

ням інтернет-технологій. Встановлено, що усі вони у тій чи іншій мірі можуть бути застосовані у навчанні інженерів-механіків з використанням сучасних освітніх веб-порталів для дистанційного навчання.

Надалі планується розробка методики створення віртуального стенду для навчального компоненту на базі ОПП та робочої програми з навчальної дисципліни.

### Список літератури

1. **Абдуллаев А.Х.** Виртуальные лабораторные стенды и рекомендации по их использованию в непрерывном образовании // Образование через всю жизнь: становление и развитие непрерывного образования в рамках единого образовательного пространства евразийского экономического сообщества II Материалы докладов участников международной конференции (Санкт-Петербург, 22—23 июня 2004 г.) / Под науч. ред. Н. А. Лобанова и В. Н. Скворцова. — СПб.: Издательский дом «Петрополис», 2004. - С.3-7.
2. **Березюк О.В.** Використання віртуального лабораторного стенда для проведення лабораторної роботи «Дослідження ефективності освітлення у виробничих приміщеннях» // Педагогіка безпеки, 2017. - № 1. - С. 35-39.
3. **Бобрівник К.С., Гладка М.В., Кіктев М.О.** Проектування віртуальної навчальної лабораторії для студентів технічно-технологічних спеціальностей // Енергетика і автоматика, 2014. - №3. - С.18-23.
4. **Дубровин В.С.** Использование виртуальных лабораторных работ – как элемент повышения качества подготовки специалистов // High technologies in Earth space research, 2012. - № 2. - С.11-13.
5. **Меркулов В.И., Мухаметдинова Л.Д.** Виртуальные лабораторные работы по курсам «Термодинамика», «Теплотехника», «Тепломассообмен» // Известия МГТУ «МАМИ», 2014. - т.5. - № 1(19). - С. 180-185.
6. **Петрович С.Д.** Використання моделей у професійній підготовці фахівців технічного профілю на основі LMS MOODLE. URL: <http://2015.moodlemoot.in.ua/course/view.php?id=73>.
7. **Почтовюк С. І., Білик О. В.** Використання віртуального лабораторного засобу в процесі навчання майбутніх електриків // Актуальні питання сучасної інформатики, 2016. - №3. - С.239-242.
8. **Прудка О.В.** Розробка віртуальних стендів на базі NI LabView для використання у дистанційному навчанні // Штучний інтелект, 2008. - №4. - С. 493-499.
9. **Репьев Ю.Г., Платонов А.В.** Информационная электротехническая лаборатория в открытом образовании // Открытое образование, 2005. - №6. - С.12-17.
10. **Чорний О.П., Родькін Д.Й., Євстифєєв В.О.** Віртуальні лабораторні комплекси для навчального процесу і наукових досліджень // Передовые технологии и технические решения, 2008. - №4. - С. 15.
11. **Чеховський С.А.** та ін. Розробка віртуальних лабораторних стендів для вимірювання тиску, температури та витрати / С.А. Чеховський, Н.М. Піндус, Л.А. Витвицька, В.В. Остапів, Н.Б. Долишня, С.М. Белей, Б.І. Прудніков // Системи обробки інформації, 2010. - випуск 4 (85). - С.77-80.
12. **Цвенгер И.Г.** Новые информационные технологии в лабораторном практикуме // Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2013. - № 2 (17). - С.147-157.
13. **Цвенгер И.Г., Цвенгер Ю.В.** Концепция реализации лабораторного практикума в современном техническом университете // Вестник технологического университета, 2012. - т.15. - в.22. - С.210-213.
14. Create a software simulation. URL: <https://helpx.adobe.com/ua/captivate/how-to/create-software-simulations.html>
15. CYBERmine simulator system. Underground drill rig simulators. URL: <https://www.thoroughtec.com/wp-content/downloads/cybermine/English/CYBERMINE%20Underground%20Drill%20Rig%20Simulator%20Brochure.pdf>
16. SOLIDWORKS eDrawings. URL: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-edrawings>

Рукопис подано до редакції 09.11.2021

УДК 338.26:621

С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет

С.А. ХАРІН, д-р техн. наук, проф., Ю.С. ПАПІЖ, канд. екон. наук, доц.,

В.В. ЮДЕНКО, ст. викл., Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

О.В. КОРОВІНА, канд. екон. наук, доц., Криворізький державний педагогічний університет

## РЕСУРСНО-УПРАВЛІНСЬКИЙ АСПЕКТ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЯК ПРОГРЕСУЮЧИЙ ТРЕНД СВІТОВОЇ ЕКОНОМІКИ

**Мета.** Аналіз сучасного стану та перспектив впливу викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу планети на прояв кліматичних явищ, аналіз динаміки світової електроенергетики та можливостей прийняття управлінських рішень з вибору оптимальних напрямків її розвитку в контексті декарбонізації.

**Методи дослідження.** У роботі використано комплексний підхід, методи аналізу і синтезу. Дослідження ґрунтуються на офіційних відомостях світової економічної статистики, вивченні даних міжнародних інформаційних агентств та організацій.

**Наукова новизна.** На основі аналізу динаміки світової електроенергетики запропоновано матрицю аналізу різних видів електростанцій за групою критеріїв у контексті менеджменту декарбонізації.

**Практичне значення.** Матриця аналізу за групою критеріїв сприяє прийняттю управлінських рішень з розвитку певних видів підприємств електроенергетики у контексті менеджменту декарбонізації.

**Результати.** Аналіз глобальних екологічних викликів, які стали сьогодні реальністю та можливих шляхів розвитку світової електроенергетики в контексті декарбонізації дозволив встановити наступне. Температура атмосфери планети зростає сьогодні і зростатиме надалі з неминучістю у зв'язку з неможливістю не тільки скорочення існуючого рівня викидів вуглекислого газу, а й навіть збереження такого рівня викидів, який є нині. Разом з тим людство все далі більш чітко усвідомлює наростаючу небезпеку і шукає способи боротьби з нею. Найбільш гострою проблемою енергетики є одержання первинної електричної енергії, у контексті декарбонізації – одержання такої енергії без викиду вуглекислого газу або з мінімально можливим викидом. В даний час отримання кількості енергії, що повністю задовольняє потребам людства, тільки екологічними способами поки не є можливим. Дослідження світового досвіду формування перспектив електроенергетики показав необхідність активного розвитку, як кількісного, так й ефективності вітрових, сонячних електростанцій, сьогодні і в тривалій перспективі. На основі вивчення динаміки світової електроенергетики запропоновано матрицю аналізу різних видів електростанцій за групою критеріїв у контексті менеджменту декарбонізації.

**Ключові слова:** менеджмент, кліматичні зміни, Конференція ООН зі зміни клімату 2021 р., декарбонізація, енергетика, матриця аналізу.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-96-102

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Проблема всесвітнього потепління стала реальністю сьогодні, виразом чого служать дедалі помітніші урагани та повені в одних регіонах планети та посухи в інших, підйом рівня океану, зниження врожаїв сільськогосподарських культур, зсуви тощо. Вирішення цієї проблеми, яка носить глобальний характер, залежить від злагоджених зусиль світової спільноти. У рамках декарбонізації, що є інструментом такого рішення, необхідно чітко визначити конкретні завдання перетворень, ув'язати терміни та наявні можливості та вжити невідкладних, давно назрілих заходів щодо розвитку енергетичних можливостей різних країн, які завдають мінімальної шкоди природі.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідженню процесів менеджменту присвячено багато робіт, зокрема [1-3]. Разом з тим, в умовах все більш прискореного посилення глобальних кліматичних процесів потребують розгляду та дослідження специфічні питання, що пов'язані з можливістю зменшення наслідків таких процесів.

**Постановка задачі.** В рамках дослідження потрібно виконати аналіз сучасної динаміки світової електроенергетичної галузі за видами енергії, запропонувати модель, що сприяє прийняттю управлінських рішень в рамках менеджменту декарбонізації.

**Викладення матеріалу та результати.** Аналіз Бюлетеня Всесвітньої метеорологічної організації [4], зокрема, показав таке:

температура атмосфери планети зростатиме надалі з неминучістю у зв'язку з неможливістю як скорочення існуючого рівня викидів вуглекислого газу, а й навіть збереження такого рівня, визначальним прогнозом може лише зростання викидів вуглекислого газу;

вказується, що навіть дуже інтенсивне зниження викидів  $\text{CO}_2$  «до чистого нульового рівня», що видається принаймні в даний час неможливим, а в перспективі – дуже важко реалізованим, не призведе до зниження глобальної температури, що обумовлено тривалістю існування молекул вуглекислого газу;

інерція збереження температури на планеті, як припускають у Всесвітній метеорологічній організації, навіть за відсутності збільшення викидів вуглекислого газу обчислюватиметься багатьма десятиліттями;

викиди  $\text{CO}_2$  призводять не просто до збільшення глобальної температури, але, що підтверджується численними повідомленнями з різних регіонів планети, особливо часто і в незвично гострій формі в останні роки, а до стихійних лих, ураганів, повеней, руйнувань житла та промислових об'єктів, зсувів ґрунту. Яскравою ілюстрацією цього є руйнівна повінь у Німеччині та низці інших країн влітку 2021 р., інтенсивність якої призвела до багатомільярдних економічних збитків;

танення льоду в океанах, гірських льодовиків характеризується розмірами, які були невідомі історії людства;

вказується занепокоєння тією обставиною, «що здатність наземних екосистем і океанів виступати як поглиначі може стати менш ефективною в майбутньому, що знизить їх здатність поглинати  $\text{CO}_2$  і виступати як буфер у боротьбі з більш значним підвищенням температури», іншими словами, зростання температури на планеті буде ще більш інтенсивним не тільки під

впливом зростаючої господарської діяльності людини, але й через руйнування захисного механізму природи, що функціонував раніше і небезпечним чином втраченого сьогодні;

показано збільшення радіаційного впливу парникових газів довгоживучого характеру на 47 % за період з 1990 по 2020 р.;

наголошується, що «у 2020 р. концентрація двоокису вуглецю ... досягла 413,2 частини на мільйон і склала 149% від доіндустріального рівня. Концентрація метану становить 262%, а закису азоту – 123% від рівнів 1750». Цю історичну позначку автори Бюлетеня [4] пов'язують з початком впливу господарської діяльності людини на природу, що вже було не можна ігнорувати, і який «почав порушувати природну рівновагу Землі».

Генеральний секретар Всесвітньої метеорологічної організації професор Петер Таалас, даючи заключну оцінку, відзначив [4]: «Бюлетень парникових газів містить невтішне наукове повідомлення для учасників переговорів з питання зміни клімату на Конференції ООН зі зміни клімату 2021 р. (COP26). За нинішніх темпів зростання концентрації парникових газів до кінця цього століття неминучим є підвищення глобальної температури, що значно перевищує цільові показники Паризької угоди на 1,5-2 °C вище за доіндустріальні рівні... Ми значно відхилилися від курсу».

Думку генерального секретаря Всесвітньої метеорологічної організації поділяє Генеральний секретар ООН Антоніу Гутерріш, який на саміті світових лідерів в рамках кліматичної конференції ООН (COP26, Глазго, осінь 2021 р.), зокрема, вказав [5]: «Шість років після Паризької кліматичної угоди стали шістьма найспекотнішими роками в історії. Наша планета змінюється на очах – від океанських глибин до гірських вершин; від танення льодовиків до неблаганних екстремальних погодних явищ». Антоніу Гутерріш дав оцінку зусиллям різних країн щодо зменшення руйнування природи і зобов'язанням на майбутнє: «І навіть якщо недавні обіцянки були чіткими та достовірними – а щодо деяких з них є серйозні запитання – ми все одно рухаємося до кліматичної катастрофи. Навіть у найкращому випадку температура підніметься значно вище двох градусів...» [5].

Експерти дуже стримано оцінюють результати конференції з клімату COP 26. Як вказує British Broadcasting Corporation: «Успіхи цього саміту: обіцяння припинити вирубку лісу після 2030 року та зменшити викиди метану на 30% до 2030 року. Їх важко назвати проривами» [6].

Разом з тим COP 26 показав, що у світі розуміють наявність важкої кліматичної кризи, яка постійно посилюється, але не можуть її зупинити. Важко уявити, що світова спільнота знайде у собі сили до справді масштабних зусиль глобального характеру. Разом з тим активні дії — потрібні, та потрібні невідкладно.

Найбільш гострою проблемою енергетики є одержання первинної електричної енергії, у контексті декарбонізації – одержання такої енергії без викиду вуглекислого газу або з мінімально можливим викидом. Але разом з тим достовірно встановлено, що в даний час отримання кількості енергії, що повністю задовольняє потребам людства, тільки екологічними способами або близькими до цього поняття не є можливим.

Досить великі обсяги електроенергії забезпечують сьогодні атомні станції, які не викидають вуглекислий газ в атмосферу, але мають низку негативних властивостей – їхня небезпека, у разі виникнення аварій, землетрусів, повеней тощо, може бути надзвичайно високою. Крім того, сировина, що використовується в процесі її переробки, перетворення на паливо, а також відпрацьоване паливо вимагають особливого обігу, що є дуже витратним. До того ж запаси сировини для атомної енергетики у глобальному розумінні є досить обмеженими.

Атомні станції розташовуються лише у певних регіонах, зазвичай, у порівняно розвинених країнах, вони не можуть бути побудовані швидко і вимагають фахівців високої кваліфікації та постійного контролю. Проте атомні станції в період неухильного зростання температури на планеті та необхідності боротьби з цим явищем, мабуть, залишаться важливим джерелом електрики у найближчі десятиліття.

Вітрові електростанції вже сьогодні є дуже важливим і, здається, найбільш перспективним джерелом екологічно прийнятної електроенергії. У такій високорозвиненій країні, як ФРН, налічується понад 20 тис. вітроустановок, за їх допомогою виробляється близько 25% електроенергії. Вітрові електростанції розташовуються, як на суші, так і на морі, в останньому випадку їхня енергоефективність, як правило, — вища. Вітрові електростанції мають значно меншу потужність порівняно з тепловими, залежними від сили вітру – це їх істотні недоліки. Але, оскі-

льки вони можуть бути розміщені в багатьох місцях, майже не займають сільськогосподарських земель, і можуть бути різної потужності, є екологічно привабливими, то, з великою ймовірністю, такі електростанції розвиватимуться найактивніше.

Потужність великих вітрових електростанцій усе ж таки може бути досить високою, що підтверджує їх перспективність. Так, наприклад [7], широко відома британська шельфова вітряна електростанція London Array, розташована в гирлі річки Темзи, приблизно за 20 км від берега, на якій встановлено 175 турбін, у період введення в експлуатацію була найбільшою у світі шельфовою вітроелектростанцією і мала потужність 630 МВт. Потужність цієї станції могла бути значно більшою, але подальше її розширення зупинили на вимогу захисників птахів. Проте навіть існуюча потужність London Array є дуже показовою і її можна порівняти з потужністю середньої теплової електростанції.

У цьому контексті актуалізується дослідження питань про те:

які максимальні обсяги електроенергії можна виробити за допомогою вітрових станцій у тих чи інших регіонах планети;

які інвестиції будуть потрібними для реалізації таких проектів і якою буде собівартість енергії;

як співвідноситимуться обсяги виробництва енергії вітровими електростанціями та її споживання за періодами часу в різних регіонах. Відповіді на ці запитання є важливими для прийняття рішень щодо темпів та географії розвитку енергетики вітрової у поєднанні з розвитком інших її видів.

Також дуже важливим і перспективним напрямком розвитку «зеленої» енергетики є сонячні електростанції. Потужність таких станцій зазвичай — невелика, вони залежать від погоди та часу доби, розміщення сонячних елементів у деяких випадках є недоцільним, оскільки вони можуть займати цінні сільськогосподарські землі. Проте ці елементи можуть монтуватися в багатьох місцях, наприклад, на дахах будинків або промислових будівель тощо.

Дуже великі сонячні електростанції можуть бути спорудженими в пустелях, що підтверджується останніми роками багатьма прикладами. Так сонячна електростанція Solar Star (Каліфорнія, США), що належить ВНЕ Renewables, з вихідною потужністю 579 МВт виробляє за допомогою 1,72 млн сонячних панелей електроенергію, достатню для забезпечення приблизно 255 тис. будинків [8]. Це була найпотужніша наземна фотоелектрична система у світі, коли її було введено в експлуатацію у червні 2015 р. [9]. У листопаді 2016 року Solar Star поступився цим рекордом індійському сонячному парку Таміл Наду потужністю 648 МВт. [10].

Будівництво Solar Star є лише частиною масштабної програми. До 2045 р. Каліфорнія розраховує отримувати всю електроенергію з відновлюваних джерел. Це дозволить виконати цілі Паризької угоди щодо клімату, заявив губернатор Джеррі Браун [11].

Найбільшим у світі сонячним парком на одному майданчику, із запланованою загальною потужністю 5000 МВт до 2030 р., буде сонячний парк Мохаммеда бен Рашида Аль Мактума — мережі сонячних електростанцій у пустелі в ОАЕ, проекти яких є одним з ключових стовпів «Стратегії чистої енергії Дубаю — 2050», мета якої — забезпечити це місто на 75% загальної потужності за рахунок екологічно чистих джерел енергії до 2050 р. [12].

Очевидно, що такі великі сонячні електростанції можна порівняти за потужністю з найбільшими атомними або тепловими електростанціями. Якщо подібні об'єкти будуть споруджуватись у різних регіонах планети — це серйозно зможе сприяти процесу декарбонізації.

Електростанції, що працюють на природному газі, виробляють сьогодні майже чверть світової електроенергії та значну частину викидів вуглекислого газу, є менш екологічно шкідливими, ніж вугільні. Вони будуть компромісним варіантом ще протягом кількох десятиліть, оскільки мають низку цінних якостей — велику потужність, здатність до швидкого запуску та можливості згладжувати піки споживання енергії у разі, коли вітрові або сонячні електростанції не можуть функціонувати.

Авторитетний економічний експерт Deutsche Welle (ФРН) А. Гурков [13], аналізуючи виступи Олафа Шольца, звертає увагу на відгуки того щодо газової енергетики: «Необхідно усвідомити, що ми ще тривалий час користуватимемося газом і також будуватимемо нові газові електростанції, оскільки вони є передумовою для того, щоб ми взагалі змогли подолати цей період змін» [13].

Увага до газових електростанцій обумовлена тим, що при спалюванні природного газу виділяються значно менші обсяги CO<sub>2</sub>, ніж на вугільних. Вони розглядаються як тимчасові, на період переходу до повного використання відновлюваних джерел енергії, але дуже важливі заходи забезпечення енергії і самої можливості такого переходу.

Ідею масового будівництва газових електростанцій підтримують також Федеральне об'єднання німецької промисловості (BDI) та консалтингова компанія BCG, які восени 2021 р. представили масштабне дослідження "Кліматичні стежки 2.0. Економічна програма заради клімату та майбутнього" [14].

Як вказується в [13], дослідження є плодом зусиль понад 150 експертів BDI, міжнародної консалтингової компанії Boston Consulting Group (BCG) та понад 80 німецьких фірм та організацій бізнесу. Дослідження намітило найбільшу програму структурних змін й інвестицій, яка вимагатиме до 2030 р. приватних та державних вкладень у розмірі 860 млрд. євро в усіх ключових напрямках.

Німеччина має намір різко збільшити споживання електроенергії, що пов'язано, зокрема, з активним розвитком електромобільності, збільшенням частки електроенергії в опаленні. При цьому намічені наступні заходи [14]:

дворазове зростання введення в дію потужностей відновлюваних джерел енергії щорічно з 7 до 14 ГВт;

забезпечення до 2030 р. загальних потужностей сонячної енергетики ФРН до 140 ГВт;

у цей період планується наростити потужність вітрових електростанцій, материкових – до 98 ГВт, офшорних – до 28 ГВт;

збільшити до 2030 р. потужності газових електростанцій у 2,3 рази – до 74 ГВт, при цьому – з можливістю використання на них у майбутньому замість природного газу – водню.

Масштаби енергетичних проектів є надзвичайно масштабними і продуманими, вони сформульовані з урахуванням дуже швидкої відмови ФРН від атомних електростанцій, у майбутньому – від вугільних. Такі реформи можуть, тією чи іншою мірою, бути реалізовані в різних країнах, з урахуванням місцевих умов.

Президент Франції Емманюель Макрон нещодавно заявив про намір інвестувати у розвиток ядерних міні-реакторів, представляючи у Єлисейському палаці стратегію розвитку Франції до 2030 року: 8 млрд. з 30 млрд. євро будуть направлені в енергетичний сектор, з них 1 млрд. – на розвиток мініреакторів потужністю від 50 до 500 МВт (набагато менших наявних реакторів потужністю від 900 до 1450 МВт), які можуть бути побудовані кластерами, щоб підвищити загальний виробіток електроенергії [15].

Малі модульні атомні реактори американської компанії NuScale, потужність яких – близько 60 МВт, можуть бути збудовані в різних місцях, якщо потрібно, то – групами. Прогнозується, що безпечність атомних мініелектростанцій має бути значно вищою великих. NuScale заявляє, що реактори мають розширені функції безпеки, включаючи самоохолодження та автоматичне відключення [16].

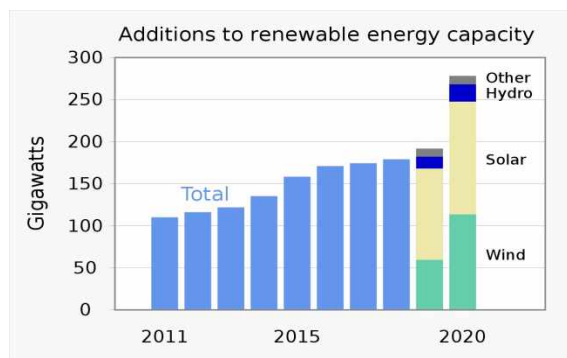


Рис. 1. Динаміка потужностей за відновлюваними джерелами енергії

Як свідчить (рис. 1), світовий приріст потужностей за відновлюваними джерелами енергії у 2020 році збільшився більше, ніж на 45% порівняно з 2019, у тому числі на 90% збільшилася потужність вітрових (зелений колір) та на 23% збільшилася кількість нових сонячних фотоелектричних установок (жовтий колір) [17].

Слід вважати прогресивним, що глобальний розвиток електроенергетики в майбутньому буде супроводжуватись активним зростанням значення електромобільного транспорту, який стане найважливішим. Електроенергія стане основним засобом опалення взимку, зможе знизити використання вугілля та мазуту у промисловості.

Спираючись на виконаний огляд, для визначення та прогнозування ефективності декарбонізації енергетики і можливостей прийняття відповідних управлінських рішень, запропоновано

матрицю аналізу інтегральної ефективності різних видів електростанцій (табл. 1). Значення критерію: *A* – дуже високий рівень, *B* – високий, *C* – середній, *D* – низький. Оцінка ефективності за сумою критеріїв, безумовно, має певний суб'єктивний характер, однак може віддзеркалити загальну оцінку перспективності різних видів електростанцій та сприяти прийняттю максимально адекватних управлінських рішень з вибору розвитку тих або інших їх видів в рамках менеджменту декарбонізації.

Таблиця 1

Інтегральна матриця за критеріями використання різних видів електростанцій

| Вид електростанцій | Запаси сировини, ресурсу за критерієм вичерпання та можливості транспортування | Можливість розміщення | Безпечність | Викиди CO <sub>2</sub> | Коефіцієнт корисної потужності | Потужність | Сумарно   |
|--------------------|--|-----------------------|-------------|------------------------|--------------------------------|------------|-----------|
| Газові ТЕС         | C  | A                     | C           | C                      | B                              | A          | 2A+B+3C   |
| Сонячні            | A  | B                     | A           | A                      | D                              | C          | 3A+B+C+D  |
| Вітрові            | A  | B                     | A           | A                      | C                              | C          | 3A+B+2C   |
| Гідро              | A  | D                     | C           | A                      | C                              | B          | 2A+B+2C+D |
| Вугільні ТЕС       | B  | C                     | C           | D                      | B                              | A          | A+2B+2C+D |
| Атомні великі      | C  | C                     | D           | A                      | A                              | A          | 3A+2C+D   |
| Атомні міні        | C  | B                     | C           | A                      | A                              | C          | 2A+B+3C   |

Ефективність гідроелектростанцій розглядається для умов Європи, де, як вважається, можливості будівництва нових станцій великої потужності – майже вичерпані.

Аналіз таблиці свідчить про те, що більш ефективними за сумою наведених критеріїв є вітрові, сонячні, атомні міні- та газові електростанції у порівнянні з найпоширенішими зараз вугільними та потужними атомними, останні з яких протягом декількох десятиліть рекомендується замінити на більш екологічно прийнятні.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Таким чином, аналіз глобальних екологічних викликів, які стали сьогодні реальністю, та можливих шляхів розвитку світової електроенергетики в контексті декарбонізації дозволив встановити наступне. Температура атмосфери планети зростає сьогодні і зростатиме надалі з неминучістю у зв'язку з неможливістю не тільки скорочення існуючого рівня викидів вуглекислого газу, а й навіть збереження такого рівня викидів, який є нині.

Разом з тим людство все далі більш чітко усвідомлює наростаючу небезпеку і шукає способи боротьби з нею. Магістральним напрямком розвитку всіх аспектів життя повинна бути декарбонізація, яка представляється безальтернативною.

Аналіз світового досвіду формування перспектив електроенергетики показав необхідність активного розвитку вітрових, сонячних електростанцій, сьогодні і в тривалій перспективі. На деякий перехідний період, який, ймовірно, обчислюється кількома десятиліттями, можуть бути рекомендовані газові електростанції і, де це можливо, атомні мікроелектростанції. Останні, як прогнозується, більш сучасні і безпечні, ніж традиційні великі атомні станції, потребують менш тривалих термінів будівництва та витрат. На основі аналізу динаміки світової електроенергетики запропонована матриця аналізу різних видів електростанцій за групою критеріїв у контексті менеджменту декарбонізації. Вказана матриця сприяє прийняттю управлінських рішень з розвитку певних видів підприємств електроенергетики в умовах активізації процесів збереження клімату.

Подальші дослідження можуть бути направлені на визначення ефективності використання різних видів енергії в контексті декарбонізації.

#### Список літератури

1. Хміль Ф.І. Основи менеджменту. – К.: Академвидав, 2003. – 608 с.
2. Скрипко Т.О. Інноваційний менеджмент. – К.: Знання, 2011. – 423 с.
3. Осовська Г.В., Осовський О.А. Основи менеджменту. – К.: «Кондор», 2006. – 664 с.
4. <https://public.wmo.int/ru/media/пресс-релизы/бюллетень-по-парниковым-газам-очередной-год-очередной-рекорд>
5. <https://www.un.org/sg/en/node/260423>
6. <https://www.bbc.com/russian/features-59101849>
7. <https://londonarray.com>
8. <https://us.sunpower.com/sites/default/files/media-library/case-studies/cs-solar-star-projects-fact-sheet.pdf>
9. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/Solar-Star-Largest-PV-Power-Plant-in-the-World-Now-Operational>

10. <https://indianexpress.com/article/india/india-news-india/solar-power-plant-kamuthi-tamil-nadu-world-largest-4403895/>
11. <https://p.dw.com/p/34eRV>
12. <https://wam.ae/ru/details/1395302961361>
13. <https://p.dw.com/p/42aRwB>
14. <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-2-0-handlungsempfehlungen-zur-studie/>
15. <https://p.dw.com/p/424F2>
16. <https://techxplora.com/news/2020-09-first-ever-small-commercial-nuclear-reactor.html>
17. <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2021/renewable-electricity>

Рукопис подано до редакції 09.11.2021

UDC 622.271

V.I. PAKHOMOV, Cand.Sc., Docent, I.V. HIRIN, Senior Lecturer,  
Yu.A. MONASTYRSKYI, Dr.Sc., Professor, V.Yu. TYSHCHENKO, Research Associate  
Kryvyi Rih National University

### RATIONAL PROFILE FOR CAREER ROADS

**Purpose.** To develop the method for optimizing the longitudinal road profiles of deep horizons through the scientific and technical solutions for the design and practical use of effective trucking systems in opencast mining.

**Research methods.** Mathematical statistics, axiomatic and hypothetical methods, program-target method, generalization of experience of domestic quarries with the use of statistical data on production and operational characteristics of motor transport equipment, system analysis and simulation using information computer technologies; technical and economic calculations to substantiate effective technical and organizational solutions, mathematical modeling, technical and economic analysis, regression analysis in the study of the influence of the parameters of the road profile on the speed of dump trucks.

**Scientific novelty.** The experimental-analytical methods for assessing mining and road conditions of technological vehicles based on a comprehensive accounting of physical criteria - loading mode of units of the dump truck, its speed depending on the applied configuration along the longitudinal profile; methods for assessing road operating conditions, the calculation of rational structures of road profiles used to power heavy-duty dump trucks is a contribution to the theory of transport systems formation in quarries.

**Practical significance.** Boosting operation of motor transport equipment by increasing the average speed of heavy-duty dump trucks through the use of guidelines for optimizing the longitudinal profile of roads and intensifying of opencast mining.

**Results.** The research results allow to increase the scientific validity and accuracy of operational indicators of quarry vehicles by considering the comprehensive mining and road operating conditions; reduce the cost of transporting rock mass by optimizing the longitudinal profile of roads and achieve an increase in the speed of loaded dump trucks.

**Key words:** quarry roads, heavy dump trucks, longitudinal profile.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-102-107

**Problem statement.** A career road is a sequence of tracks with different slopes, where the slopes of the travelled tracks affect the driving mode on the following tracks. However, the previous studies have not considered the relationship of the longitudinal profile characteristics of all driving tracks consistently travelled by the vehicles in deep quarries. In this regard, an important issue to be addressed is how to optimize characteristics of a longitudinal profile that integrate with technological and transport factors. This is particularly relevant in the lower horizons of the quarry, where the mining conditions determine the longitudinal profile of roads. The deeper the quarry is, the more convex the longitudinal road profile related to the technological mining conditions becomes. Thus, objective prerequisites exist for further setting and solving the task: what should be the longitudinal profile of roads within the working quarry at a given lifting height until the loaded dump truck reaches the above-horizon-mark in a shortest time - time criterion? Insights into the question can be gained from various perspectives including fuel consumption for the work performed, the transportation cost of 1 t mining rock mass and the total cost of roads and transportation. It should be noted that the slight change in the longitudinal profile affects the distance travelled by the vehicle between the loading and unloading points. The general task is effectively solved by modeling the driving modes of the vehicles.