

Денис Пилипович Божик,*канд. техн. наук, наук. співробітник*

Інститут економіки промисловості НАН України

вул. Марії Капніст, 2, м. Київ, 03057, Україна

E-mail: dionis@ukr.net<https://orcid.org/0000-0001-7620-7997>;**Віталій Олександрович Баш,***аспірант*

Інститут економіки промисловості НАН України

вул. Марії Капніст, 2, м. Київ, 03057, Україна

E-mail: Bash.v@dch.com.ua<https://orcid.org/0009-0008-1173-2174>;**Антоніна Сергіївна Баш,***аспірантка*

Інститут економіки промисловості НАН України

вул. Марії Капніст, 2, м. Київ, 03057, Україна

E-mail: antonina.bash@gmail.com<https://orcid.org/0009-0006-8086-0626>;**Дмитро Дмитрович Чейлях,***головний економіст*

Інститут економіки промисловості НАН України

вул. Марії Капніст, 2, м. Київ, 03057, Україна

E-mail: ddchl@ukr.net<https://orcid.org/0000-0002-8638-1443>

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРУЮЧИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ШАХТНИХ ПІДЙОМІВ У ПРОМИСЛОВИХ УМОВАХ

Статтю присвячено актуальній тематиці розподіленої генерації електричної енергії. Як генератори електричної енергії розглянуто клітьові та скіпові шахтні підйомні установки підприємства з видобутку залізної руди.

Метою статті є співставлення теоретичних й експериментальних даних щодо генерації електроенергії шахтними підйомними установками рудника «Суша Балка» (м. Кривий Ріг).

У процесі дослідження застосовано теоретичні методи з перетворення потенційної енергії твердого тіла на електричну при його переміщенні шахтним стволем, а також інструментальні вимірювання споживання і генерації електричної енергії клітьовими та скіповими підйомними установками під час промислової експлуатації.

Регламент дослідження: збір та обробка інформації про функціонування клітьової та скіпової підйомних установок шахти ім. Фрунзе та аналогічних показників клітьової та скіпової підйомних установок шахти «Ювілейна» за період з 1 вересня по 31 грудня 2021 р.

Запропоновано інструментальне вимірювання електричних параметрів шахтних підйомних установок у реальних умовах експлуатації (залізорудна промисловість). Встановлено, що обсяги генерації електроенергії шахтними клітьовими підйомними установками суттєво перевищують результати скіпових підйомних установок. Реально одержані показники щодо генерації електроенергії клітьовими підйомними установками є набагато меншими, ніж за результатами теоретичних оцінок. Виявлено дисбаланс між генерацією та споживанням енергетичних ресурсів: 9% по клітьовому підйому шахти ім. Фрунзе; близько 2% по клітьовому



© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2024

підйому шахти «Ювілейна»; менше 1% по скіпових установках. Доведено існування кореляційного статистично значимого зв'язку між генерацією і споживанням електроенергії підйомною установкою шахти ім. Фрунзе та відсутність статистично значимого зв'язку між генерацією та споживанням електроенергії клітьовою підйомною установкою шахти «Ювілейна». Електроенергії, одержаної протягом добової експлуатації двох клітьових і двох скіпових установок рудника «Суха Балка» (приблизно 400 кВт·год.), достатньо для живлення 58 середньостатистичних українських домогосподарств.

Ключові слова: електроенергія, генерація, споживання, шахтний підйом, дослідження, теоретичні, експериментальні, рудна промисловість.

JEL: L60, L71

Той факт, що шахтні підйомні установки в процесі експлуатації здатні генерувати електроенергію, є загальновідомим. Уряд Великобританії планує за їх допомогою розвивати старопромислові вугільні регіони (Morstyn, Chilcott, McCulloch, 2019). Так, в англійському регіоні Мідлендс, де в давнині працювали сотні глибоких вугільних шахт, завдяки чому він і отримав історичну назву «Чорна країна (Black Country)», було пройдено тисячі стволів, які потім вийшли з експлуатації. Велика глибина розробок і розвиненість підземного простору, які для добувних підприємств є пасивом, для гравітаційної енергетики перетворюються на визначальний актив – у світі все більше уваги привертають енергетичні сховища, технологія яких заснована на перетворенні потенційної енергії твердого тіла на електричну в процесі руху масивного вантажу шахтним стволом: униз – двигуни підйомних машин працюють у режимі генератора з рекуперацією електроенергії в мережу, вгору – споживають енергоресурси, щоб виконати перезарядку сховища.

Відомим апологетом гравітаційних сховищ на базі шахт є Т. Морстін (Morstyn, Botha, 2022). Проблематику шахтних енергосховищ розглянуто вітчизняними науковцями (Ильяшов, Левит, Череватский, 2015; Амоша, Череватський, 2018; Amosha et al., 2019), а також іншими авторами (Roushenas, Gholamyankarkon, Arabkoohsar, 2023). Разом із тим недоцільно залишити поза увагою результати досліджень, що містять критичні моменти, наприклад практичні напрацювання польських експертів. Так, автор

статті (Siostrzonek, 2023) зауважує, що у випадку підйомної машини думка про залежність ефективності зберігання енергії лише від ефективності двигуна є хибною. Якби це було так, стверджує він, ефективність накопичення енергії в разі потенційної енергії була б дуже високою (понад 90%), але за результатами вимірювань ефективність такого накопичувача є значно нижчою. Необхідно враховувати, наполягає дослідник, всі компоненти шахтного підйомника. За його досвідом показники становлять приблизно 40-50%. Достатньо обережними щодо шахтних підйомних установок як енергетичних сховищ є висновки, наведені в статті (Kulpra et al., 2021). Автори зосередилися на перевірці ефективності гравітаційного накопичення енергії в існуючих кам'яновугільних шахтах Польщі. Для Польщі – країни з розгалуженою гірничодобувною інфраструктурою, яка шукає нові науково-практичні рішення щодо використання застарілих гірничих активів для нових цілей – зазначена тема є вельми актуальною. Дослідження було зосереджено на одному шахтному стволі, розташованому в межах Верхньосілезького вугільного басейну (Górnośląskie Zagłębie Węglowe). Призначення стволу – дренаж сусіднього родовища. У статті наведено кількість енергії, яку теоретично можна накопичити, та результати аналізу ефективності накопичення енергії в шахті в розрахунку на 1 цикл роботи за день (зарядка та розрядка) при низьких цінах уночі та високих цінах у години пік. Автори відзначають оригінальність розглянутого випадку, хоча накопичувачі енергії вже функціону-

ють по всьому світу. Висновки науковців свідчать про невелику економічну ефективність такого варіанта шахтного способу акумуляції енергії.

Метою статті є співставлення теоретичних й експериментальних даних щодо генерації електроенергії шахтними підйомними установками рудника «Суха Балка» (м. Кривий Ріг).

Рудник «Суха Балка» в м. Кривий Ріг уже понад століття здійснює видобуток залізної руди шахтним способом. У складі ПрАТ «Суха Балка» перебувають дві

шахти: «Ювілейна» з виробничою потужністю 2250 тис. т на рік та ім. Фрунзе – 1050 тис. т аглоруди на рік. Очисні роботи здійснюються на великих глибинах – гор. 860 м, 940 і 1020 м по шахті «Ювілейна» і 985-1135 м по шахті ім. Фрунзе. Разом із тим у справному стані перебуває клітьовий підйом у стволі виведеної з експлуатації старої шахти «Центральна», який нерегулярно використовується шахтою «Ювілейна» для спуску-підйому людей і матеріалів.

Характеристику підйомних установок наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика підйомних установок

Позначення ствола	Клітьовий ствол шахти ім. Фрунзе	Клітьовий ствол шахти «Ювілейна»	Скіповий ствол шахти ім. Фрунзе	Скіповий ствол шахти «Ювілейна»
Вид підйомної установки	Одноклітьова двоповерхова з противагою	Одноклітьова двоповерхова з противагою	Односкіпова з противагою	Односкіпова з противагою
Вид підйомної машини	Одноканатна з біциліндроконічним барабаном	Багатоканатна зі шкивом тертя	Одноканатна з біциліндроконічним барабаном	Багатоканатна зі шкивом тертя
Тип підйомної машини	БЦК 8/5х2,7	МК 5х4	БЦК 8/5х2,7	ЦШ 5х8
Тип двигуна	ПБК 380/80	МПК-1250-80 (2 шт.)	ДПП 381/110-29	П2-800-255-8к (2 шт.)
Потужність двигуна, кВт	2000	750	3400	5000
Маса порожньої судини, т	11,6	23,0	10,8	40,0
Маса противаги, т	18,0	32,8	32,8	102,5
Маса навантаженої судини, т	28,6	38,0	32,8	102,5
Швидкість підйому, м/с	3	5	10	8
Висота підйому, м	1297	1580	1297	1580

Теоретичні дослідження

Теоретична механіка і теорія електроприводу визначають рівняння з перетворення потенційної енергії тіла на електричну

$$E = 2,778 \cdot 10^{-7} \cdot M \cdot g \cdot H \cdot \eta, \quad (1)$$

де E – кількість електричної енергії, яку здатна виробити клітьова підйомна установка

за один спуск вантажу з верхнього прийомного майданчику до приствольного двору, кВт·год.;

M – різниця маси підйомного сосуду, що піднімається, і підйомного сосуду, що опускається шахтним стволом, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

H – висота підйому, м;

η – коефіцієнт корисної дії підйомної установки в процесі перетворення потенційної енергії тіла на електричну, ч. од.

Результати розрахунку енергії, яку здатна виробити клітьова підйомна установка в умовах експлуатації, є контрольними стосовно фактичних результатів, отриманих інструментальним способом.

Експериментальні дослідження енергії, яку споживає і генерує підйомна установка

Вимірювання електричної енергії, яку фактично споживає та фактично генерує підйомна установка, виконано інструментально за допомогою встановлених на підстанціях електричних лічильників, які функціонують в автоматичному режимі. У процесі досліджень із зареєстрованих даних відібрано показники, які відповідають споживанню/виробленню електроенергії за кожен добу експлуатації підйомної установки протягом чотирьох останніх місяців 2021 р. Із початком воєнних дій у 2022 р. рівень навантаження на шахтні підйоми став суттєво нижчим, ніж за розглянутий період, що обумовило регламент спостережень.

Дані щодо вимірювання енергетичних ресурсів, які спожила і виробила підйомна установка, зібрано по скіпових та клітьових підйомах як по шахті ім. Фрунзе, так і по шахті «Ювілейна».

Усі одержані результати інструментальних досліджень піддано перевірці на нормальність розподілу з вибірковою невідповідних.

Із застосуванням коефіцієнта лінійної кореляції Пірсона (r -Пірсона) оцінено справедливість нульової гіпотези щодо відсутності тісного зв'язку між показниками, які характеризують споживання та генерацію електричної енергії скіповими і клітьовими підйомними установками.

Статистичні характеристики вибірки показників генерації електроенергії шахтними підйомами візуалізує діаграма виду Box-Whiskers Plot (Boxplot – «ящик з вусами»). «Коробка» містить значення, які

входять в інтерквартильний розмах (ІКР), а «вуса» відображають значення, які перебувають нижче та вище першого і третього квартилів. «Викидами» є значення поза межами інтервалу $1,5 \times$ ІКР.

Теоретично максимальна генерація енергії відбувається, коли елемент з більшою масою (навантажена кліть) з поверхні пересувають вниз (у напрямку приствольного двору на нижньому горизонті), а елемент меншої маси (противага) піднімають на канаті вгору – від приствольного двору на нижньому горизонті до поверхні. За другою частиною циклу підйомно-опускальних операцій противагу після видалення навантажених вагонеток з обох поверхів кліті опускають вниз, а порожню кліть – угору.

За формулою (1) величина E_1 , що відповідає першому етапу циклу по шахті ім. Фрунзе, дорівнює

$$E_1 = 2,778 \cdot 10^{-7} \cdot (28600 - 18000) \cdot 9,8 \cdot 1297 \cdot 0,8 = 29,9 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (2)$$

На другому етапі циклу обсяг генерації електроенергії складає

$$E_1 = 2,778 \cdot 10^{-7} \cdot (18000 - 11600) \cdot 9,8 \cdot 1297 \cdot 0,8 = 18,1 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (3)$$

Тобто максимальний загальний обсяг генерації електроенергії за один повний цикл підйому по клітьовому стволу шахти ім. Фрунзе як сума E_1 та E_2 складає 48 кВт·год. Отже, кожні 10 циклів роботи підйому здатні надати майже 0,5 МВт·год., що є достатньо потужною генерацією електроенергії. Це є теоретичною оцінкою функціонування клітьової підйомної установки в режимі рекуперації електроенергії з перевезенням вантажу з верхнього приймального майданчика (поверхня шахти) до приствольного двору на нижньому горизонті. Проте реальні показники є принципово іншими (табл. 2).

На рис. 1 наведено діаграму чотиримісячної вибірки даних щодо добової генерації електроенергії клітьовим підйомом шахти ім. Фрунзе.

Таблиця 2 – Споживання та генерація електроенергії підйомними установками рудника «Суха Балка» протягом 01.09.2021 р.-31.12.2021 р., кВт·год./добу

Показник	Математичне очікування	Довірчий інтервал
Споживання клітьовим підйомом ш. ім. Фрунзе	1866	16
Генерація клітьовим підйомом ш. ім. Фрунзе	171	7
Споживання клітьовим підйомом ш. «Ювілейна»	6930	222
Генерація клітьовим підйомом ш. «Ювілейна»	132	13
Споживання скіповим підйомом ш. ім. Фрунзе	16145	659
Генерація скіповим підйомом ш. ім. Фрунзе	15	2
Споживання скіповим підйомом ш. «Ювілейна»	25043	1356
Генерація скіповим підйомом ш. «Ювілейна»	58	2

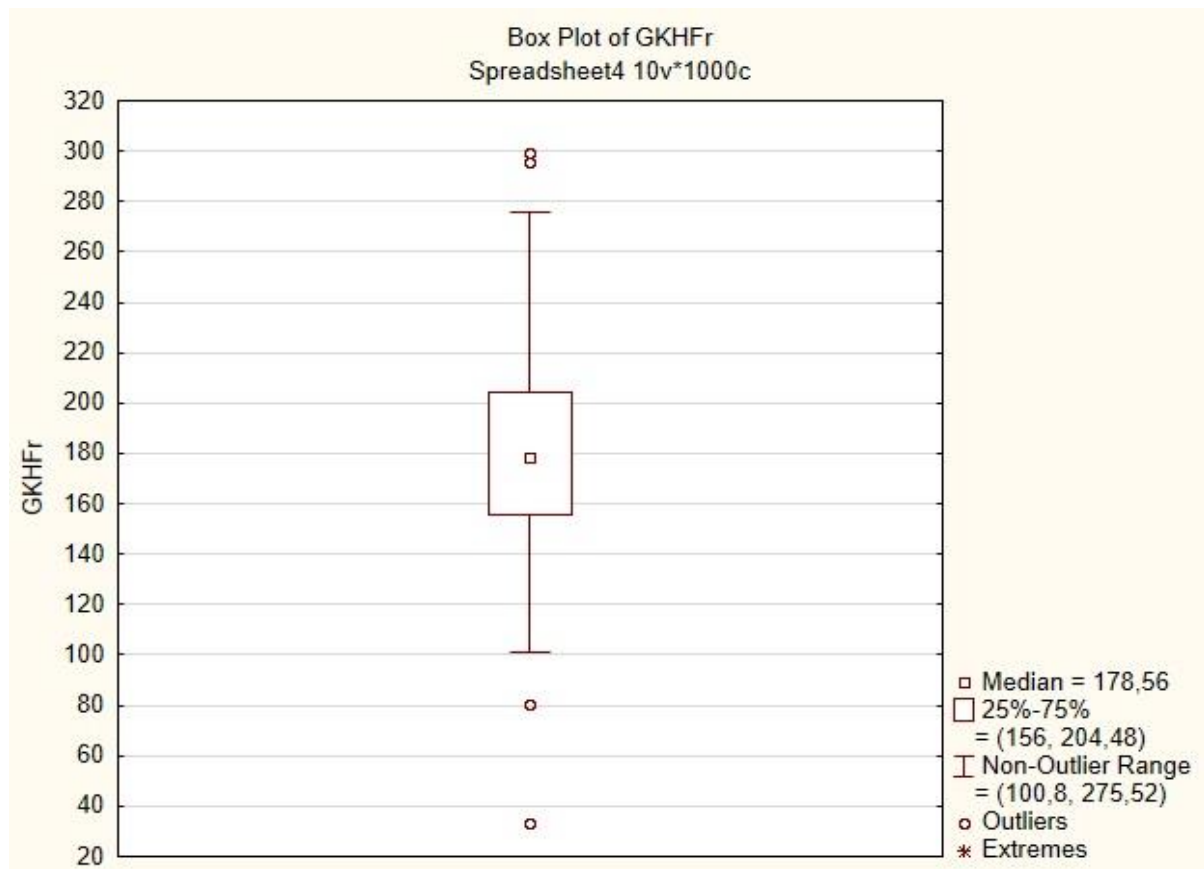


Рисунок 1 – **Boxplot**, що характеризує чотиримісячну вибірку даних із добової рекуперації енергії клітьовим підйомом шахти ім. Фрунзе ПрАТ «Суха Балка»

Медіанне значення добового вироблення електроенергії (змінна $GKHFt$) становить майже 179 кВт·год. на добу. Добові показники, які не є позамежними, перебувають у діапазоні від 101 до 276 кВт·год.

На рис. 2 наведено діаграму змінної $GKHYu$, яка відповідає добовій генерації електроенергії клітьовою підйомною уста-

новкою шахти «Ювілейна» за період з 1 вересня по 31 грудня 2021 р.

Медіанне значення вироблення електроенергії щодо змінної $GKHYu$ становить 142 кВт·год. на добу. Добові показники, які не є позамежними, перебувають у діапазоні від 13 до 293 кВт·год.

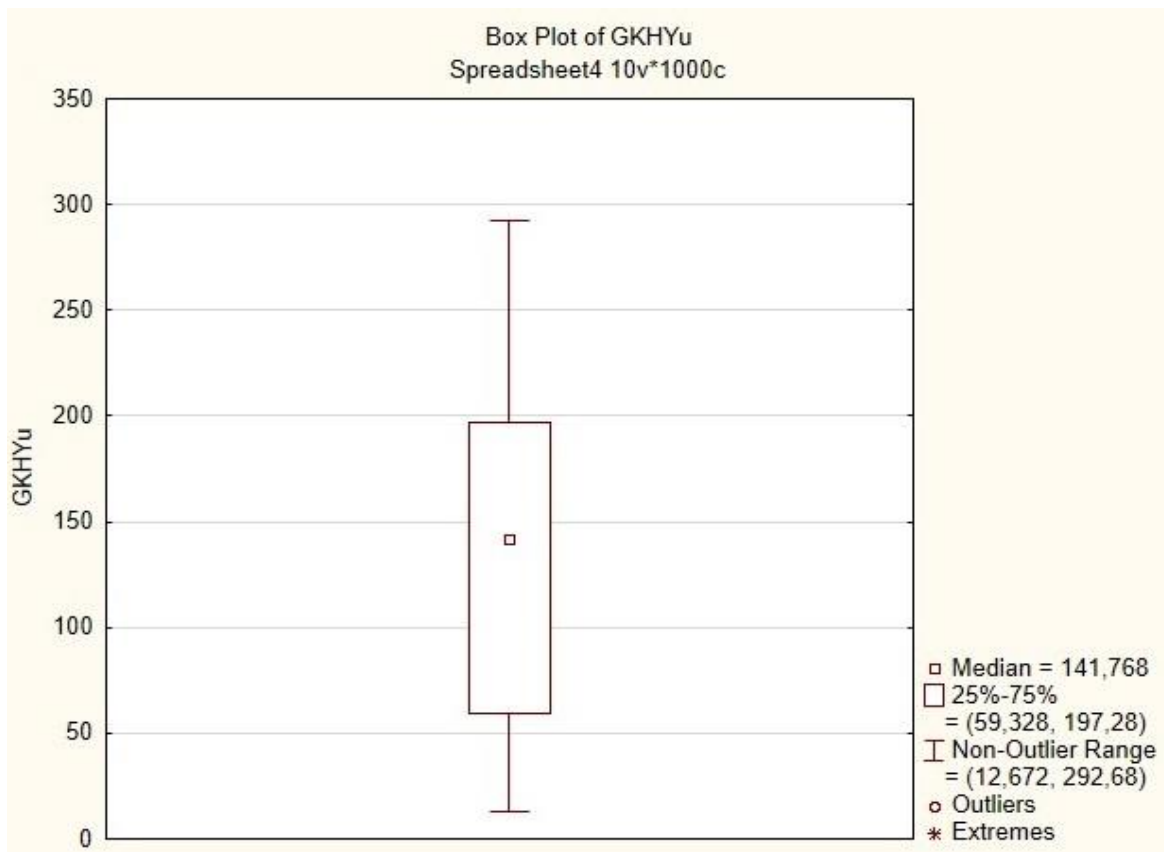


Рисунок 2 – **Boxplot**, що характеризує чотиримісячну вибірку даних із добової рекуперації енергії клітьовим підйомом шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка»

Генерація електроенергії скіповими підйомами є набагато меншою від клітьових установок, а споживання енергетичних ресурсів – набагато більшим: 15 та 16145 кВт·год. по шахті ім. Фрунзе й 58 та 25043 кВт·год. по шахті «Ювілейна» відповідно.

Взагалі підйомні машини виробляють набагато менше електричної енергії, ніж споживають. По клітьовому підйому шахти ім. Фрунзе показник становить 9%, шахти «Ювілейна» – близько 2%; скіпові установки генерують електроенергії менше 1% від обсягу спожитих ресурсів.

Разом із тим інструментально і статистично підтверджено, що загальна добова генерація електричної енергії шахтними підйомними установками ПрАТ «Суха Балка» з вірогідністю 0,95 складає від 353 до 400 кВт·год. Незважаючи на те що рекуперація електричної енергії в мережу є побічним процесом перевезення вантажів верти-

кальними стволами, спеціальні витрати енергетичних ресурсів відсутні.

Якщо орієнтуватися на середнє добове споживання електроенергії українським домогосподарством 6,9 кВт·год., то виробленої установками розподіленої генерації рудника «Суха Балка» електроенергії достатньо, щоб протягом доби жити 58 домогосподарств.

Результати кореляційного аналізу споживання та генерації електроенергії клітьовими підйомами наведено в табл. 3.

За результатами кореляційного аналізу нульова гіпотеза, що стосується змінних $СКНУу$ і $ГКНУу$ по шахті «Ювілейна», виявилася справедливою: кореляція між змінними відсутня, споживання енергії підйомною установкою не впливає на генерацію ресурсу. Нульова ж гіпотеза стосовно змінних $СКНFr$ і $ГКНFr$ (шахта ім. Фрунзе) має бути відхилена: існує статистично значима ($r=0,674$) пряма залежність: чим біль-

Таблиця 3 – Коефіцієнти лінійної кореляції Пірсона щодо змінних, які характеризують споживання та генерацію електроенергії на клітьових підйомах шахт ім. Фрунзе і «Ювілейна»

	Mean	St. Dev.	<i>GKHF_r</i>	<i>CKHF_r</i>	<i>CKHY_u</i>	<i>GKHY_u</i>
<i>GKHF_r</i>	179,656	40,619	1,000000	0,673791*		
<i>CKHF_r</i>	1893,392	87,552	0,673791*	1,000000		
<i>CKHY_u</i>	6897,890	1065,422			1,000000	0,168812
<i>GKHY_u</i>	132,017	75,156			0,168812	1,000000

Умовні позначення: Mean – математичне очікування, кВт·год.; St.Dev. – середньоквадратичне відхилення, кВт·год.; шахта ім. Фрунзе: *CKHF_r* – споживання електроенергії; *GKHF_r* – генерація електроенергії; шахта «Ювілейна»: *CKHY_u* – споживання електроенергії; *GKHY_u* – генерація електроенергії.

* – наявність статистично значимого зв'язку між змінними з вірогідністю 0,95.

ше електроенергії споживає підйомна установка, тим більшим є обсяг генерації нею електрики.

Ситуація є дещо парадоксальною: споживання електроенергії клітьовим підйомом шахти «Ювілейна» набагато перевищує відповідний показник по шахті ім. Фрунзе, але кореляції з генерацією ресурсів не спостерігається.

Одержані висновки підтверджують тези, наприклад роботи (Siostrzonek, 2023), щодо неспівпадіння результатів теоретичних розрахунків із даними реальних спостережень ефективності перетворень потенційної енергії тіла на електроенергію у промисловості. Однак слід зауважити, що на шахтах практично не здійснюється цілеспрямованої роботи з максимізації генерації електрики. Це підтверджує, зокрема, відсутність статистично значимої кореляції між енергетичними ресурсами, спожитими і виробленими клітьовою підйомною машиною на шахті «Ювілейна».

Висновки

1. Одержані в процесі експериментальних досліджень на промислових об'єктах (дві клітьові та дві скіпові підйомні установки) результати дозволяють співставити дані теоретичних розрахунків із даними інструментальних вимірів генерації електроенергії шахтними підйомними установками в умовах рудника «Суша Балка» (м. Кривий Пір).

2. Згідно з розрахунками щодо перетворення потенційної енергії вантажів на електричну в умовах клітьового стволу шахти ім. Фрунзе (висота підйому стано-

вить близько 1300 м) вироблення електрики на першому етапі (спуск навантаженої кліті з поверхні до приствольного двору на нижньому горизонті з підйомом противаги) склало б 30 кВт·год.; вироблення електрики на другому етапі (спуск противаги з поверхні до приствольного двору на нижньому горизонті з підйомом порожньої кліті) – 18 кВт·год., тобто, 48 кВт·год. за 1 цикл спуску-підйому.

3. На підставі обробки й узагальнення даних, зареєстрованих в автоматичному режимі лічильниками спожитої та виробленої в процесі роботи підйомних машин електричної енергії, встановлено, що:

клітьові підйомні машини генерують більше електричної енергії, ніж скіпові (за 1 добу перші з вірогідністю 0,95 виробляють 303 ± 20 , тоді як другі – 73 ± 4 кВт·год.);

у процесі експлуатації клітьовий підйом шахти ім. Фрунзе виробляє більше електроенергії, ніж клітьовий підйом шахти «Ювілейна» (171 ± 7 проти 132 ± 13 кВт·год./добу);

підйомні машини виробляють набагато менше електричної енергії, ніж споживають: відношення ресурсів за клітьовим підйомом шахти ім. Фрунзе становить 9%, за клітьовим підйомом шахти «Ювілейна» – близько 2%; скіпові установки генерують електроенергії менше 1% від обсягу спожитих ресурсів.

4. Доведено відсутність статистично значимих зв'язків між споживанням і генерацією енергетичних ресурсів по клітьовому підйому шахти «Ювілейна», натомість зв'язок змінних по клітьовій підйомній уста-

новці шахти ім. Фрунзе є статистично значимим ($r=0,674$) – чим більше електроенергії споживає підйомна машина, тим більшим є обсяг генерації нею електрики.

5. Одержані результати, з одного боку, підтверджують висновок польських дослідників щодо невисокої ефективності процесів генерації електрики шахтними підйомами порівняно з теоретичними розрахунками, а з іншого – спростовують його, оскільки обсяг виробленої електроенергії (майже 400 кВт·год. на добу) відповідає параметрам електростанції середньої потужності, до того ж одержаний енергетичний ресурс є безкоштовним, тому що має статус побічного продукту в результаті звичайної роботи шахтного устаткування. Якщо врахувати, що середнє добове споживання електроенергії українським домогосподарством становить 6,9 кВт·год., то виробленої установками розподіленої генерації руднику «Суха Балка» електроенергії достатньо, щоб протягом доби жити 58 домогосподарств.

6. Ефективність шахтних підйомних установок щодо генерації екологічно чистих енергетичних ресурсів може бути підвищена шляхом оптимізації режимів експлуатації підйомних машин.

7. ПрАТ «Суха Балка» має у своєму складі справну підйомну установку на виведеній з експлуатації шахті «Центральна». Підйомна машина установки оснащена потужним електроприводом, який за конструкцією не призначений здійснювати рекуперацію енергії в мережу, але може бути підданий модернізації (з установкою перетворювача частоти), що дозволить створити на шахті «Центральна» гравітаційне сховище електроенергії.

Література

- Амоша О.І., Череватський Д.Ю. (2018). Розвиток вугільної промисловості в сучасних умовах. *Економіка України*. № 10. С. 101-109.
- Ильяшов М.А., Левит В.В., Череватський Д.Ю. (2015). Трёхмерные промышленные парки: определение, особенности

и направления развития. *Економіка промисловості*. № 1 (69). С. 74-83.

- Amosha, O., Cherevatskyi D., Pivnyak G., Shashenko O., Borodai L. (2019). Synchronous Mining: the new sight. *Економічний вісник Донбасу*. № 4 (58). С. 34-40. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2019-4\(58\)-34-40](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2019-4(58)-34-40)
- Kulpa J., Kamiński P., Stecula K., Prostański D., Matusiak P., Kowol D., Olczak P. (2021). Technical and Economic Aspects of Electric Energy Storage in a Mine Shaft – Budryk Case Study. *Energies*. № 14 (21). Art. 7337. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14217337>
- Morstyn T., Botha C.D. (2022). Gravitational Energy Storage With Weights. Editor: Luisa F. Cabeza. *Encyclopedia of Energy Storage*. Elsevier. P. 64-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819723-3.00065-2>
- Morstyn T., Chilcott M., McCulloch M.D. (2019). Gravity energy storage with suspended weights for abandoned mine shafts. *Applied Energy*. № 239. P. 201-206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.226>
- Roushenas R., Gholamyankarkon E., Arabkoohsar A. (2023). 14 – Gravity energy storage. Editor: A. Arabkoohsar. *Future Grid-Scale Energy Storage Solutions*. Academic Press. P. 543-571. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90786-6.00005-4>
- Siostrzonek T. (2023). The Mine Shaft Energy Storage System – Implementation Threats and Opportunities. *Energies*. № 16(15). Art. 5615. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16155615>

References

- Amosha, O., & Cherevatskyi, D. (2018). Development of the coal industry in modern conditions. *Economy of Ukraine*, 10, pp. 101-109.
- Ilyashov, M. A., Levit, V. V., & Cherevatskyi, D. Y. (2015). Three-dimensional industrial parks: definition, features and directions of development. *Econ. promisl*, 1(69), pp. 74-83.
- Amosha, O., Cherevatskyi, D., Pivnyak, G., Shashenko, O., & Borodai, L. (2019).

- Synchro-Mining: the new sight. *Ekonomichnyi visnyk Donbasu*, 4 (58), pp. 34-40. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2019-4\(58\)-34-40](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2019-4(58)-34-40)
- Kulpa, J., Kamiński, P., Stecuła, K., Prostański, D., Matusiak, P., Kowol, D., & Olczak, P. (2021). Technical and Economic Aspects of Electric Energy Storage in a Mine Shaft – Budryk Case Study. *Energies*, 14(21), 7337. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14217337>
- Morstyn, T., & Botha, C. D. (2022). Gravitational Energy Storage With Weights. In Luisa F. Cabeza (Ed.). *Encyclopedia of Energy Storage* (pp. 64-73). Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819723-3.00065-2>
- Morstyn, T., Chilcott, M., & McCulloch, M. D. (2019). Gravity energy storage with suspended weights for abandoned mine shafts. *Applied Energy*, 239, pp. 201-206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.226>
- Roushenas, R., Gholamyankarkon, E., & Arabkoohsar, A. (2023). 14 – Gravity energy storage. In A. Arabkoohsar (Ed.). *Future Grid-Scale Energy Storage Solutions* (pp. 543-571). Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90786-6.00005-4>
- Siostrzonek, T. (2023). The Mine Shaft Energy Storage System – Implementation Threats and Opportunities. *Energies*, 16(15), 5615. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16155615>

Denys P. Bozhyk,

PhD of Technical sciences, researcher
 Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine
 2 Maria Kapnist Street, Kyiv, 03057, Ukraine
 E-mail: dionis@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0001-7620-7997>;

Vitaliy O. Bash,

postgraduate
 Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine
 2 Maria Kapnist Street, Kyiv, 03057, Ukraine
 E-mail: Bash.v@dch.com.ua
<https://orcid.org/0009-0008-1173-2174>;

Antonina S. Bash,

postgraduate
 Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine
 2 Maria Kapnist Street, Kyiv, 03057, Ukraine
 E-mail: antonina.bash@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-8086-0626>;

Dmitriy D. Cheilyakh,

Chief Economist
 Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine
 2 Maria Kapnist Street, Kyiv, 03057, Ukraine
 E-mail: ddchl@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-8638-1443>

**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE GENERATING CAPABILITIES
 OF MINE HOISTS IN INDUSTRIAL CONDITIONS**

The article is devoted to a topical subject of distributed generation of electrical energy. The cage and skip mine hoists of the iron ore mining enterprise were considered as generators of electrical energy.

The purpose of the study is to compare theoretical and experimental data on electricity generation by mine hoisting units of the Sukha Balka PJSK (Kryvyi Rih, Ukraine).

The research methods are theoretical ones – on the transformation of the potential energy of a solid body into electrical energy during its movement through a mine shaft, and experimental

ones – involving instrumental measurements of the consumption and generation of electrical energy by cage and skip hoists units during industrial operation.

Research schedule: collection and processing of information on the operation of the cage and skip hoists of the mine named after Frunze and similar indicators of the cage and skip hoists units of the Yuvileyna mine for the period from September 1 to December 31, 2021.

The novelty of the research lies in the instrumental measurement of the electrical parameters of mine hoists in real Ukrainian operating conditions.

The most significant results: it was found that the volumes of electricity generation by mine cage hoists significantly exceed the results of skip hoists. The actual indicators of electricity generation by cage hoists units are much lower than the results of theoretical estimates. There is an imbalance between the generation and consumption of energy resources – 9% for the cage elevation of the mine Frunze; about 2% for the cage hoist of the Yuvileyna mine; less than 1% on skip units.

It was found that there is a statistically significant correlative relationship between the generation and consumption of electricity by the cage hoist of the mine named after Frunze and no statistically significant relationship between the generation and consumption of electricity by the cage hoist unit of the Yuvileyna mine.

The electricity obtained from the daily operation of two cage and two skip units of the Sukha Balka PJSC (approximately 400 kWh) is enough to power 58 average Ukrainian households.

Keywords: electricity, generation, consumption, mining hoist, studies, theoretical, experimental, ore industry.

JEL: L60, L71

Формат цитування:

Божик Д. П., Баш В. О., Баш А. С., Чейлях Д. Д. (2024). Експериментальні дослідження генеруючих можливостей шахтних підйомів у промислових умовах. *Економіка промисловості*. № 3 (107). С. 65–74. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry.2024.03.065>

Bozhyk, D. P., Bash, V. O., Bash, A. S., & Cheilyakh, D. D. (2024). Experimental studies of the generating capabilities of mine hoists in industrial conditions. *Econ. promisl.*, 3 (107), pp. 65–74. DOI: <http://doi.org/10.15407/econindustry2024.03.065>

Надійшла до редакції 12.08.2024 р.