Встановлення технічних і економічно обґрунтованих планових

заходів щодо процесу прогнозування споживання ЕЕ, в свою чергу, висуває завдання визначення режимів навантаження електроприймачів залізорудних підприємств.

Згідно з поглядами на стратегію видобутку ЗР, як базового продукту економіки держави, для методології проведення досліджень доцільно виділити два основних напрями забезпечення оптимальної енергоємності видобутку даного виду КК, а саме: постачання фізичних обсягів енергоресурсів у відповідності до потреб економіки, зменшуючи при цьому вплив зовнішніх факторів на стабільність енергозабезпечення, і зниження темпів зростання потреби економіки в енергоносіях при забезпеченні стабільного зростання ВВП шляхом підвищення ефективності використання енергоресурсів національною економікою. Причому, ці напрями також сприяють укріпленню економічної безпеки держави. Кожен із приведених напрямів має свої пріоритети. Загалом реалізація вирішення завдання забезпечення оптимальної енергоємності видобутку залізорудної сировини з урахуванням перелічених факторів передбачає два напрями. Реалізація першого напрямку має на увазі: забезпечення максимального використання наявних власних енергоресурсів і джерел енергії шляхом інтенсифікації власних обсягів видобутку, збільшення глибини видобутку, нових технологій перетворення енергії, використання вторинних енергоресурсів; модернізації основних фондів, у першу чергу підприємств паливно-енергетичного комплексу (ПЕК), рівень зношеності основних фондів яких складає біля 60 %; розроблення сукупності заходів для забезпечення життєдіяльності економіки на випадок не передбачуваних обставин у ПЕК чи з поставками паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Реалізація другого напрямку має забезпечити: зміну структури промислового виробництва шляхом зменшення питомої ваги енерго- та ресурсоємних галузей; комплексну модернізацію і переозброєння господарських комплексів України загалом та залізорудних підприємств окремо на основі енергозбереження, впровадження найновіших

енергозберігаючих технологій, сучасних телекомунікаційних та комп'ютерних мереж; зменшення марнотратного і безгосподарного використання ПЕР та вторинних енергоресурсів; розширення використання альтернативних джерел енергії. Аналіз обох пріоритетів напрямів забезпечення оптимальної енергоємності залізорудних підприємств вказує на енергозбереження як ключовий напрям прикладання зусиль управлінського спрямування.

З огляду на це може бути сформульовано основні складові формування щодо підходів комплексного оцінювання електроспоживання залізорудними підприємствами: теоретичне обґрунтування методологічних положень моніторингу електроспоживання енергоємних складових; моделювання; оптимізації і прогнозування; обґрунтування і визначення інформативних ознак та показників енергоефективності за допомогою факторного аналізу тощо. Це особливо важливо в умовах обмеженого обсягу сукупності даних.

ДОДАТОК Б

Практика застосування теорії виробничих систем в оцінюванні споживання електроенергії як процесу в умовах залізорудних шахт

У даний час науковці не безпідставно використовують у наукових дослідженнях синергетичний підхід і математичну теорію активних систем, вважаючи, що синергетика – це теорія самоорганізації в системах різноманітної природи. Тобто, в складних виробничих системах у цілому можуть з'явитися властивості, якими не володіє жодна із складових даної системи. В той же час щодо математичної теорії активних систем, то вона надає понятійний апарат для опису механізмів функціонування виробничих систем і дозволяє вирішувати наступні задачі:

Аналіз. Задані структура і механізм функціонування системи. Виходячи з розумних гіпотез про поведінку активних елементів, визначити ефективність функціонування активної системи.

Синтез. Визначити механізм і закони функціонування активної системи, забезпечуючи її максимальну ефективність.

Основні принципові положення синергетики і математичної теорії активних систем є підґрунтям щодо оцінювання споживання електричної енергії на вітчизняних підземних підприємствах із видобутку ЗР.

При розгляді основних управлінських функцій складних виробничих систем, якими є залізорудне підприємство, як правило, виділяють функції організації і планування. Ці функції у широкому сенсі є узагальнюючими (інтегральними) управлінськими функціями. Функція планування може бути визначена як організація людської діяльності на засадах встановлення її критеріїв і цілей, засобів і методів досягнення. Функція організації може визначатися як особливий процес впорядкований і цілеспрямований щодо певних дій, тобто, може регламентувати реалізацію усіх функцій.

Питання щодо дослідження системи оцінювання параметрів споживання ЕЕ безпосередньо пов'язані із складовими теорії виробничих систем.

Для тлумачення таких процесів і механізмів системи оцінювання споживання ЕЕ суттєвими є такі її ознаки:

1. Система оцінювання споживання ЕЕ – це багаторівнева множина підсистем з обмеженою самостійністю і правом пріоритету дій підсистем.

2. У виробничій системі повинні контролюватися головні виміри підсистем, а окремим складовим системи або підсистемам надається певна самостійність щодо вибору рішень. Зазначимо, що повинні враховуватися загальносистемні і власні обмеження (рис. Б.1).

3. Елементарною складовою системи оцінювання споживання ЕЕ, що здійснює діяльність, є суб'єкт управління. Суб'єкт втілює ухвалення управлінських рішень. Такі рішення неможливо формалізувати через управлінські функції, вони акумулюють елементарний цикл управлінського процесу.

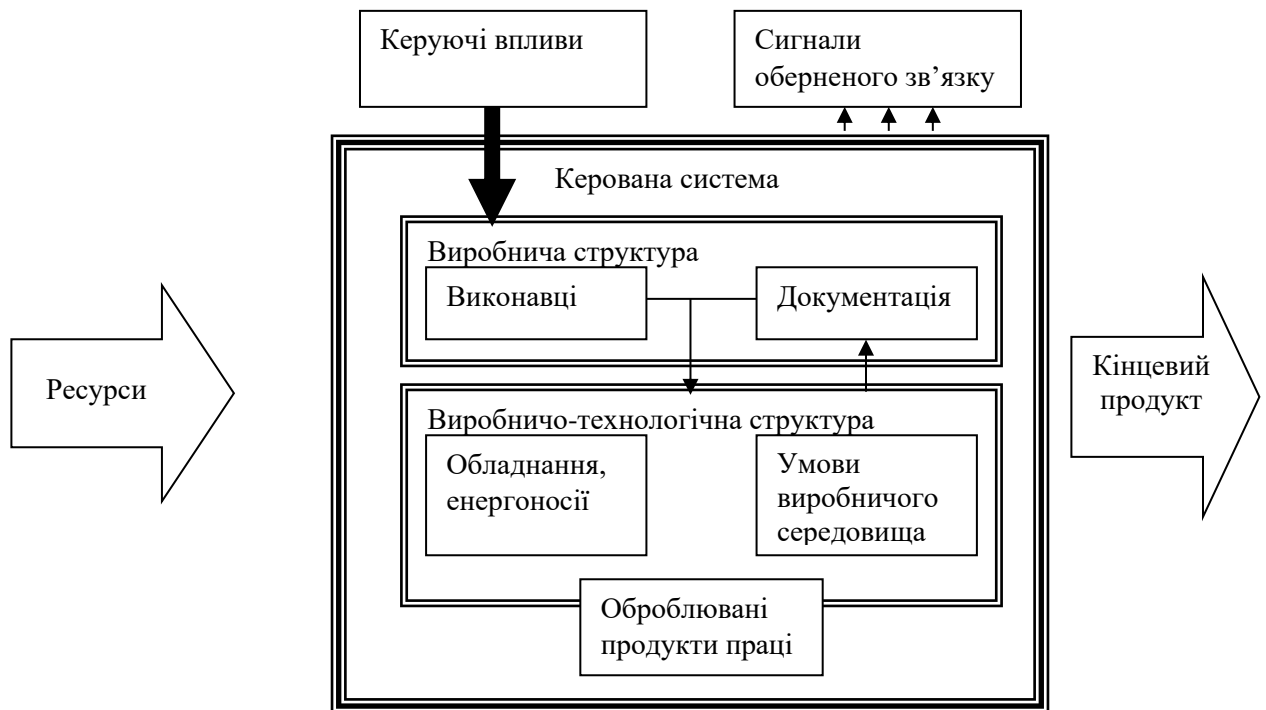


Рисунок Б.1 – Структура процесу оцінювання споживання електричної енергії підприємством

Наявність локальних цілей обумовлює конфлікти в системі – внутрішньорівневі та міжрівневі. Міжрівневі конфлікти в системі виникають при несумісності глобальної мети і локальних цілей підсистем. Природно, що структурні елементи оцінювання споживання ЕЕ на нижньому рівні прагнуть надати хибні дані або приховати частку ресурсів залізорудного підприємства від рівнів, які стоять вище.

Внутрішньоступеневі конфлікти виникають при перешкоджанні іншими підсистемами досягнення локальних цілей.

Формалізація ряду наведених ознак дає можливість формувати методологію і теорії активних систем. Об'єктами управління цієї теорії є активний елемент (АЕ). На змістовному рівні АЕ може визначатися як цілеспрямовано функціонуючий і володіючий ознакою самоорганізації (саморозвитку), він генерує з різною ефективністю в залежності від цілей управлінської дії в сенсі оцінювання споживання ЕЕ та прийняття відповідних рішень. Такою активною системою може бути як залізорудне підприємство загалом, так і його найбільш енергоємні складові.

Поводження активних елементів системи певною мірою визначається заданим механізмом її функціонування.

Механізм функціонування містить:

- 1) прийоми побудови критеріїв, цілей, планів оцінювання споживання ЕЕ;
- 2) закономірності оцінювання, планування, стимулювання;
- 3) організацію процесів оцінювання споживання ЕЕ відповідно до функцій планування, обліку, контролю, ухвалення рішень, управлінських дій.

Сукупність змінних, що описують стан i -х активних елементів, на вході – x_i , а на виході – y_i . Маючи на увазі відповідну інтерпретацію, вектор входів x_i є як певні ресурси i -го АЕ, а вектор виходів y_i – як результат діяльності виробничої системи – залізорудного підприємства. Ефективність r_i функціонування АЕ _{i}

визначається відповідністю витрат і результатів, тобто $r_i = r_i(x_i, y_i)$ i -го АЕ, який є вектор реалізації, тоді $r_i = r_i(u_i)$.

Центр управління не має точної інформації про потенційну ефективність активного елемента. При формуванні плану центр керування (ЦК) використовує інформацію про параметри моделей АЕ.

σ_i – оцінка вектор-параметрів r_i , що використовується центром для планування. Причому, хоча $\sigma_i \in \Omega_i$ області ефективних реалізацій, у загальному випадку $\sigma \neq r$. Процедуру формування плану π_i для АЕ _{i} можна визначити як відображення $\pi_i: \Omega_i \rightarrow u_i^\pi$, тобто, аналітичне відображення закону планування.

Вектор-план $u_i^\pi = (x_i^\pi, y_i^\pi)$, що встановлюється ЦК активним елементам, визначає заплановану реалізацію для i -го АЕ і характеризує «бажані» значення відповідних компонент реалізації. План повинен реалізовуватися, тобто:

$$u_i^\pi \in U_i,$$

де U_i – безліч реалізацій АЕ.

Розмірність u_i у загальному випадку більше розмірності u_i^π , оскільки частина змінних АЕ переводиться у вільні змінні u_i^0 . Вектор u_i^0 складає множину змінних, що утворюються виключенням із u_i планових змінних u_i^π , тобто:

$$u_i = (u_i^0, u_i^\pi).$$

Центр контролює змінні вектор-плану u_i^π , тоді як змінні, що оцінюються, знаходяться безпосередньо в розпорядженні АЕ.

Розмірність u_i^0 для всіх АЕ вважається однаковою (до однакової розмірності вони приводяться шляхом додавання нульових компонент). Це обумовлено необхідністю представлення системи як групи функціонально однорідних підсистем. Однорідність АЕ – перша умова забезпечення принципу порівнянності оцінок.

Друга умова, необхідна для проведення оцінювання, пов'язана з урахуванням співвідношення результатів і витрат активного елемента щодо досягнення результатів діяльності виробничої системи – підприємства. Порівнянність оцінок забезпечується приведенням кожної із змінних реалізації u_i до одиниці використання ресурсу, наприклад, у формі різного роду питомих показників.

Ефективність суттєво залежить від того, наскільки обґрунтовано здійснюється вибір виробничої політики. Обґрунтування управлінських рішень безпосередньо пов'язане з проведенням комплексного техніко-економічного аналізу. Вибір найкращого варіанту щодо управління споживанням ЕЕ має здійснюватися на засадах порівняльного аналізу оцінювання енергоефективності варіантів рішень.

Виробничі системи, безумовно, є відповідною мірою складними виробничими системами. Виробничі системи відрізняються своїми специфічними особливостями.

В умовах швидкоплинних змін середовища проявляється адаптивність виробничих систем. Збереження вирішальних ознак із метою підтримки визначних змінних у певних межах – основне завдання енергоефективності.

Значними труднощами стосовно аналізу і оцінювання системи споживання ЕЕ є наявність емерджентних ознак. Ці властивості найменш доступні відстеженню і виміру. Вони можуть бути означені й кількісно описані лише на основі техніко-аналітичного аналізу.

Складність технічного стану залізородного підприємства унеможливорює повну формалізацію систем оцінювання споживання ЕЕ. При моделюванні систем оцінювання споживання ЕЕ виділяють дві підсистеми: здебільшого формалізована, здебільшого неформалізована. Зовнішні параметри задаються щодо формалізованої підсистеми, визначають правомірність певних процедур.

Ефективна формалізація систем оцінювання споживання ЕЕ передбачає доповнення зовнішніми даними, що обумовлюються досягнутим ступенем дослідження виробничої системи та її відповідної взаємодії з середовищем. Такий процес забезпечується системним підходом щодо опису об'єктів дослідження. Природно, формалізація – це система моделей, пов'язаних між собою прямими і зворотними каналами зв'язку.

Враховуючи, що залізорудне підприємство є складним об'єктом, то для вирішення поставленої задачі доцільно побудувати математичну модель функціонування підприємства.

При цьому, для розширення кордонів сприйняття і оцінювання можливих неординарних спрямувань у сфері підвищення електроенергоефективності залізорудних підприємств розглядати будемо і можливість власної генерації ЕЕ даними видами підприємств. У такому випадку під спрощеною моделлю електропостачання-електроспоживання підприємства будемо розуміти залежність, яка пов'язує вхідну і вихідну змінні та може бути записана у вигляді

$$y = f(x) \quad (\text{Б.1})$$

де x – вхідна змінна,

y – вихідна змінна.

У загальному випадку функціональна залежність (Б.1) невідома, тому вважається доцільним розглядати залізорудне підприємство як «чорний ящик», про внутрішній зміст якого невідомо, і модель представляється багатополюсником із невідомою структурою. На рис. Б.2 представлена схема залізорудного підприємства як «чорного ящика».



Рисунок Б.2 – Структурна схема залізорудного підприємства – варіант «чорний ящик»

Відповідно до проблеми, яка досліджується, оцінювання процесу споживання ЕЕ залізорудним підприємством за рахунок власного джерела ЕЕ застосовується як додатково можливий вклад у загальне споживання ЕЕ залізорудним підприємством.

На рис. Б.3 представлено схему, яка пояснює використання частки власних джерел споживання ЕЕ залізорудним підприємством.

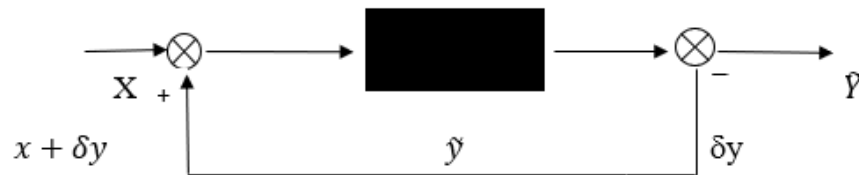


Рисунок Б.3 – Структурна схема використання ресурсів споживання електричної енергії залізорудним підприємством

Згідно з рис. Б.3 на вхід підприємства, представленого як «чорний ящик», надходить вхідна змінна, яка складається з власних джерел ЕЕ (x), частина яких формується за рахунок вкладу (δy). В результаті згідно (Б.1) вихідна змінна прийме вигляд:

$$\tilde{y} = f(x + \delta y)$$

Таким чином, доцільно запропонувати наступну методика вирішення оцінювання споживання ЕЕ, маючи часові проміжки споживання ЕЕ.

Нехай заданий проміжок часу $[0; T]$.

При цьому позначимо: $[0; T_1]$ – тариф на «неекономічні» години доби (вдень), $[T_1; T]$ – тариф на «економічні» години доби (вночі).

Згідно умови:

c_1 – вартість активної електричної потужності вдень, тобто, за проміжок $[0; T_1]$,

c_2 – вартість активної електричної потужності вночі, тобто, за проміжок $[T_1; T]$.

Відповідно до умов споживання ЕЕ

$$c_1 > c_2. \quad (\text{Б.2})$$

Нехай c_0 – вартість активної електричної потужності, яка самостійно генерується підприємством.

Згідно умови:

$$c_0 = \frac{1}{4}c_1. \quad (\text{Б.3})$$

$W_0(t)$ – активна потужність власної електроенергії, що споживається на підприємстві, $W_1(t)$ – активна потужність електроенергії від зовнішніх джерел, що споживається на підприємстві.

Нехай Q_0 – заданий об'єм витрат електроенергії за проміжок часу $[0; T]$.

Розглянемо споживання електроенергії протягом часу $[0; T]$ з урахуванням застосування як власної електроенергії, так і електроенергії від зовнішніх джерел:

$$\int_0^t W_0(t)dt + \int_t^T W_1(t)dt = Q_0, \quad (\text{Б.4})$$

де $[0; t]$ – проміжок часу застосування власної електроенергії;

$[t; T]$ – проміжок часу застосування електроенергії від зовнішніх джерел.

Витрати електроенергії за заданий проміжок часу $[0; T]$ запишуться у вигляді:

$$Z(t) = \begin{cases} c_0 \cdot \int_0^t W_0(t)dt + c_1 \cdot \int_t^{T_1} W_1(t)dt + c_2 \cdot \int_{T_1}^T W_1(t)dt, & 0 \leq t \leq T_1 \\ c_0 \cdot \int_0^t W_0(t)dt + c_2 \cdot \int_t^T W_1(t)dt, & T_1 \leq t \leq T \end{cases}. \quad (\text{Б.5})$$

Формула (Б.5) визначає залежність витрат електроенергії від часу застосування власної електроенергії.

Враховуючи (Б.3), при зростанні часу застосування власної електроенергії на проміжку часу $[0; T]$ витрати електроенергії (Б.5) будуть зменшуватися. Разом із цим проміжок часу застосування власної електроенергії визначається умовою (Б.4).

У подальшому доцільно перейти до середніх величин згідно формул:

$$\int_0^t W_0(t) dt = \bar{W}_0(t) \cdot t; \quad \int_t^{T_1} W_1(t) dt = \bar{W}_1(t; T_1) \cdot (T_1 - t);$$

$$\int_{T_1}^T W_1(t) dt = \bar{W}_1(T_1; T) \cdot (T - T_1); \quad \int_t^T W_1(t) dt = \bar{W}_1(t; T) \cdot (T - t). \quad (\text{Б.6})$$

Формула (Б.4) запишеться у вигляді:

$$\bar{W}_0(t) \cdot t + \bar{W}_1(t; T) \cdot (T - t) = Q_0. \quad (\text{Б.7})$$

Користуючись (Б.5), знаходимо час застосування власної електроенергії для забезпечення умови (Б.2):

$$t = \frac{Q_0 - \bar{W}_1(t; T) \cdot T}{\bar{W}_0(t) - \bar{W}_1(t; T)} = t_0. \quad (\text{Б.8})$$

Зрозуміло, що в цьому випадку необхідно виконувати умову:

$$\frac{Q_0 - \bar{W}_1(t; T) \cdot T}{\bar{W}_0(t) - \bar{W}_1(t; T)} > 0,$$

або

$$\bar{W}_0(t) > \bar{W}_1(t; T). \quad (\text{Б.9})$$

Враховуючи (Б.8), формула (Б.7) прийме вигляд:

$$Z(t) = \begin{cases} c_0 \cdot \bar{W}_0(t) \cdot t + c_1 \cdot \bar{W}_1(t; T_1) \cdot (T_1 - t) + c_2 \cdot \bar{W}_1(T_1; T) \cdot (T - T_1), & 0 \leq t \leq T_1 \\ c_0 \cdot \bar{W}_0(t) \cdot t + c_2 \cdot \bar{W}_1(t; T) \cdot (T - t), & T_1 < t \leq T \end{cases} \quad (\text{Б.10})$$

Тоді, згідно (Б.8), мінімальна вартість електроенергії за заданий проміжок часу $[0; T]$ запишеться у вигляді:

$$Z(t_0) = \begin{cases} c_0 \cdot \bar{W}_0(t_0) \cdot t_0 + c_1 \cdot \bar{W}_1(t_0; T_1) \cdot (T_1 - t_0) + c_2 \cdot \bar{W}_1(T_1; T) \cdot (T - T_1), & 0 \leq t_0 \leq T_1 \\ c_0 \cdot \bar{W}_0(t_0) \cdot t_0 + c_2 \cdot \bar{W}_1(t_0; T) \cdot (T - t_0), & T_1 < t_0 \leq T \end{cases} \quad (\text{Б.11})$$

Розглянемо окремо випадок, коли:

$$\bar{W}_0(t) = \bar{W}_1(t; T). \quad (\text{Б.12})$$

Підставляючи (Б.12) в (Б.7), знаходимо:

$$\bar{W}_0(t) \cdot T = Q_0. \quad (\text{Б.13})$$

Згідно (Б.13), об'єм витрат електроенергії не залежить від часу застосування власної електроенергії. Рівність (Б.13) дозволяє обчислити активну потужність електроенергії для забезпечення заданого об'єму витрат електроенергії за проміжок часу $[0; T]$ за формулою:

$$\bar{W} = \frac{Q_0}{T}. \quad (\text{Б.14})$$

Тоді, з урахуванням (Б.14), питома вартість електроенергії за заданий проміжок часу $[0; T]$ на одиницю активної потужності запишеться у вигляді

$$\hat{Z}(t) = \begin{cases} (c_0 - c_1) \cdot t + (c_1 - c_2) \cdot T_1 + c_2 \cdot T, & 0 \leq t \leq T_1 \\ (c_0 - c_2) \cdot t + c_2 \cdot T, & T_1 < t \leq T \end{cases} \quad (\text{Б.15})$$

де $\hat{Z}(t) = \frac{Z(t)}{\bar{W}}$.

В якості прикладу розглянемо чисельні розрахунки.

Нехай маємо такі вихідні дані:

$$Q_0 = 520; W_1 = 20; W_0 = 30; T = 24; T_1 = 12; c_0 = 1; c_1 = 8; c_2 = 4. \quad (\text{Б.16})$$

Тоді, згідно (Б.8), знаходимо необхідний час застосування власної електроенергії для заданого об'єму витрат електроенергії:

$$t_0 = 4. \quad (\text{Б.17})$$

Згідно формули (Б.11) з урахуванням (Б.17) мінімальна вартість електроенергії за заданий проміжок часу $[0; T]$ дорівнює:

$$Z(t_0 = 4) = 2270. \quad (\text{Б.18})$$

Користуючись отриманими вище формулами можна, при необхідності, дослідити також залежності вартості спожитої електроенергії від тривалості часу застосування «власної» електроенергії – електроенергії, виробленої автономними джерелами живлення самих гірничорудних підприємств на основі власних ПЕР. Це цікавий момент для подальшого розвитку ідеї застосування автономних джерел ЕЕ за рахунок власних ПЕР.

ДОДАТОК В

«Рамочне» оцінювання ефективності застосування електроенергії, яку може отримати підземне залізорудне підприємство з підземним способом видобутку шляхом розбудови автономних джерел генерації

Рамковий аналіз ефективності застосування електричної енергії автономного власного виробництва в умовах залізрудних шахт представлено на рис. В.1.

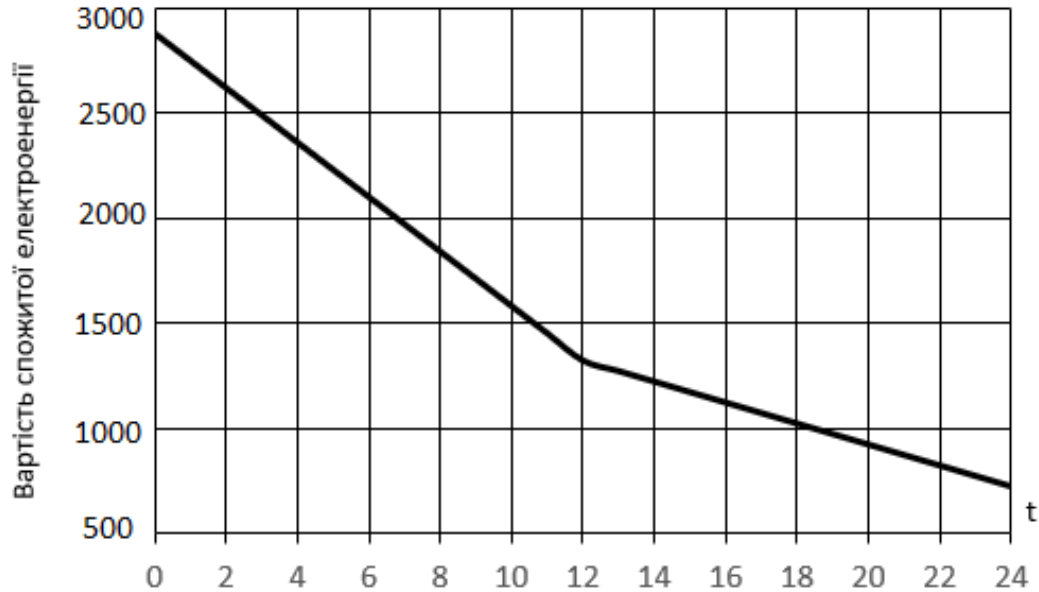


Рисунок В.1 – Залежність вартості спожитої електроенергії від тривалості часу застосування власної електроенергії

Аналіз графіка, приведеного на рис. В.1, показує, що при зростанні тривалості часу застосування власної електроенергії вартість спожитої електроенергії зменшується. Треба підкреслити, що при переході від денного часу до нічного ($t=12$) спостерігається злам графіка, що пояснюється зміною вартості активної потужності електроенергії. У даному випадку вартість активної потужності електроенергії в денний час більше, ніж вартість активної потужності електроенергії в нічний час ($c_1=8 > c_2=4$). Далі, після зламу графіка, спостерігається менша швидкість зменшення вартості спожитої електроенергії.

На рис. В.2 представлено графік залежності вартості спожитої електроенергії від об'єму споживання електроенергії.

Аналіз графіка показує, що при зростанні об'єму споживання власної електроенергії зменшується вартість загально спожитої електроенергії.

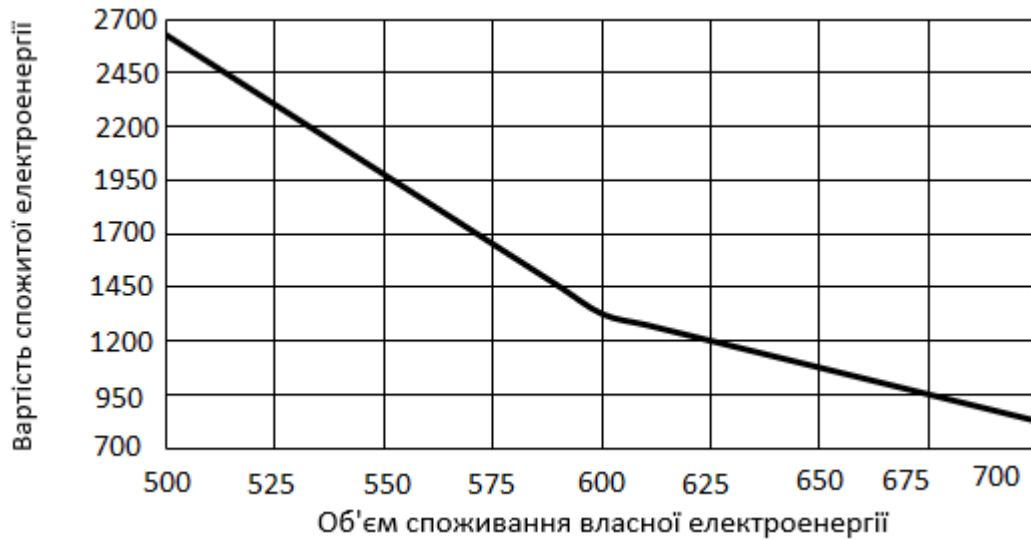


Рисунок В.2 – Залежність вартості спожитої електроенергії від обсягу споживання власної електроенергії

Окремо представлено випадок, коли активна потужність електроенергії, яку отримує підприємство від зовнішніх джерел, дорівнює потужності «власної» електроенергії. У даному випадку для забезпечення заданого об'єму витрат електроенергії за проміжок часу $[0; T]$ необхідна потужність:

$$\bar{W} = \frac{520}{24} = 21,67. \quad (\text{В.1})$$

На рис. В.3 представлено графік залежності питомої вартості електроенергії від тривалості часу застосування «власної» електроенергії, обчисленої за формулою (В.1).

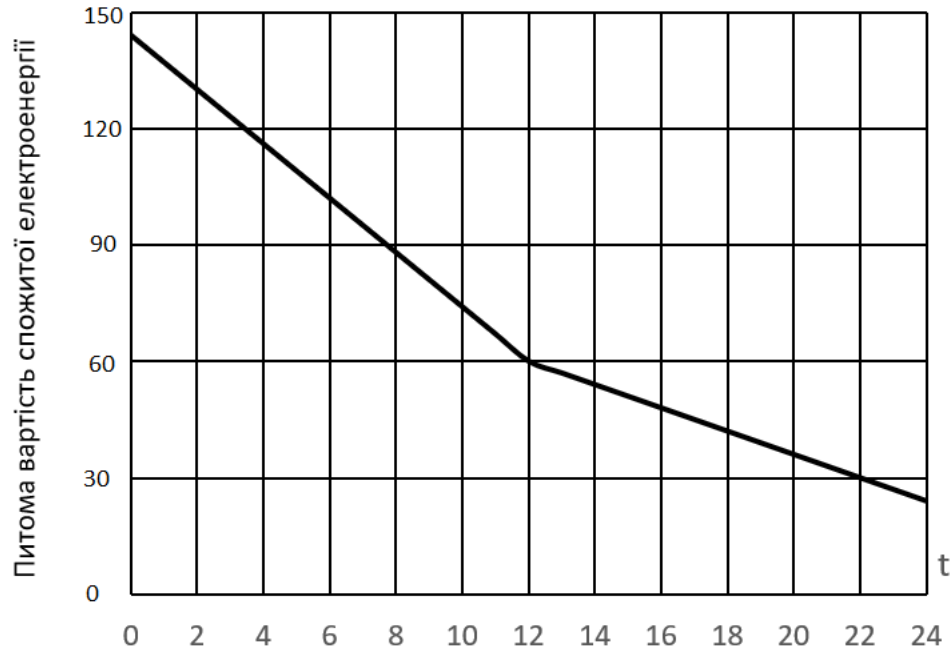


Рисунок В.3 – Залежність питомої вартості спожитої електроенергії від тривалості часу застосування електроенергії власного виробництва

Аналіз приведенного графіка показує, що при зростанні тривалості часу застосування «власної» електроенергії зменшується питома вартість спожитої електроенергії. Злам графіка пояснюється тими ж причинами, які розглянуто вище, тобто, різними вартостними значеннями електроенергії в денні і нічні години.

ДОДАТОК Г

Приклади типових архітектур водовідведення з підземних горизонтів діючих залізорудних шахт України

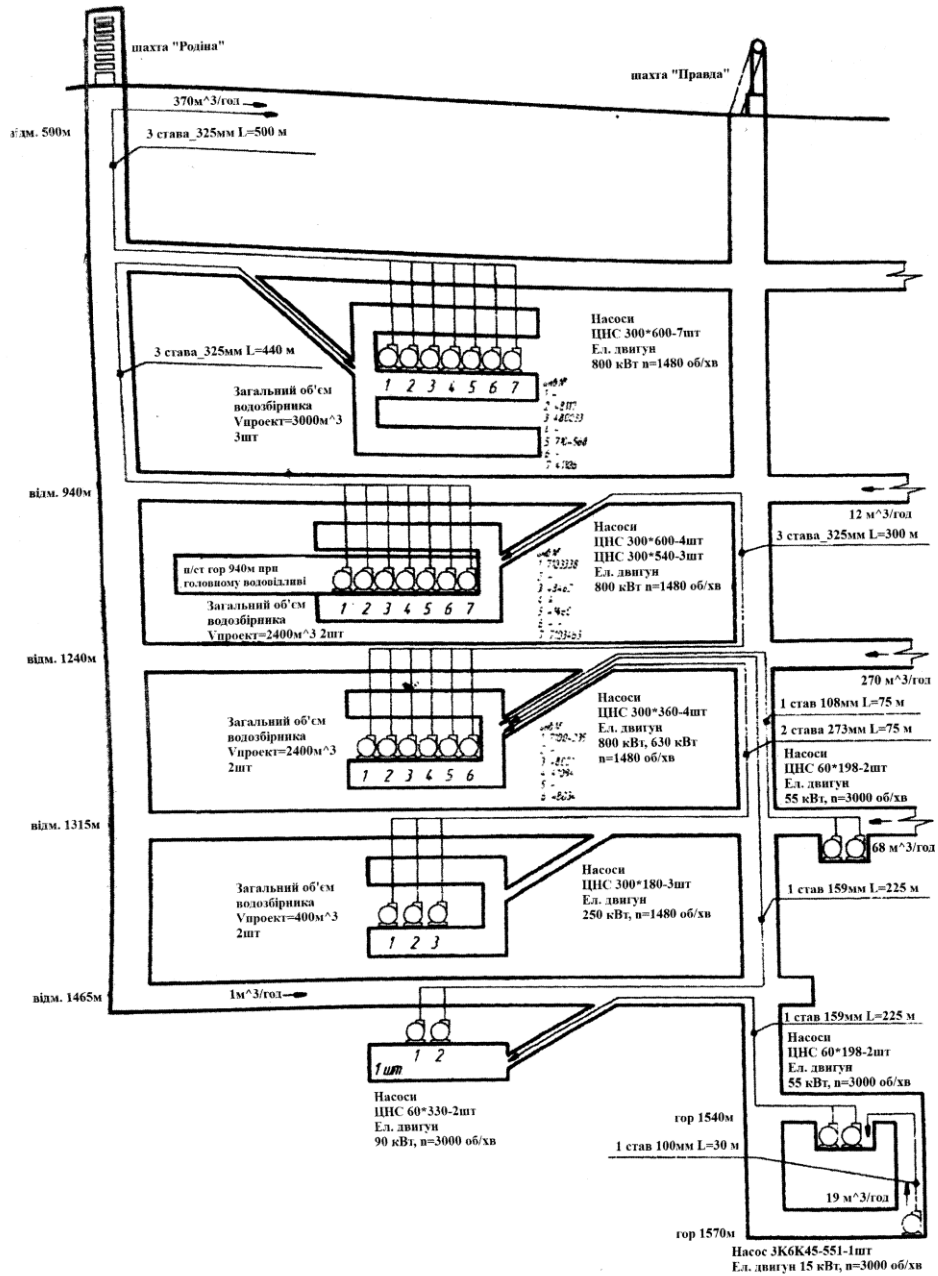


Рисунок Г.1 – Архітектура структур водовідливних комплексів шахти «Криворізька» і шахти «Нова» (м. Кривий Ріг)

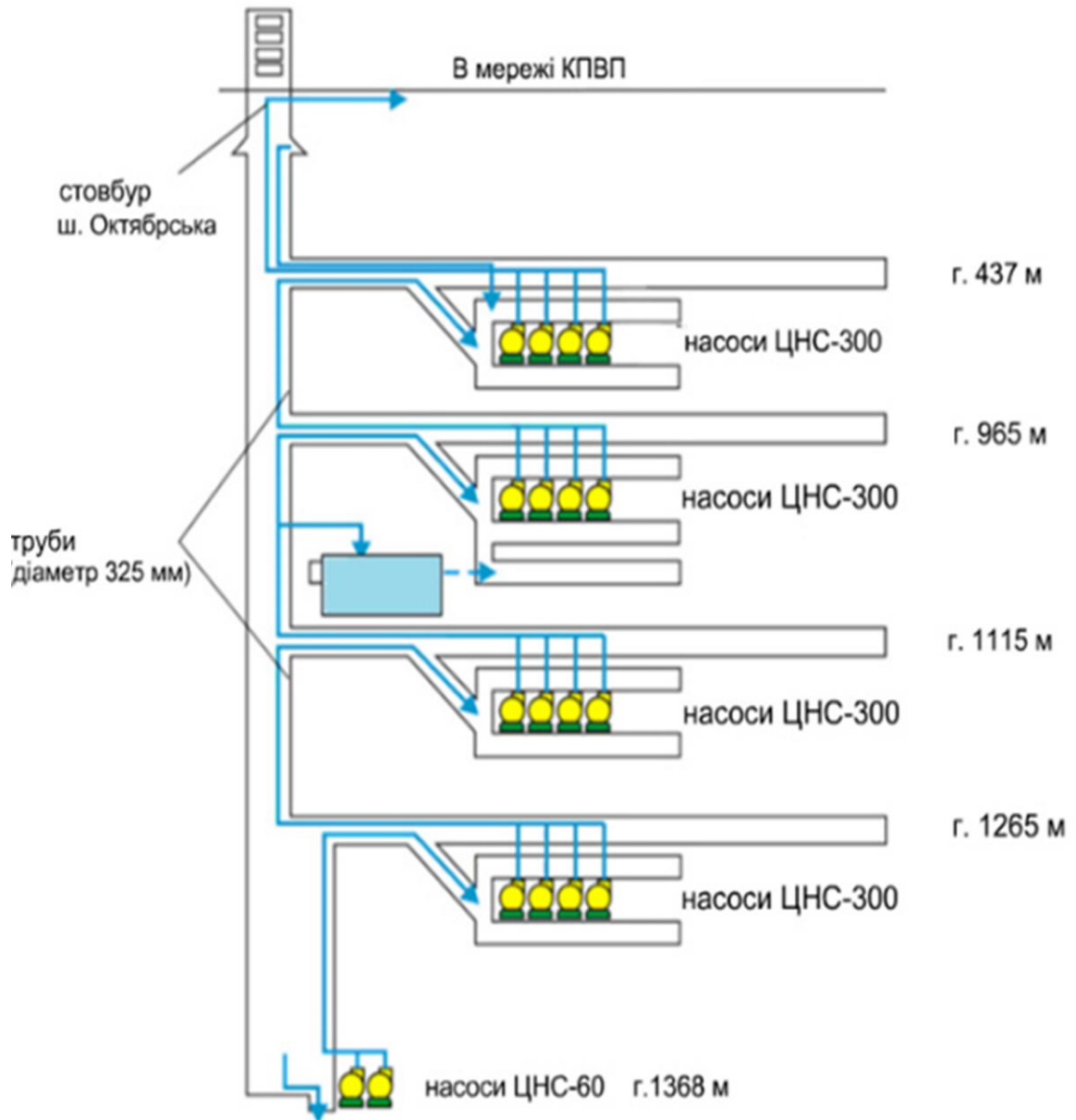


Рисунок Г.2 – Архітектура структури водовідливного комплексу шахти «Покровська» (м. Кривий Ріг)

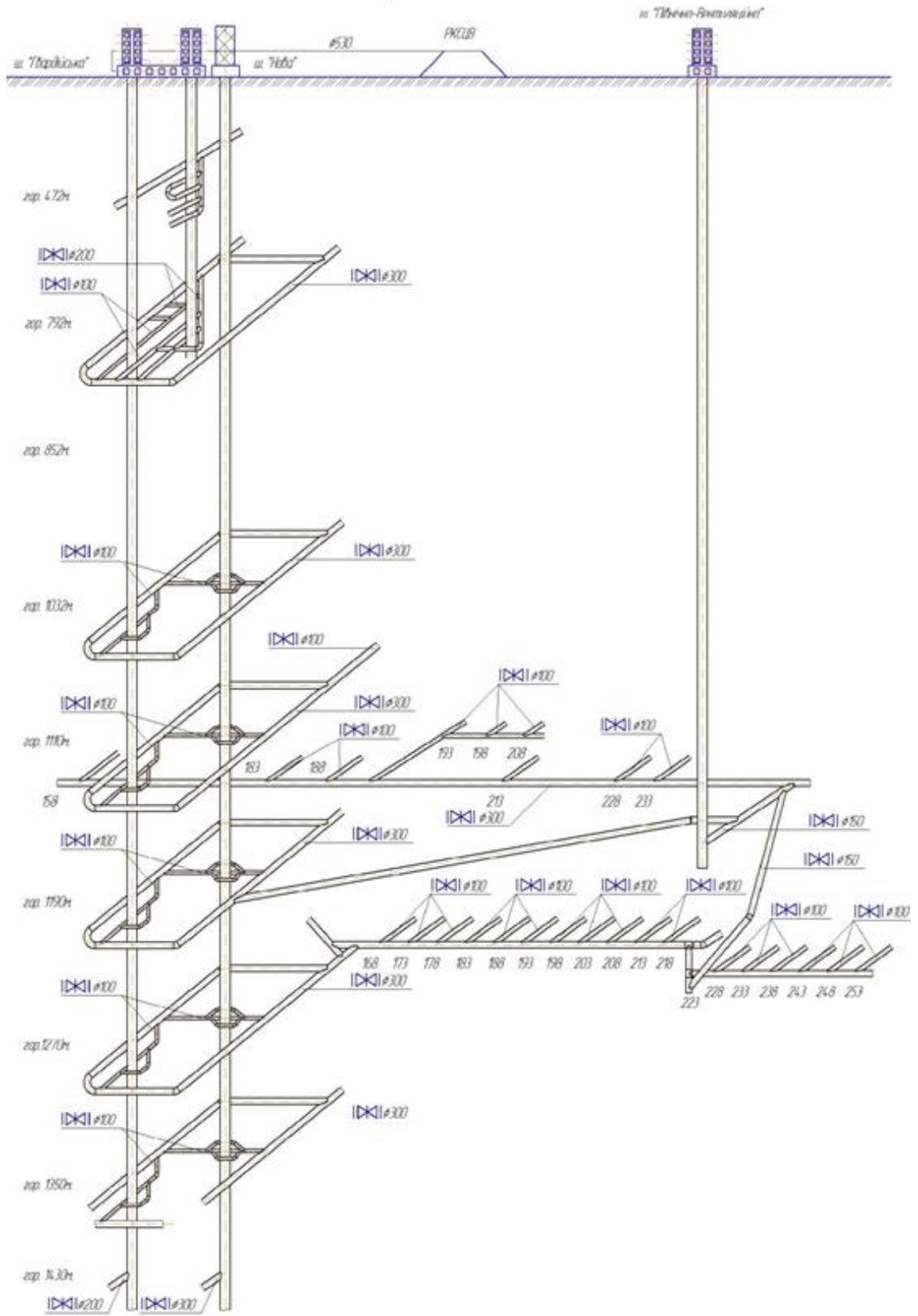


Рисунок Г.3 – Архітектура структури водовідливого комплексу шахти «Козацька» (м. Кривий Ріг)

ДОДАТОК Д

Експериментальні статистичні дані за рівнями споживання електроенергії
рядом залізрудних шахт України

Обсяги водовідведення і відповідних рівнів споживання електроенергії в умовах шахти ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за різні роки наведено в табл. Д.1 – Д.7.

Таблиця Д.1 – Динаміка відкачки шахтних вод і споживання електричної енергії шахти ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у 2023 р.

2023	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень
Електроенергія	975149	841655	973024	991212	1075901	1033889
Шахтна вода	167002	150563	166560	164604	175686	167356
2023	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Електроенергія	1091324	1091598	1047563	1095543	992237	1119099
Шахтна вода	176933	184537	175811	182334	176939	193916

Таблиця Д.2 – Динаміка відкачки шахтних вод і споживання електричної енергії шахти ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у 2022 р.

2022	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень
Електроенергія	1121435	1024988	1003350	1012769	1029659	990781
Шахтна вода	188278	174131	185073	193470	213460	196307
2022	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Електроенергія	1046253	1029925	1032400	1042000	988901	1034193
Шахтна вода	212014	216787	206773	204778	179566	170341

Таблиця Д.3 – Динаміка відкачки шахтних вод і споживання електричної енергії шахти ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у 2021 р.

2021	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень
Електроенергія	975149	841655	973024	991212	1075901	1033889
Шахтна вода	167002	150563	166560	164604	175686	167356
2021	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Електроенергія	1091324	1091598	1047563	1095543	992237	1119099
Шахтна вода	176933	184537	175811	182334	176939	193916

Таблиця Д.4 – Динаміка відкачки шахтних вод і споживання електричної енергії шахти ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у 2017 р.

2017	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень
Електроенергія	1335084	1198466	1238578	1141828	1149385	1176655
Шахтна вода	225713	198893	224659	213507	224647	212983
2017	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Електроенергія	1298739	1188355	1127964	1083697	1143280	1212392
Шахтна вода	222123	221037	211210	212204	203511	243256

Таблиця Д.5 – Динаміка відкачки шахтних вод і споживання електричної енергії шахти ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у 2016 р.

2016	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень
Електроенергія	1331427	1299401	1401075	1307297	1364970	1185856
Шахтна вода	242695	227875	252888	238441	243422	232835
2016	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Електроенергія	1234385	1210972	1225262	1291469	1201867	1118950
Шахтна вода	229554	226633	217599	229321	220021	229768

Таблиця Д.6 – Динаміка відкачки шахтних вод і споживання електричної енергії шахти ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у 2008 р.

2008	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень
Електроенергія	1844808	1688016	1846872	1785792	1794776	1857702
Шахтна вода	327431	323286	333548	323218	338394	326332
2008	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Електроенергія	2319264	2295144	2184840	2017546	1826040	2193192
Шахтна вода	369964	373152	368112	375549	381990	388020

Таблиця Д.7 – Динаміка відкачки шахтних вод і споживання електричної енергії шахти ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у 2007 р.

2007	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень
Електроенергія	2079336	1887552	2082936	2230320	2334432	2305978
Шахтна вода	337035	305150	334066	320155	362138	319459
2007	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Електроенергія	2052528	1893396	1830264	1999984	2291880	2213328
Шахтна вода	314408	345385	339267	368675	330912	326586

Звіти щодо споживання електроенергії помісячно і поквартально в умовах шахт АТ «Криворізький залізорудний комбінат» за різні роки наведено в табл. Д.8 – Д.27.

Таблиця Д.8 – Звіт про споживання електроенергії за січень 2021 р. шахти «Тернівська»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	634 947	634 947	684 947	50 000
ДСФ	кВт·год	299 902	299 902	354 902	55 000
Вентиляція	кВт·год	880 688	880 688	880 688	0
Водовідлив	кВт·год	896 442	961 780	1 071 780	175 338
Інші	кВт·год	386 087	386 087	428 988	42 901
Разом	кВт·год	3 098 066	3 163 404	3 421 305	323 239
Пік	%	16,27		18,27	2,00
Н/п	%	40,09		39,25	-0,84
Ніч	%	43,65		42,48	-1,17
Сира руда	т	113 000	113 000	113 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,619	5,619	6,061	0,442
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	2,654	2,654	3,141	0,487
Шахтна вода	м ³	121 272	130 111	130 111	8 839
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/м ³	7,392	7,392	8,237	0,845
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	9 150		9 160	10

Таблиця Д.9 – Звіт про споживання електроенергії за січень 2021 р.

шахти «Козацька»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	1 138 914	1 138 914	1 138 914	0
ДСФ	кВт·год	424 235	424 235	424 235	0
Вентиляція	кВт·год	825 594	825 594	825 594	0
Водовідлив	кВт·год	765 955	765 955	765 955	0
Інші	кВт·год	598 493	598 493	635 074	36 581
Разом	кВт·год	3 753 191	3 753 191	3 789 772	36 581
Пік	%	15,61		15,52	-0,09
Н/п	%	39,94		40,91	0,97
Ніч	%	44,46		43,58	-0,88
Сира руда	т	161 000	161 000	161 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	7,074	7,074	7,074	0,000
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	2,635	2,635	2,635	0,000
Шахтна вода	м ³	100 440	100 440	100 440	0
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,626	7,626	7,626	0,000
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	12 449		12 019	-430

Таблиця Д.10 – Звіт про споживання електроенергії за січень 2021 р.
шахти «Покровська»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	622 098	622 098	622 098	0
ДСФ	кВт·год	472 405	472 405	472 405	0
Вентиляція	кВт·год	863 197	863 197	816 165	-47 032
Водовідлив	кВт·год	894 176	768 566	768 566	-125 610
Інші	кВт·год	586 685	586 685	586 685	0
Разом	кВт·год	3 438 561	3 312 951	3 265 919	-172 642
Пік	%	15,20		17,26	2,06
Н/п	%	44,57		42,77	-1,80
Ніч	%	40,22		39,97	-0,25
Сира руда	т	107 000	107 000	107 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,814	5,814	5,814	0,000
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	4,415	4,415	4,415	0,000
Шахтна вода	м ³	123 950	106 538	106 538	-17 412
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,214	7,214	7,214	0,000
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	13 275		13 297	22

Таблиця Д.11 – Звіт про споживання електроенергії за січень 2021 р.
шахти «Криворізька»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	696 184	696 184	696 184	0
ДСФ	кВт·год	208 488	208 488	208 488	0
Вентиляція	кВт·год	1 401 457	1 401 457	1 401 457	0
Водовідлив	кВт·год	2 336 881	2 339 356	2 432 106	95 225
Інші	кВт·год	1 011 772	1 011 772	1 011 772	0
Разом	кВт·год	5 654 782	5 657 157	5 750 007	95 225
Пік	%	13,13		16,88	3,75
Н/п	%	47,53		46,36	-1,17
Ніч	%	39,34		36,76	-2,58
Сира руда	т	136 000	136 000	136 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,119	5,119	5,119	0,000
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	1,533	1,533	1,533	0,000
Шахтна вода	м ³	401 388	401 796	401 796	408
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	5,822	5,822	6,053	0,231
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	17 117		16 647	-470

Таблиця Д.12 – Звіт про споживання електроенергії за лютий 2021 р.
шахти «Тернівська»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	629 328	629 328	629 328	0
ДСФ	кВт·год	297 248	297 248	347 009	49 761
Вентиляція	кВт·год	795 463	795 463	795 463	0
Водовідлив	кВт·год	809 195	859 542	933 130	123 935
Інші	кВт·год	348 721	348 721	348 721	0
Разом	кВт·год	2 879 955	2 930 302	3 053 651	173 696
Пік	%	16,27		17,68	1,41
Н/п	%	40,09		37,39	-2,70
Ніч	%	43,65		44,95	1,28
Сира руда	т	112 000	112 000	112 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,619	5,619	5,619	0,000
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	2,654	2,654	3,098	0,444
Шахтна вода	м ³	109 469	116 280	116 280	6 811
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,392	7,392	8,025	0,633
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	8 742		8 882	140

Таблиця Д.13 – Звіт про споживання електроенергії за лютий 2021 р.
шахти «Козацька»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	919 620	919 620	976 020	56 400
ДСФ	кВт·год	342 550	342 550	342 550	0
Вентиляція	кВт·год	745 701	745 701	773 507	27 806
Водовідлив	кВт·год	691 831	691 831	691 831	0
Інші	кВт·год	540 576	540 576	636 816	96 240
Разом	кВт·год	3 240 278	3 240 278	3 420 724	180 446
Пік	%	15,61		15,99	0,38
Н/п	%	39,94		39,74	-0,20
Ніч	%	44,46		44,27	-0,19
Сира руда	т	130 000	130 000	130 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	7,074	7,074	7,508	0,434
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	2,635	2,635	2,635	0,000
Шахтна вода	м ³	90 720	90 720	90 720	0
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,626	7,626	7,626	0,000
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	11 868		12 486	618

Таблиця Д.14 – Звіт про споживання електроенергії за лютий 2021 р.
шахти «Покровська»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	616 284	616 284	570 832	-45 452
ДСФ	кВт·год	467 990	467 990	467 990	0
Вентиляція	кВт·год	779 661	779 661	712 412	-67 249
Водовідлив	кВт·год	894 175	711 690	711 690	-182 485
Інші	кВт·год	529 908	529 908	529 908	0
Разом	кВт·год	3 288 018	3 105 533	2 992 832	-295 186
Пік	%	15,20		17,12	1,92
Н/п	%	44,57		41,04	-3,53
Ніч	%	40,22		41,84	1,62
Сира руда	т	106 000	106 000	106 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,814	5,814	5,385	-0,429
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	4,415	4,415	4,415	0,000
Шахтна вода	м ³	123 950	98 654	98 654	-25 296
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,214	7,214	7,214	0,000
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	12 683		12 244	-439

Таблиця Д.15 – Звіт про споживання електроенергії за лютий 2021 р.
шахти «Криворізька»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	696 184	696 184	696 184	0
ДСФ	кВт·год	208 488	208 488	208 488	0
Вентиляція	кВт·год	1 265 835	1 265 835	1 265 835	0
Водовідлив	кВт·год	2 188 979	2 201 246	2 201 246	12 267
Інші	кВт·год	913 857	913 857	909 098	-4 759
Разом	кВт·год	5 273 343	5 285 610	5 280 851	7 508
Пік	%	13,13		17,02	3,89
Н/п	%	47,53		46,60	-0,93
Ніч	%	39,34		36,38	-2,96
Сира руда	т	136 000	136 000	136 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,119	5,119	5,119	0,000
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	1,533	1,533	1,533	0,000
Шахтна вода	м ³	375 984	378 091	378 091	2 107
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	5,822	5,822	5,822	0,000
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	16 693		16 248	-445

Таблиця Д.16 – Звіт про споживання електроенергії за березень 2021 р.
шахти «Тернівська»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	663 042	663 042	663 042	0
ДСФ	кВт·год	313 172	313 172	360 314	47 142
Вентиляція	кВт·год	880 691	880 691	880 691	0
Водовідлив	кВт·год	909 098	916 246	1 034 041	124 349
Інші	кВт·год	386 084	386 084	386 084	0
Разом	кВт·год	3 152 087	3 159 235	3 324 172	172 085
Пік	%	16,27		15,91	-0,36
Н/п	%	40,09		39,75	-0,34
Ніч	%	43,65		44,34	0,69
Сира руда	т	118 000	118 000	118 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,619	5,619	5,619	0,000
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	2,654	2,654	3,054	0,400
Шахтна вода	м ³	122 984	123 951	123 951	967
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,392	7,392	8,342	0,950
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	9 532		10 860	1 325

Таблиця Д.17 – Звіт про споживання електроенергії за березень 2021 р.
шахти «Козацька»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	877 176	877 176	992 376	115 200
ДСФ	кВт·год	326 740	326 740	326 740	0
Вентиляція	кВт·год	825 598	825 598	912 438	86 840
Водовідлив	кВт·год	765 955	720 001	720 001	-45 954
Інші	кВт·год	598 495	598 495	760 890	162 395
Разом	кВт·год	3 393 964	3 348 010	3 712 445	318 481
Пік	%	15,61		15,83	0,22
Н/п	%	39,94		39,36	-0,58
Ніч	%	44,46		44,81	0,35
Сира руда	т	124 000	124 000	124 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	7,074	7,074	8,003	0,929
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	2,635	2,635	2,635	0,000
Шахтна вода	м ³	100 440	94 414	94 414	-6 026
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,626	7,626	7,626	0,000
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	12 997		13 075	78

Таблиця Д.18 – Звіт про споживання електроенергії за березень 2021 р.
шахти «Покровська»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	593 028	593 028	593 028	0
ДСФ	кВт·год	450 330	450 330	450 330	0
Вентиляція	кВт·год	863 196	863 196	863 196	0
Водовідлив	кВт·год	883 441	722 915	809 697	-73 744
Інші	кВт·год	586 683	586 683	655 318	68 635
Разом	кВт·год	3 376 678	3 216 152	3 371 569	-5 109
Пік	%	15,20		17,26	2,06
Н/п	%	44,57		39,27	-5,30
Ніч	%	40,22		43,48	3,26
Сира руда	т	102 000	102 000	102 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,814	5,814	5,814	0,000
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	4,415	4,415	4,415	0,000
Шахтна вода	м ³	122 462	100 210	100 210	-22 252
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,214	7,214	8,080	0,866
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	13 152		12 898	-254

Таблиця Д.19 – Звіт про споживання електроенергії за березень 2021 р.
шахти «Криворізька»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	726 898	726 898	726 898	0
ДСФ	кВт·год	217 686	217 686	217 686	0
Вентиляція	кВт·год	1 401 460	1 401 460	1 401 460	0
Водовідлив	кВт·год	2 380 197	2 238 348	2 435 602	55 405
Інші	кВт·год	1 011 770	1 011 770	1 011 770	0
Разом	кВт·год	5 738 011	5 593 162	5 793 416	55 405
Пік	%	13,13		17,05	3,92
Н/п	%	47,53		46,16	-1,37
Ніч	%	39,34		36,80	-2,54
Сира руда	т	142 000	142 000	142 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,119	5,119	5,119	0,000
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	1,533	1,533	1,533	0,000
Шахтна вода	м ³	408 828	384 292	384 292	-24 536
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	5,822	5,822	6,338	0,516
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	16 424		16 398	-26

Таблиця Д.20 – Звіт про споживання електроенергії за квітень 2021 р.
шахти «Тернівська»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	716 142	716 142	683 150	-32 992
ДСФ	кВт·год	315 826	315 826	300 826	-15 000
Вентиляція	кВт·год	852 282	852 282	780 282	-72 000
Водовідлив	кВт·год	901 287	890 292	890 292	-11 295
Інші	кВт·год	373 630	373 630	332 630	-41 000
Разом	кВт·год	3 159 467	3 148 172	2 987 180	-172 287
Пік	%	16,27		15,79	-0,48
Н/п	%	40,09		39,16	-0,97
Ніч	%	43,65		45,09	1,44
Сира руда	т	119 000	119 000	119 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	6,018	6,018	5,741	-0,277
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	2,654	2,654	2,528	-0,276
Шахтна вода	м ³	121 968	120 440	120 440	-1 528
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,392	7,392	7,392	0,000
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	9 178		9 179	1

Таблиця Д.21 – Звіт про споживання електроенергії за квітень 2021 р.
шахти «Козацька»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	919 620	919 620	919 620	0
ДСФ	кВт·год	342 550	342 550	342 550	0
Вентиляція	кВт·год	798 966	798 966	798 966	0
Водовідлив	кВт·год	741 247	720 001	720 001	-21 246
Інші	кВт·год	579 189	579 189	608 775	29 586
Разом	кВт·год	3 381 572	3 360 326	3 389 912	8 340
Пік	%	15,61		15,53	-0,08
Н/п	%	39,94		37,62	-2,32
Ніч	%	44,46		46,85	2,39
Сира руда	т	130 000	130 000	130 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	7,074	7,074	7,074	0,000
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	2,635	2,635	2,635	0,000
Шахтна вода	м ³	97 200	94 414	94 414	-2 786
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,626	7,626	7,626	0,000
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	12 554		11 049	-1 505

Таблиця Д.22 – Звіт про споживання електроенергії за квітень 2021 р.
шахти «Покровська»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	593 028	593 028	593 028	0
ДСФ	кВт·год	450 330	450 330	450 330	0
Вентиляція	кВт·год	835 351	835 351	833 347	-2 004
Водовідлив	кВт·год	844 557	604 273	604 273	-240 284
Інші	кВт·год	567 758	567 758	567 758	0
Разом	кВт·год	3 291 024	3 050 740	3 048 736	-242 288
Пік	%	15,20		16,04	0,84
Н/п	%	44,57		39,15	-5,42
Ніч	%	40,22		44,82	4,60
Сира руда	т	102 000	102 000	102 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,814	5,814	5,814	0,000
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	4,415	4,415	4,415	0,000
Шахтна вода	м ³	117 072	83 764	83 764	-33 308
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,214	7,214	7,214	0,000
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	12 288		11 023	-1 265

Таблиця Д.23 – Звіт про споживання електроенергії за квітень 2021 р.
шахти «Криворізька»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	696 184	696 184	696 184	0
ДСФ	кВт·год	208 488	208 488	208 488	0
Вентиляція	кВт·год	1 356 252	1 356 252	1 356 252	0
Водовідлив	кВт·год	2 303 416	2 196 641	2 196 641	-106 775
Інші	кВт·год	979 133	979 133	977 169	-1 964
Разом	кВт·год	5 543 473	5 436 698	5 434 734	-108 739
Пік	%	13,13		13,60	0,47
Н/п	%	47,53		48,90	1,37
Ніч	%	39,34		37,50	-1,83
Сира руда	т	136 000	136 000	136 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,119	5,119	5,119	0,000
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	1,533	1,533	1,533	0,000
Шахтна вода	м ³	395 640	377 300	377 300	-18 340
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	5,822	5,822	5,822	0,000
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	16 539		15 634	-905

Таблиця Д.24 – Звіт про споживання електроенергії за I квартал 2021 р.
шахти «Тернівська»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	1 927 317	1 927 317	1 977 317	50 000
ДСФ	кВт·год	910 322	910 322	1 062 225	151 903
Вентиляція	кВт·год	2 556 842	2 556 842	2 556 842	0
Водовідлив	кВт·год	2 614 735	2 737 568	3 038 951	424 216
Інші	кВт·год	1 120 892	1 120 892	1 163 793	42 901
Разом	кВт·год	9 130 108	9 252 941	9 799 128	669 020
Пік	%	16,27		17,29	1,02
Н/п	%	40,09		38,80	-1,29
Ніч	%	43,65		43,92	0,27
Сира руда	т	343 000	343 000	343 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,619	5,619	5,765	0,146
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	2,654	2,654	3,097	0,443
Шахтна вода	м ³	353 725	370 342	370 342	16 617
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,392	7,392	8,206	0,814
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	27 427		28 902	1 475

Таблиця Д.25 – Звіт про споживання електроенергії за I квартал 2021 р.
шахти «Козацька»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	2 935 710	2 935 710	3 107 310	171 600
ДСФ	кВт·год	1 093 525	1 093 525	1 093 525	0
Вентиляція	кВт·год	2 396 893	2 396 893	2 511 539	114 646
Водовідлив	кВт·год	2 223 741	2 177 787	2 177 787	-45 954
Інші	кВт·год	1 737 564	1 737 564	2 032 780	295 216
Разом	кВт·год	10 387 433	10 341 478	10 922 941	535 508
Пік	%	15,61		15,78	0,17
Н/п	%	39,94		40,00	0,06
Ніч	%	44,46		44,22	-0,24
Сира руда	т	415 000	415 000	415 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	7,074	7,074	7,487	0,413
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	2,635	2,635	2,635	0,000
Шахтна вода	м ³	291 600	285 574	285 574	-6 026
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,626	7,626	7,626	0,000
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	37 314		37 580	266

Таблиця Д.26 – Звіт про споживання електроенергії за I квартал 2021 р.
шахти «Покровська»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	1 831 410	1 831 410	1 785 958	-45 452
ДСФ	кВт·год	1 390 725	1 390 725	1 390 725	0
Вентиляція	кВт·год	2 506 054	2 506 054	2 391 773	-114 281
Водовідлив	кВт·год	2 671 792	2 203 170	2 289 953	-381 839
Інші	кВт·год	1 703 276	1 703 276	1 771 911	68 635
Разом	кВт·год	10 103 257	9 634 635	9 630 320	-472 937
Пік	%	15,20		17,21	2,01
Н/п	%	44,57		41,03	-3,54
Ніч	%	40,22		41,76	1,54
Сира руда	т	315 000	315 000	315 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,814	5,814	5,670	-0,144
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	4,415	4,415	4,415	0,000
Шахтна вода	м ³	370 362	305 402	305 402	-64 960
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	7,214	7,214	7,498	0,284
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	39 110		38 439	-671

Таблиця Д.27 – Звіт про споживання електроенергії за I квартал 2021 р.
шахти «Криворізька»

Найменування	Од. виміру	Оперативний план	План на виконані обсяги	Факт	Відхилення
Скіповий підйом	кВт·год	2 119 266	2 119 266	2 119 266	0
ДСФ	кВт·год	634 662	634 662	634 662	0
Вентиляція	кВт·год	4 068 752	4 068 752	4 068 752	0
Водовідлив	кВт·год	6 906 057	6 777 851	7 068 954	162 897
Інші	кВт·год	2 937 399	2 937 399	2 932 640	-4 759
Разом	кВт·год	16 666 136	16 537 930	16 824 274	158 138
Пік	%	13,13		16,98	3,85
Н/п	%	47,53		46,37	-1,16
Ніч	%	39,34		36,65	-2,69
Сира руда	т	414 000	414 000	414 000	0
Питома витрата по СПУ	кВт·год/т	5,119	5,119	5,119	0
Питома витрата по ДСФ	кВт·год/т	1,533	1,533	1,533	0
Шахтна вода	м ³	1 186 200	1 164 179	1 164 179	-22 021
Питома витрата по водовідливу	кВт·год/ м ³	5,822	5,822	6,072	0,250
Стиснене повітря (тис. м ³)	тис. м ³	50 234		49 293	-941

ДОДАТОК Е

Базові характеристики насосів шахтних водовідливних комплексів

На водовідливних комплексах залізорудних шахт використовуються насоси типу ЦНС 300-120..600 і більш сучасні типу ЦНСШ 300-140...800, параметри яких наведено в табл. Е.1, Е.2; робочі характеристики – на рис. Е.1, Е.2, де Q – подача; H – напір; η – ККД; Δh_d – допустимий кавітаційний запас; $Z_{ст}$ – число ступенів насоса; $N_{ст}$ – споживана потужність.

Таблиця Е.1 – Базові характеристики насосів типу ЦНС 300

Модель	Подача, м ³ /год.	Потужність, кВт	Напір, м	Частота обертів, об/хв
ЦНС 300–240	300	315	240	1475
ЦНС 300–300	300	400	300	1475
ЦНС 300–360	300	500	360	1475
ЦНС 300–420	300	500	420	1475
ЦНС 300–480	300	630	480	1475
ЦНС 300–540	300	800	540	1475
ЦНС 300–600	300	800	600	1475

Таблиця Е.2 – Базові характеристики насосів типу ЦНСШ 300

Характеристики	Моделі									
	300- 140	300- 210	300- 290	300- 360	300- 430	300- 500	300- 570	300- 650	300- 720	300- 800
Напір, м	143	214	286	358	430	500	572	645	715	800
Потужність, споживана насосом, кВт	150	225	300	375	450	525	600	675	750	825
Коефіцієнт корисної дії, %	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79

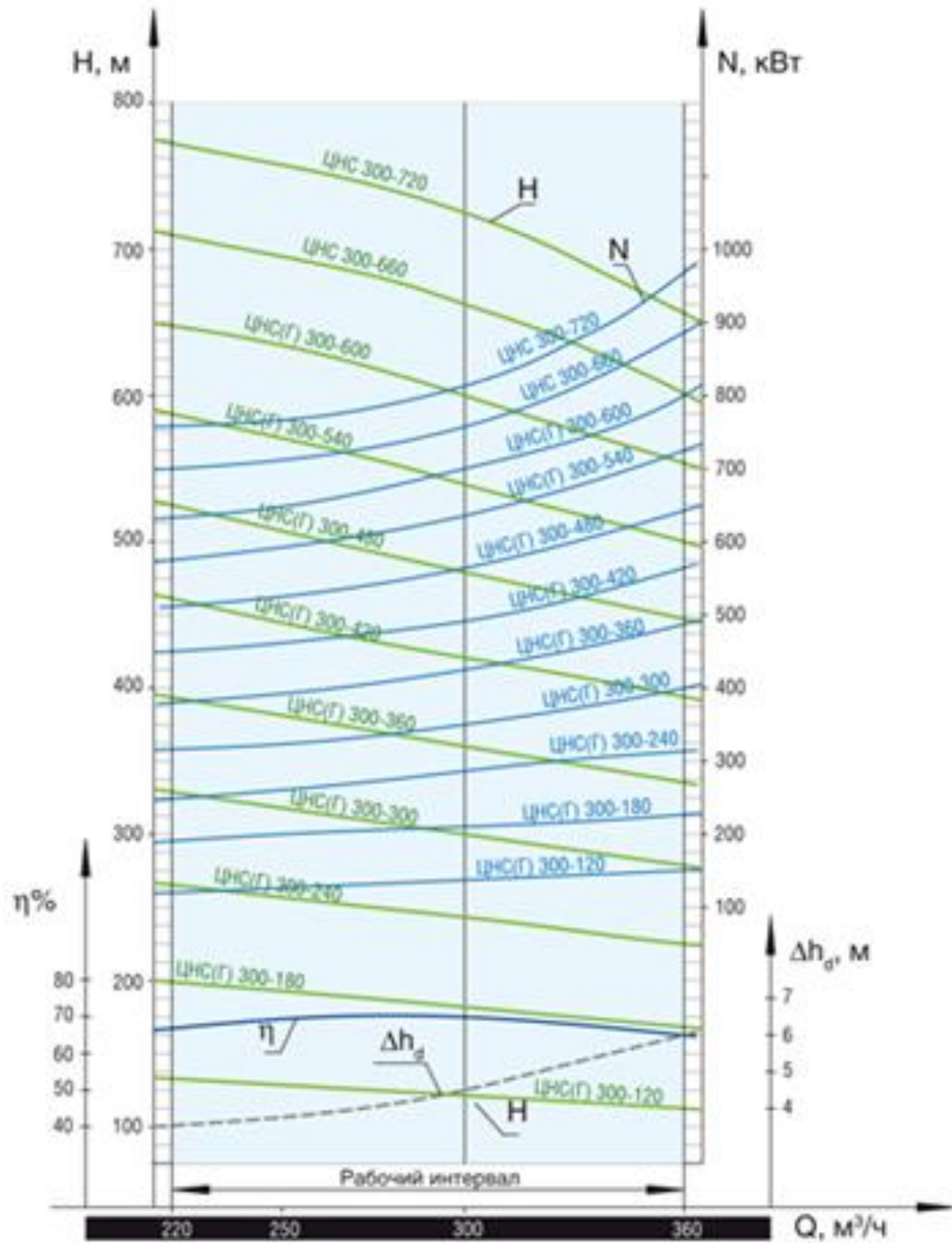


Рисунок Е.1 – Технологічні характеристики функціонування насосів типу ЦНС 300

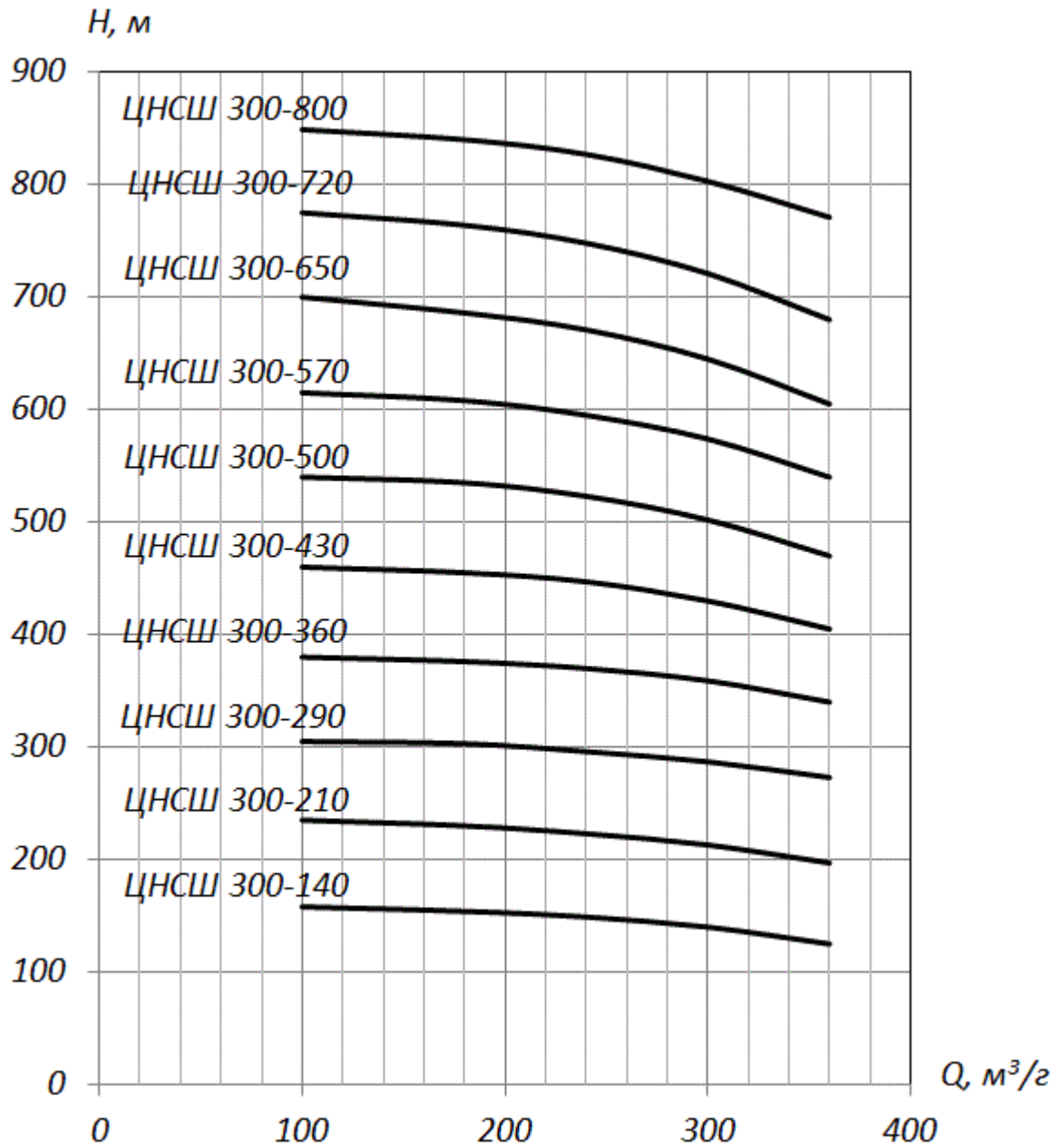


Рисунок Е.2 – Електромеханічні характеристики насосів типу ЦНСШ 300

Порівняльні характеристики насосів різних типів ЦНСШ 300-570 і ЦНС 300-600 наведено в табл. Е.3.

Таблиця Е.3 – Порівняльні характеристики насосів різних типів ЦНСШ 300-570 і ЦНС 300-600

Характеристики	Тип	
	ЦНСШ 300-570	ЦНС 300-600
Частота обертів, об/хв	1480	1475
Подача, м ³ /год.	300	300
Напір, м	570	570
Число ступенів	8	10
Напір ступеня, м	72	57
Споживана потужність, кВт	600	716
ККД, %	77	65
Допустимий кавітаційний запас, м	3,5	4,5
Маса, кг	2740	2410
Середнє напрацювання на відмову, год.	6500	500
Середній ресурс до капітального ремонту, год.	12500	3800

ДОДАТОК Є

Збільшення енергоефективності головних водовідливних комплексів за
допомогою нічних тарифів

Раніше основна увага була приділена тільки одному напрямку енергозбереження – зниженню електроспоживання за допомогою регулювання вниз швидкостей коліс насосів. Розглянемо можливість економії за рахунок різниці в оплаті за електроенергію протягом доби. Як відомо, вартість електроенергії різна в години доби: денні години – 1,9 грн/кВт, нічні години – 2,1 грн/кВт.

Економію ЕЕ можна досягнути, якщо:

- 1) максимально використовувати насоси усіх горизонтів виключно вночі;
- 2) споживати електроенергію вдень, зберігаючи її з ночі.

Перший варіант можливий при збільшенні об'ємів водозбірників горизонтів до необхідно мінімального рівня, другий – при використанні накопичувачів енергії.

Збільшення об'ємів водозбірників підземних горизонтів залізородних шахт

Для того, щоб насоси в денний час не працювали, потрібно, щоб природний приплив води хоча б на горизонті 1240 м за 16 годин не переповнив водозбірник. Тобто, резервуар повинен мати ємність не менше $476 \cdot 16 = 7616 \approx 8000 \text{ м}^3$. У даний час на горизонті 1240 м є у наявності ємність $2 \cdot 2400 = 4800 \text{ м}^3$. Розрахуємо економічний ефект від перенесення роботи насосів у нічний час за рахунок розширення об'єму водозбірника до 8000 м^3 . У вихідному варіанті, коли насоси працювали незалежно від часу доби, для відкачування на поверхню всього добового об'єму води ($476 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 24 \text{ год.} = 11424 \text{ м}^3$) необхідно було, щоб за добу використовувалось мінімум 36,5 насосо-годин (при продуктивності кожного насоса $\approx 313 \text{ м}^3/\text{год}$ і споживаній потужності 371 кВт), тобто, за добу повинні працювати 1-2 насоси. Припустимо, що один насос працює постійно, а другий – час від часу, усю ніч і частину дня. Тоді вночі цей насос буде працювати 8 годин, а вдень – 4,5 години. Розрахуємо вартість електроенергії за добу:

$$C_{e1} = 371 \text{ кВт} \cdot 16 \text{ год} \cdot 2,1 \text{ грн/кВт} + 2 \cdot 371 \text{ кВт} \cdot 8 \text{ год} \cdot 1,9 \text{ грн/кВт} +$$

$$+ 371 \text{ кВт} \cdot 4,5 \text{ год} \cdot 2,1 \text{ грн/кВт} = 32889 \text{ грн.}$$

Розглянемо інший варіант: уся накопичена за 16 денних годин вода відкачується за 8 нічних годин. У такому випадку, для відкачування накопичених 4800 м^3 , а також $476 \cdot 8 = 3808 \text{ м}^3$, що додатково надійдуть за ніч (у сумі складають 9408 м^3), потрібно буде, щоб вночі працювали 4 насоси протягом 7,5 нічних годин (як раз водозбірник буде повністю пустий) і 1 насос протягом 0,7 нічних годин (щоб відкачати додаткові $476 \cdot 0,5 \text{ год} = 238 \text{ м}^3$) та 1 насос протягом 9 денних годин (що як раз приведе до повного заповнення водозбірника на ніч). Розрахуємо вартість електроенергії за добу для вказаного варіанта – максимально використати насоси для відкачування води суто в нічний час:

$$\begin{aligned} C_{e2} &= 371 \text{ кВт} \cdot 4 \text{ шт.} \cdot 7,5 \text{ год} \cdot 1,9 \text{ грн/кВт} + \\ &+ 371 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ шт.} \cdot 0,7 \text{ год} \cdot 1,9 \text{ грн/кВт} + 371 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ шт.} \cdot 9 \text{ год} \cdot 2,1 \text{ грн/кВт} = \\ &= 28652 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Різниця в оплаті електроенергії за добу складас:

$$\Delta C = C_{e1} - C_{e2} = 32889 - 28652 = 4237 \text{ грн.}$$

Як можна побачити, спроба використовувати насоси суто в нічний час призвела до того, що отримано додатковий економічний ефект. За рік він досягне величини: $365 \cdot 4237 = 1546505 \text{ грн} = 1,5 \text{ млн грн.}$

Збільшення об'єму водозбірника до необхідного мінімуму

Припустимо ситуацію, що в денні години не працював жодний насос. Це можливо тільки за умови, коли шахтні води самотоком заповняють повністю водозбірник. Виходить, що за 16 годин самотоку необхідно мати водозбірник ємністю $16 \cdot 476 = 7616 \text{ м}^3$.

Тоді, в нічний час, щоб відкачати усю воду, повинні працювати 3 насоси протягом 8,11 годин (практично всю ніч). Розрахуємо вартість електроенергії для вказаного варіанта:

$$C_{e3} = 371 \text{ кВт} \cdot 3 \text{ шт.} \cdot 8,11 \text{ год} \cdot 1,9 \text{ грн} = 17150 \text{ грн.}$$

Економічний ефект із первинним варіантом за добу складе:

$$\Delta C = C_{e1} - C_{e3} = 27250 - 17150 = 10100 \text{ грн.}$$

За рік сумарна економія буде $10100 \cdot 365 = 3686500$ грн = 3,7 млн грн. Такого економічного ефекту можна досягти виключно за рахунок збільшення об'єму водозбірника з 4800 м^3 до 7616 м^3 , тобто на 60 %.

Використання накопичувачів енергії

Якщо виходити з того, що на горизонті 1240 м буде неможливо розширити водозбірник до потрібних 7616 м^3 , то залишається можливість використання накопичувачів енергії для додаткового живлення насосів у денні годині. У накопичувачах необхідно запасати електроенергію, закуплену за нічною ціною.

Раніше було визначено, що перекачування 11424 м^3 за добу можна забезпечити за умови роботи 1-2 насосів (36,5 насосо-годин), причому один насос повинен працювати і вдень, і вночі, а інший – вночі та додаткові 4,5 години вдень.

Визначимо економічний ефект при такому зниженні сплати за електроенергію:

$$C_{e4} = 371 \text{ кВт} \cdot 4,5 \text{ год} \cdot (2,1 - 1,9 \text{ грн}) = 333,9 \text{ грн.}$$

За рік ця сума складе: $C_{e4p} = 333,9 \cdot 365 = 121873,5$ грн = 121,8 тис. грн.

Визначимо, скільки енергії потрібно для живлення одного насоса за 4,5 години:

$$E = t_{\text{роб}} \cdot P_{\text{спожив}} \cdot 3600 = 4,5 \text{ год} \cdot 371000 \text{ Вт} \cdot 3600 = 6010200000 \text{ Дж.}$$

Розрахуємо капітальні вкладення на придбання іоністорів. Необхідно накопичити 6,01 млрд Дж енергії. Згідно відомого виразу потенціальної енергії конденсатора:

$$E = \frac{CU^2}{2},$$

ємність іоністора буде дорівнювати:

$$C = \frac{2E}{U^2} = \frac{2 \cdot 6010200000}{8100^2} = 183 \text{ Ф},$$

де 8100 – напруга ланки постійного струму, яка була обчислена згідно відомого співвідношення для схеми Ларіонова:

$$U_d = U_{2л} \cdot 1,35 = 6000 \cdot 1,35 = 8100 \text{ В}.$$

Припустимо, що використаємо корейські суперконденсатори типу LSUC 2,8 В ємністю 3000 Ф, та розрахуємо їх потрібну кількість. При нарузі ланки постійного струму 8100 В при послідовному з'єднанні буде потрібно $8100/2,8 = 2892$ суперконденсаторів. Прийнято для простоти, що послідовно з'єднані 3000 суперконденсаторів. При цьому сумарна ємність знизиться до величини $C_{\text{один}}/K_{\text{посл}} = 3000 \text{ Ф} / 3000 \text{ шт.} = 1 \text{ Ф}$. Щоб збільшити ємність до потрібної величини 183 Ф, необхідно забезпечити послідовне з'єднання 183 гілок, виконаних із 3000 послідовно з'єднаних суперконденсаторів. Таким чином, усього повинно бути використано $3000 \cdot 183 = 549000$ шт. суперконденсаторів.

Закупівельна вартість складає 1000 грн/1 шт., тому прямі витрати на суперконденсатори складуть:

$$549000 \cdot 1000 = 549000000 = 549 \text{ млн грн}.$$

Нажаль, при економічному ефекті 121873,5 грн/рік термін окупності складе:

$$549000000 / 121873,5 = 4504,7 \text{ років}.$$

Розглянемо варіант використання акумуляторних батарей замість надкошторисних суперконденсаторів. При номінальному струмі статора асинхронного двигуна 90 А струм ланки постійного струму перед інвертором буде складати:

$$90 / 0,817 \approx 110 \text{ А}.$$

Визначимо величину мінімально необхідної ємності акумуляторів:

$$110 \cdot 4,5 \text{ год} \approx 495 \text{ А}\cdot\text{г}.$$

Кількість послідовно зібраних акумуляторів:

$$8100 \text{ В} / 12 \text{ В} = 675 \text{ шт.}$$

Таким чином, щоб створити електрохімічний накопичувач енергії, необхідно використати 675 послідовно з'єднаних акумуляторів ємністю 495 А·г кожен. Найбільш розповсюджені акумулятори від 55 А·ч до 100 А·г. Якщо паралельно з'єднати 5 акумуляторів ємністю 100 А·г, то можна отримати потрібну сумарну ємність $100 \cdot 5 = 500 \text{ А·г}$.

Тоді батарея електрохімічних елементів буде складатися з $675 \cdot 5 = 3375$ акумуляторів. При вартості кожного з них приблизно 3000 грн підсумкові витрати на їх придбання складуть:

$$B = 3375 \cdot 3000 \text{ грн} = 10125000 \text{ грн.}$$

При прямій економії 121873,5 грн термін окупності від впровадження складе 83 роки.

ДОДАТОК Ж

Акти впровадження результатів досліджень

АКТ

*передачі документації по розробці системи керування роботою водовідливного комплексу за результатами дисертаційної роботи
БАРАНОВСЬКОГО Владислава Дмитровича
«Нечітке керування режимами електроспоживання електромеханічними системами головних водовідливних комплексів залізрудних шахт»
в практику роботи НВО «Ракурс»*

«НВО «Ракурс» являє собою базову організацію з проектування систем електропостачання та керування цим процесом в умовах гірничорудних підприємств. Тому результати досліджень, виконані в дисертаційній роботі БАРАНОВСЬКОГО Владислава Дмитровича, цікаві для поточної та подальшої роботи нашого підприємства.

В перфектному стані «НВО «Ракурс» впроваджується:

- методика розрахунку та оцінювання обсягів водоприпливів в годинах доби на гірничих підприємствах;
- методика розробки вхідних параметрів для розбудови алгоритму системи керування водовідливним комплексом підприємства;
- структура розбудови системи керування водовідливного комплексу залізрудного підприємства.

Директор НВО «Ракурс»  Володимир САМОЙЛОВ



29.12.2023 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи
БАРАНОВСЬКОГО Владислава Дмитровича
 «Нечітке керування режимами електроспоживання електромеханічними
 системами головних водовідливних комплексів залізрудних шахт»
 в практику роботи ТОВ «РУДОМАЙН»

ТОВ «РУДОМАЙН» – одне з провідних підприємств України з видобутку залізрудної сировини – руди високої якості. В плані підвищення ефективності функціонування підприємство активно співпрацює з українськими та зарубіжними партнерами (ПАТ «Дніпровський металургійний завод», ПАТ «Подільський цемент», ПАТ «Івано-Франківськцемент», ПАТ «ХайдельбергЦемент Україна», US Steel Kosice (Словаччина), Liberty Ostrava a.s. (Arcelor Mittal Steel Ostrava Чехія), ISD Dunaferr Co. Ltd (Угорщина), Zelezara Smederevo (Сербія), Lafarge Ciment (Moldova)). ТОВ «РУДОМАЙН» збільшує потужності виробництва, закуповує та модернізує застаріле обладнання, в тому числі електрообладнання для зменшення енергосмістості видобуваної руди.

В зв'язку з цим, для ТОВ «РУДОМАЙН» цікавими є результати дисертаційних досліджень **БАРАНОВСЬКОГО** Владислава Дмитровича, сегменти яких, як і дослідження в цілому, впроваджувались та продовжують впроваджуватись в практику роботи підприємства.

В переліку впроваджень:

- методика оцінювання процесу водовідведення підземних вод як стохастичного процесу, що дозволяє прогнозувати обсяги водоприпливу;
- переформатизація режимів роботи водовідливного комплексу в функції існуючих добових тарифів на електроенергію, існуючих та непередбачених в часі режимів роботи підприємства;
- розроблення технічних умов та передача їх у відповідні проектні організації для розробки пілотного проекту системи керування роботою водовідливного комплексу підприємства;
- необхідність приступити до розробки технічних умов на створення системи керування електропостачанням-електроспоживанням підприємства.

Економічний ефект, очікуваний від впровадження вищенаведених заходів, може скласти 4,5-7,5 млн. грн. з терміном окупності – чотири роки (в цінах 2023 р.).

Процес впровадження результатів дисертаційної роботи Барановського Владислава в практику роботи ТОВ «РУДОМАЙН» продовжується.

Генеральний директор

Володимир КОЛОС

d7. 12. 2023р.



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор

Криворізького національного університету

Владислав ЧУБАРОВ



«18» грудня 2023 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

БАРАНОВСЬКОГО Владислава Дмитровича

«Нечітке керування режимами електроспоживання електромеханічними системами
головних водовідливних комплексів залізрудних шахт»

Комісія у складі голови декана електротехнічного факультету, канд. техн. наук, доцента Владислава Федотова та членів комісії: завідувачки навчально-методичного відділу Світлани Івашури, завідувача кафедри електричної інженерії, професора Олега Сінчука, канд техн. наук, доцента кафедри електричної інженерії Ігоря Пересунька, склала цей акт про впровадження у навчальний процес результатів дисертаційної роботи Владислава БАРАНОВСЬКОГО «Нечітке керування режимами електроспоживання електромеханічними системами головних водовідливних комплексів залізрудних шахт» шляхом впровадження матеріалів цих дисертаційних досліджень до: лекційних курсів та переліку практичних занять навчального курсу «Диспетчеризація, моніторинг та керування в електроенергетичних системах» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Для забезпечення впровадження матеріалів дисертаційних досліджень були використані наступні складові дисертаційної роботи Владислава БАРАНОВСЬКОГО:

до лекційних занять з курсу «Диспетчеризація, моніторинг та керування в електроенергетичних системах»:

- математичне моделювання режимів електропостачання-електроспоживання головними водовідливними комплексами залізрудних шахт як стохастичного процесу;
- запропонована система експертного керування енергоспоживанням шахтними водовідливними комплексами на базі алгоритму нечіткого логічного виводу Мамдані.

до практичних занять з курсу «Диспетчеризація, моніторинг та керування в електроенергетичних системах»:

- методика розрахунку процесу водовідливу шахтних вод за нормальним законом розподілу ординат швидкості накопичення води на підземному горизонті, що надає

можливість отримати повну характеристику енергозатрат шляхом визначення обсягів накопичення води та водовідведення з заданої глибини за визначений час як випадкового процесу;

– методика підвищення енергоефективності залізорудних шахт шляхом забезпечення функціонування електромеханічних систем насосних агрегатів в енергоефективних режимах з урахуванням їх електромеханічних параметрів, логістики розбудови керування режимами їх роботи та добових тарифів на електроенергію.

Комісія встановила відповідність впроваджених результатів вимогам проведення учбових занять в Криворізькому національному університеті для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Голова комісії:

Декан електротехнічного факультету,
канд. техн. наук, доцент



Владислав ФЕДОТОВ

Члени комісії:

Завідувачка навчально-методичного
відділу



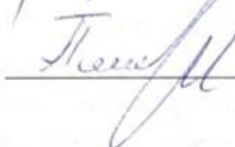
Світлана ІВАШУРА

Завідувач кафедри ЕІ,
д-р техн. наук



Олег СІНЧУК

Доцент кафедри ЕІ,
канд. техн. наук



Ігор ПЕРЕСУНЬКО