

© А.В. Рухлов<sup>1</sup>, І.М. Луценко<sup>2</sup>, Н.Ю. Рухлова<sup>2</sup>, Є.В. Кошеленко<sup>2</sup>, О.А. Замкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка», м. Запоріжжя, Україна

<sup>2</sup> Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна

## **РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ**

© A. Rukhlov<sup>1</sup>, I. Lutsenko<sup>2</sup>, N. Rukhlova<sup>2</sup>, Ye. Koshelenko<sup>2</sup>, O. Zamkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LLC "Technical University "Metinvest Polytechnic", Zaporizhzhya, Ukraine

<sup>2</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## **POWER CONSUMPTION REGULATION OF ENTERPRISES FOR REDUCING OF THE ENERGY SYSTEM PEAK LOADS**

**Мета.** Запропонувати заходи щодо часткового вирішення проблеми забезпечення вечірніх пікових навантажень в енергосистемі України шляхом регулювання режимів електроспоживання промислових підприємств. Це дозволить певною мірою знизити рівень таких навантажень та вирівняти профіль електроспоживання.

**Методика.** Використані методи дослідження операцій та аналізу технологічних процесів. Досліджено режими роботи діючих вугільних шахт України та проаналізовано їх графіки електричних навантажень, які формуються відповідними технологічними процесами.

**Результати.** Виконано порівняльний аналіз графіків електричних навантажень енергосистеми та профілів електроспоживання промислових об'єктів. Встановлено подібність форми графіків електричних навантажень різних вугільних шахт, що технологічно обумовлено типовим режимом їх роботи, а саме – наявністю трьох робочих (видобувних) змін та однієї ремонтної. Це створює передумови для використання відповідних підприємств у якості споживачів-регуляторів активної потужності, за рахунок чого частково вирішується проблема забезпечення пікового навантаження енергосистеми.

**Наукова новизна.** Встановлено закономірності формування добових профілів електричного навантаження вугільних шахт, що визначаються режимом роботи підприємств. Запропоновано новий підхід, що полягає у зміні добового режиму роботи вугільних шахт шляхом перенесення ремонтної зміни на час, який співпадає з періодом вечірніх пікових навантажень в енергосистемі.

**Практична значимість.** Практична цінність роботи полягає у зниженні рівня потужності споживання у період пікових навантажень енергосистеми, що є надзвичайно актуальною проблемою в умовах сьогодення. Запропонований підхід дозволяє адаптувати типовий режим роботи вугільної шахти зі збереженням усіх необхідних технологічних процесів до умов ринку електричної енергії з одночасним використанням підприємства в цілому як ефективного споживача-регулятора активного навантаження.

**Ключові слова:** графіки електричних навантажень, пікові навантаження, регулювання електроспоживання, споживач-регулятор, вугільна шахта, енергосистема.

**Вступ.** Одним із основних викликів для енергетичної системи України є проблема покриття нерівномірності графіків електричного навантаження (ГЕН), яка останнім часом тільки ускладнилася через військові дії та масовані атаки ворога на енергетичну інфраструктуру нашої країни. Добові графіки виробництва та споживання електричної енергії в ОЕС України для різних періодів року

характеризуються значною нерівномірністю (в основному – за рахунок приросту побутового й комунального електроспоживання) [1].

Аналіз фактичних режимів генерації та споживання електричної енергії в ОЕС України, приклади яких наведено на рис. 1, дозволяє стверджувати, що твердопаливними енергоблоками теплових електростанцій (ТЕС) потужністю 150-300 МВт, що мають досить обмежений «маневрений» потенціал, покривалось (на період довоєнного стану в країні) загалом споживання величиною до 3 ГВт. При цьому, залежно від пори року потужності ТЕС регулюється протягом доби [1–3]. Станом на 02.2022 р. (режим роботи ОЕС до початку повномасштабної російської агресії), глибина регулювання з використанням ТЕС знизилася в кілька разів внаслідок спаду промислового виробництва, дефіциту вугілля, зростання обсягів ВДЕ і переважне балансування навантажень з використанням ГЕС (рис. 1).

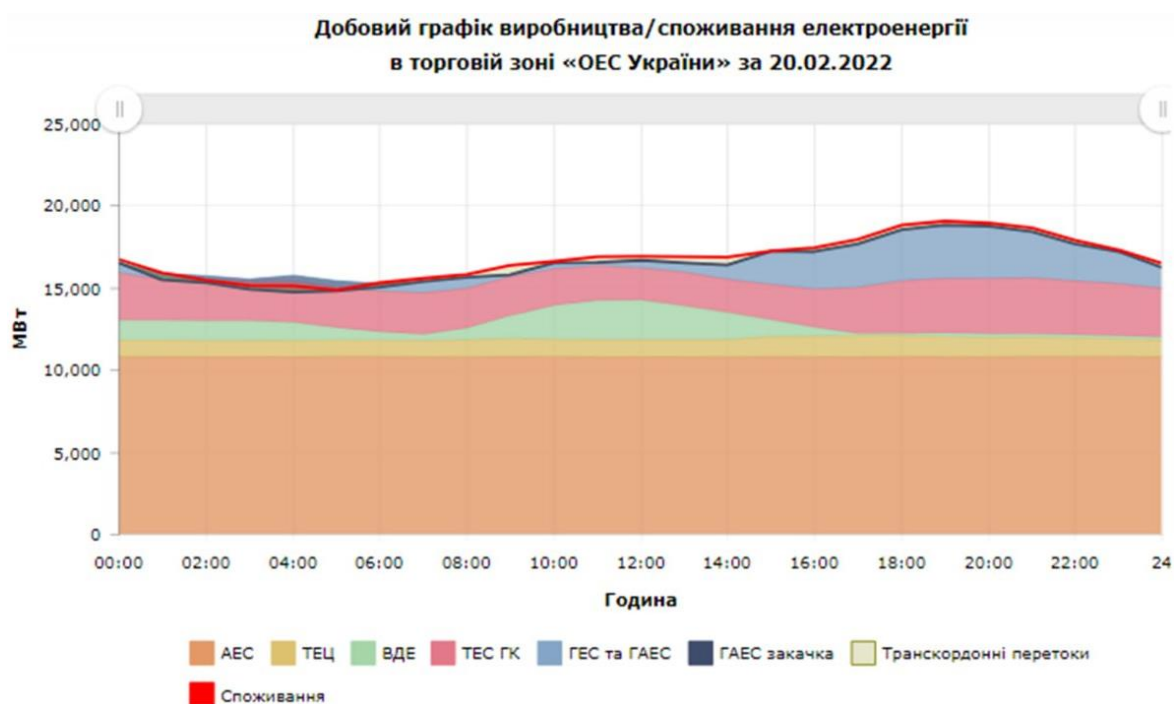


Рис. 1. Приклад фактичного добового ГЕН енергосистеми України станом на 20.02.2022 р.

Руйнування енергетичної інфраструктури за період військового вторгнення в Україну призвело до зниження генерації на 27,5%, в порівнянні із 2021 р. (рис. 2). Найбільші втрати генеруючих потужностей зазнали саме теплові електростанції, робота яких, разом з гідроенергетикою, забезпечує покриття пікових навантажень в енергосистемі.

Низька якість вугілля та технічні обмеження (у першу чергу у зв'язку з фізичним зносом) зумовлюють зниження фактичного регульовального діапазону енергоблоків ТЕС до рівня 20% при проєктному – 30-40%. Внаслідок низької частки високоманевреної складової системи генерації (ГЕС, ПГУ, ГТУ, СНЕ) та обмеження регульовального діапазону ТЕС, в енергосистемі практикуються щодобові зупинки 7-10 блоків на період нічного зниження навантаження з наступними їх пусками до ранкового/вечірнього максимуму навантаження. Такі режими приводять до зменшення ресурсу устаткування, підвищеної аварійності та перевитрат палива [4].



Рис. 2. Рівень пошкодження (окупації) систем виробництва електроенергії та зміни в обсягах генерації внаслідок російської військової агресії

**Основна частина.** З позицій вирішення проблеми забезпечення максимальних навантажень в енергосистемі важливими факторами є їх рівень та часові інтервали виникнення в розрізі доби.

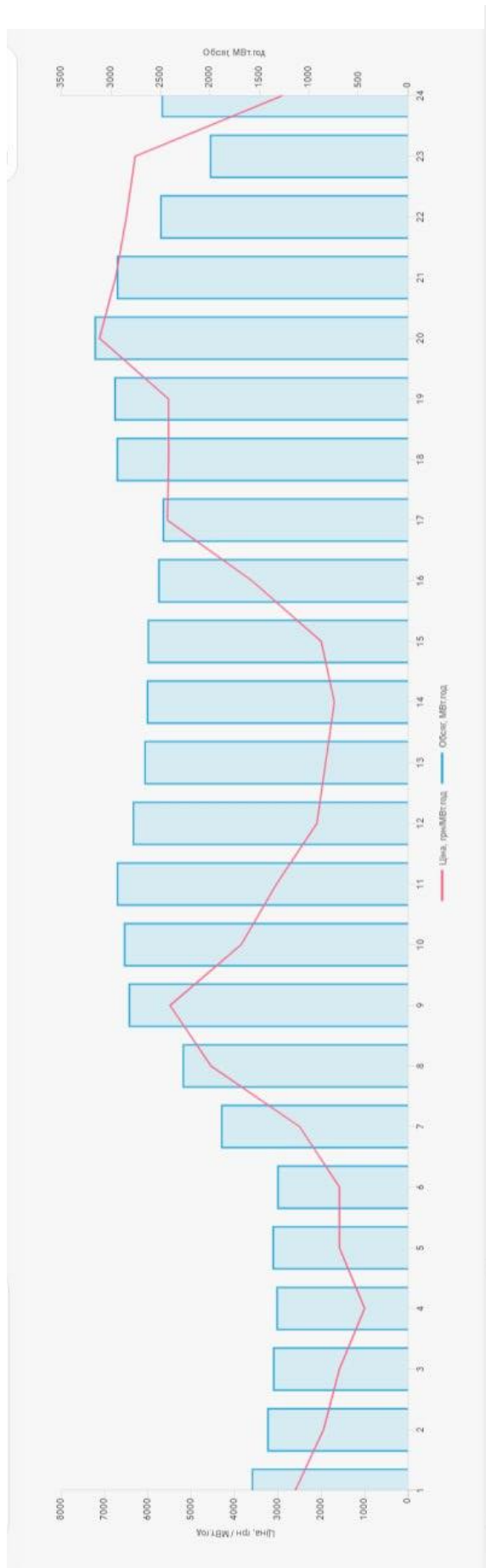
Аналіз фактичних добових ГЕН енергосистеми (див. рис. 1) свідчить, що взимку пікові навантаження спостерігаються з 17:00 по 22:00 год. Це корелюється з цінними індикаторами ринку електроенергії, де періоди дефіциту генеруючих потужностей супроводжуються суттєвим зростанням цін на електроенергію (рис. 3).

На рисунку 4 наведено ціни та обсяги купівлі-продажу електроенергії на РДН, за якими простежується прогнозована генерація ВДЕ, зумовлена очікуваними режимами роботи фотоелектричних станцій (ФЕС). За умови суттєвої генерації ФЕС (сприятливі метеоумови), цінні пропозиції в ці періоди знижуються, формуючи денний напівек вартості електричної енергії, який знаходиться між ранковим та вечірнім піками (рис. 4, а). За умови зниженої інсоляції спостерігатимуться переважно два періоди цінних пропозицій – нічний провал і денний режим навантаження (рис. 4, б). Виходячи з наведеного можемо спостерігати три або дві зони формування вартості електричної енергії, що залежать не тільки від попиту на неї, а ще й від особливостей генерації ВДЕ.



Рис. 3. Ціни та обсяги купівлі-продажу електроенергії на РДН (20.02.2022 р.)

a)



б)

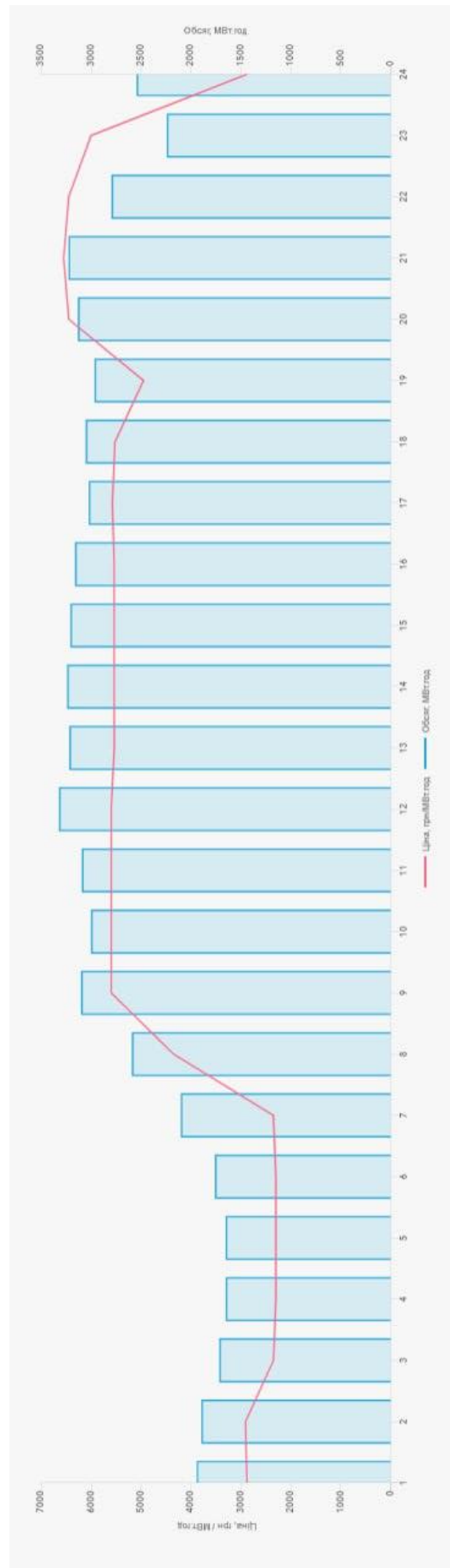


Рис. 4. Ціни та обсяги купівлі-продажу електроенергії на РНД

Визначальний вплив на форму графіка навантаження ОЕС має населення та комунально-побутові споживачі, частка електроспоживання яких з урахуванням спаду промислового виробництва (металургія) в сукупному енергобалансі перевищує 50%. Слід зазначити, що регульовальний потенціал відповідних споживачів частково забезпечується наявністю зонних тарифів зі зниженою ставкою протягом нічного провалу навантаження енергосистеми. Проте, потужні промислові підприємства, що працюють цілодобово, також мають резерви щодо регулювання власних ГЕН за умови зміни режиму роботи та наявності технологічних операцій, які можуть бути зміщені у часі з урахуванням добової динаміки зміни вартості електричної енергії.

Підприємства мають впроваджувати заходи з регулювання режимів електроспоживання, використовуючи з цією метою споживачі-регулятори (СР), які здатні до обмеження або перенесення частини свого електричного навантаження з одних годин доби на інші (при добовому регулюванні) або з робочих днів на вихідні (при тижневому регулюванні). При чому зміна режиму роботи СР має відбуватися без завдання шкоди протіканню технологічного процесу, у якому вони задіяні.

Однак у деяких випадках споживачем-регулятором може виступати не окрема технологічна установка, а саме підприємство. На рис. 5 наведені фактичні добові ГЕН двох різних вугільних шахт Західного Донбасу. Форма графіків свідчить про значне зниження електроспоживання приблизно з 8:30 до 13:30 год. Варто зазначити, що схожий профіль навантаження характерний майже для всіх вугільних шахт, відрізняються тільки абсолютні значення потужності залежно від продуктивності та технічної озброєності підприємства. Це пояснюється режимом роботи шахт: три 6-ти годинні вуглевидобувні зміни та одна 6-ти годинна зміна з ремонту обладнання, під час якої видобуток вугілля не виконується, тобто не працюють потужні підземні технологічні комплекси (видобувне та прохідницьке обладнання, конвеєрний транспорт, вугільний підйом тощо). Аналіз наведених ГЕН (рис. 5) свідчить, що ремонтна зміна триває з 8:00 до 14:00.

З урахуванням наведених вище обґрунтувань, найбільш ефективно шахта буде виконувати регулювання власних режимів електроспоживання у випадку, максимального зниження потужності споживання протягом періоду вечірніх пікових навантажень (рис. 5). Це досягається шляхом зміни режиму роботи підприємства, а саме – перенесення ремонтної зміни на часовий діапазон з 18:00 до 24:00 год з відповідним зміщенням видобувних змін. Впровадження такого організаційного заходу практично не вимагатиме додаткових економічних витрат. Основна складність – технологічна адаптація поточного режиму роботи вугільних шахт, упорядкування логістики тощо. Зниження потужності споживання у вечірні пікові години у середньому можна оцінити на рівні 2 - 3 МВт для одного такого підприємства, що є співрозмірним зі споживанням міського мікрорайону.

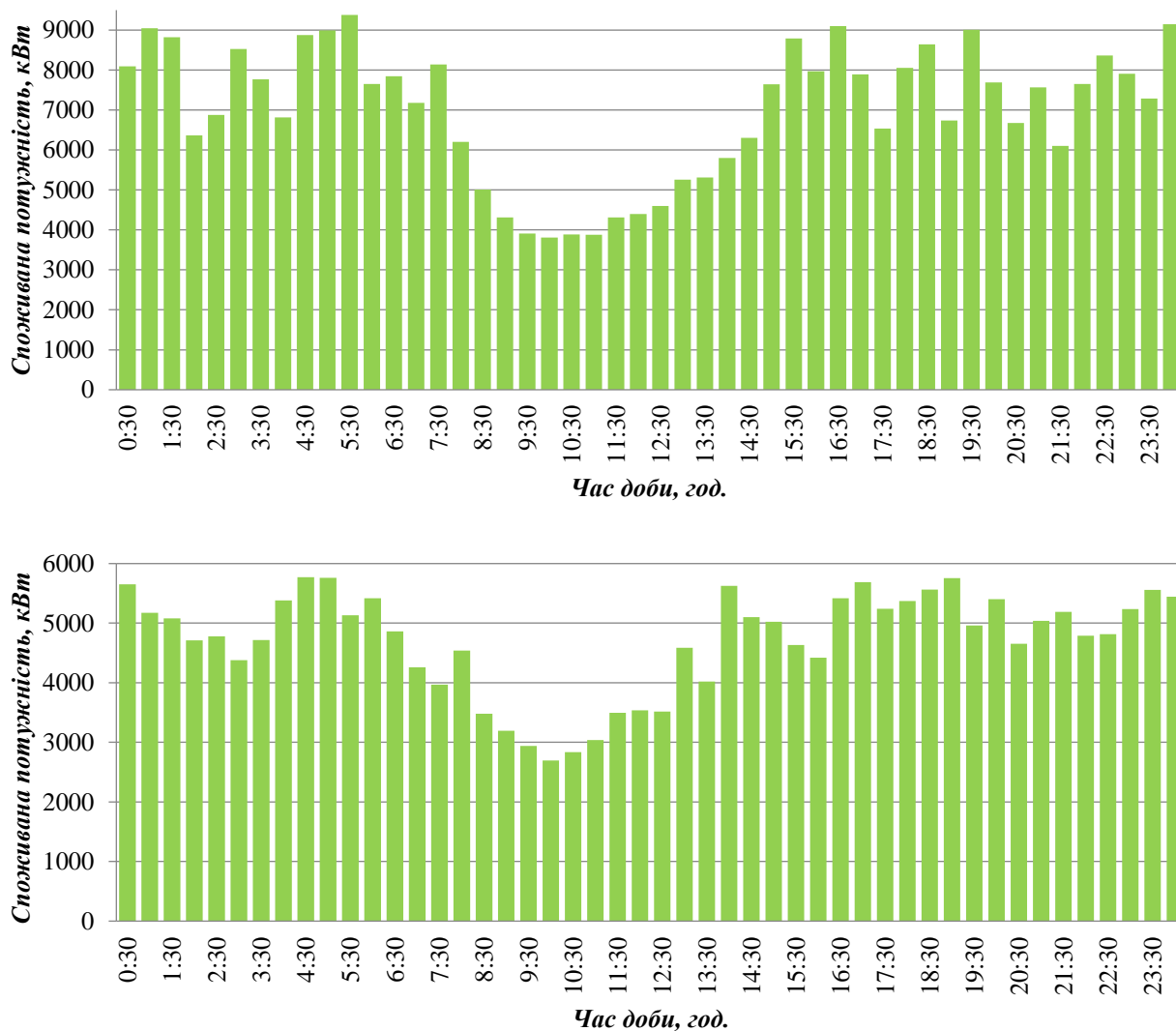


Рис. 5. Фактичні добові ГЕН двох різних вугільних шахт Західного Донбасу

З урахуванням відміни зонних тарифів для побутових споживачів та особливостей роботи нового ринку електричної енергії, економічні стимули регулювання режимів електроспоживання видозмінилися, проте не втратили сутність. Адаптація режиму роботи споживача до умов ринку аналогічно стимулює знизувати обсяги споживання у періоди високої вартості електричної енергії та максимально переносити енергоємні операції на періоди зниженої вартості. Аналіз ринку електричної енергії дозволив встановити, що рівень цін відповідає певним зонам доби і змінюється для них. Тобто, для підприємств фактично існує «прихований» двозонний тариф на електроенергію, а також тризонний, за відповідних умов роботи системи ВДЕ (див. рис. 4).

Для підвищення ефективності регулювання режимів електроспоживання слід враховувати потужні технологічні установки вугільних шахт, насамперед головну водовідливну установку, підземний конвеєрний транспорт, вугільний підйом. При забезпеченні певних технічних передумов (наприклад, достатня ємність водозбірників, наявність підземних бункерів на основному транспортному потоці) такі установки можуть бути достатньо ефективними СР [5].

Крім того, навіть закриті вугільні шахти можна використовувати як СР, якщо вони законсервовані «сухим» способом. Суха консервація передбачає, що обладнання для відкачування шахтних вод (головний водовідлив) знаходиться всередині шахти й виконує свою функцію задля запобігання повного затоплення, не зважаючи на закриття цієї шахти. Однак за певних умов, що залежать від існуючого режиму роботи насосів водовідливу, їх також можна долучати до регулювання режимів електроспоживання [5–7].

**Висновки.** Проблема забезпечення пікових навантажень в енергосистемі України існує та немає передумов її ефективного (або цілковитого) вирішення у найближчому майбутньому. З метою зниження рівня навантаження енергосистеми протягом пікових годин її роботи необхідно раціонально залучати наявні потенційні резерви всіх споживачів шляхом регулювання режимів використання електричної енергії протягом доби. У роботі на прикладі вугільних шахт (навіть законсервованих «сухим» способом) показано, що вони мають значний потенціал до регулювання режиму електроспоживання, який може бути вилучений за умови забезпечення визначених організаційних та технологічних передумов.

#### Перелік посилань

1. Khatskevych, Yu. V., Lutsenko, I. M., Rukhlov, A. V. (2017). Perspectives of load management in energy system with the help of electric vehicles. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, 5, 86–93. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu\\_2017\\_5\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2017_5_15).
2. Рухлов, А.В. (2017). Про сучасні виклики для енергетичної системи України, *XV Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених і спеціалістів «Електромеханічні та енергетичні системи. Методи моделювання та оптимізації»* (с. 78–79). Кременчуцький національний університет.
3. *Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» № 605-р* (2017, 18 серпня).
4. Рухлова, Н.Ю., Кошеленко, Є.В., Кириченко, М.С. (2022). Енергоефективний спосіб функціонування ГВУ вугільних шахт, *Міжнародна науково-практична конференція «Енергозбереження та енергоефективність – 2022»*, (с. 26–27). Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».
5. Razumnyi, Yu.T.; Rukhlova, N.Yu.; Rukhlov, A.V. (2015). Energy efficient work of a coal mine dewatering plant. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 74–79. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu\\_2015\\_2\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2015_2_13)
6. Rukhlova, N.Yu., Lutsenko, I.M., & Rukhlov, A.V. (2021). An effective way to maintain the liquidated mines, *4th International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources”*, (p. 73–75). UNIVERSITAS Publishing.
7. Papaika, Yu.A., Lysenko, O.G., Rodna, K.S., & Shevtsova, O.S. (2020). Information technologies in modeling operation modes of mining dewatering plant based on economic and mathematical analysis. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 82–87. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/082>.

#### ABSTRACT

**Purpose.** To propose measures for a partial solution to the problem of evening peak loads ensuring in the energy system of Ukraine by regulating the power consumption modes of industrial enterprises. This approach will reduce the level of such loads and align the power consumption profile.



**The methods.** The methods of operations research and analysis of technological processes are used. The operation modes of the Ukrainian operating coal mines were studied and their electrical loading diagrams, which are formed by the appropriate technological processes, were analyzed.

**Findings.** A comparative analysis of electrical loading diagrams of the power system and power consumption profiles of industrial facilities and the residential services was performed. The analysis showed the similarity of the electrical loading diagrams of coal mines, which is due to the typical mode of their operation, namely the presence of three work shifts (for coal mining) and one repair shift (for equipment maintenance). This creates prerequisites for the use of such enterprises as consumers-regulators of active power. As a result of which ways of "mitigation" of the problem of peak loads ensuring of the power system were proposed.

**Originality.** The patterns of formation of the electric loading daily profiles for coal mines, determined by the operating mode of enterprises, were established. A new approach is proposed, which consists in changing the daily operation mode of coal mines, namely, moving the repair shift to a time that coincides with the period of evening peak loads in the Ukrainian power system.

**Practical implementation.** The practical value of this work lies in reducing the level of power consumption during peak loads in the power system, what is currently a very urgent problem for Ukrainian energy complex. The proposed approach allows to use the normal operation mode of a coal mine with the preservation of all necessary technological processes as an effective consumer-regulator of active load.

**Keywords:** *electrical loading diagrams, peak loads, power consumption regulation, consumer-regulator, coal mine, power system.*