

Барибін Микола Анатолійович^{1*}, Каращук Вікторія Олександрівна², Клецька Ольга Віталіївна³, Кіріцева Олена Вікторівна⁴, Джус Володимир Степанович⁵

¹ Аспірант кафедри «Теплотехніка, теплові двигуни та енергетичний менеджмент», Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1397-7852>

² Доцент кафедри «Електромеханіки та рухомого складу залізниць», Державний університет інфраструктури і технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1956-7555>.

³ Доцент кафедри «Рухомий склад транспортних систем», ДВНЗ Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87555, Україна ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4682-860X>.

⁴ Старший викладач кафедри «Рухомий склад транспортних систем», ДВНЗ Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87555, Україна ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2481-5883>.

⁵ Доцент кафедри «Рухомого складу і колії», Львівська філія ДНУЗТ, вул. Іванни Блажкевич, 12а, м. Львів, Україна ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1787-4471>

* Автор, відповідальний за листування: kanifoli4.92@gmail.com

МОДЕЛЬ ВЗАЄМОВПЛИВУ ЕКОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ТА НОРМУВАННЯ ЕНЕРГІЇ НА ТЯГУ ПОЇЗДІВ В ЛОГІСТИЦІ ЗАЛІЗНИЦЬ

У статті розглянуті питання екологічного оподаткування викидів вуглекислого газу країнами Європейського союзу та методологія розрахунку величини викидів з використанням нормативних документів України. Встановлено непристосованість методики даних розрахунків нашої країни до реальних умов експлуатації під впливом транскордонного вуглецевого оподаткування та «Emissions Trading System». Запропоновано математичну модель впливу енергогенеруючих станцій держав та їх вкладу в загальний енергобаланс країни на екологічну вартість та маси викидів 1 кВт·год генерації електроенергії. Визначена величина втрат електроенергії при транспортуванні її від електростанції до електрорухомого складу та враховано в загальній величині відрахувань за «Emissions Trading System» для мереж залізниць постійного та змінного струму. Розглянуто на базі реального парку тягового рухомого складу залізниць та мережі логістичних ліній схеми маршрутів руху транзитних та місцевих вантажів. Проаналізовано паспортні характеристики локомотивів та визначено величину викидів і відрахувань при роботі на номінальному режимі та холостому ході. Виконано розрахунок питомих норм для обраних маршрутів слідування та поїзних умов. Встановлено загальні витрати, вартість їх та величини викидів й оподаткування обраних маршрутів, та визначено на їх базі раціональних економічних та екологічних логістичних ліній руху поїздів.

Ключові слова: нормування витрат, викиди вуглекислого газу, енергоресурси, математичне моделювання, тяговий рухомий склад, екологічні показники, логістика перевезень.

Вступ. При роботі енергогенеруючих потужностей країн, в частині тих, що засновані на принципі перетворення хімічної енергії викопного палива на електричну енергію головного генератора, в силу багатоконпонентності споживаного палива й інших чинників, виявляється шкідливий вплив на всі сфери нашої планети. Людина – невід'ємна частина довкілля гостро відчуває будь-які негативні зміни викликані впливом техносфери на ареал його проживання. У

зв'язку з цим виникла потреба оцінки впливу засобів виробництва на довкілля та його економічна доцільність застосування. Визначення концентрацій шкідливих речовин, аналіз та пошук шляхів їх зменшення – невід'ємна частина політики держав, що входять до Кіотського протоколу, відповідно до засідання від 1997 р. країни підписанти (у тому числі Україна) взяли на себе зобов'язання зі зменшення викиду парникових газів та інших шкідливих речовин на певний відсоток для кожної держави від величини викиду на душу населення. Удосконалення конструкцій енергетичного та транспортного комплексів, як основних забруднювачів довкілля в Україні, екологічний та енергетичний аудит, контроль технічного стану – все це повинно стати найважливішими напрямками у функціонуванні та розвитку залізничної галузі.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Зростання цін енергоресурсів на світових ринках та збільшення податків за забруднення оточуючого середовища стимулює розвиток науково-технічного прогресу. Не дивно що безліч фахівців присвятили свої праці екологічному контролю, нормуванню енергоресурсів та математичному моделюванню раціонального балансу економічної та екологічної складової. На першому етапі аналізу проблематики необхідно визначитись з існуючими реаліями та станом енергетики, для України це добре відображено в роботах [1-2]. Характеристика типів палив, які застосовуються на теплових електростанціях (ТЕС), теплових електроцентралях (ТЕЦ) й в двигунах внутрішнього згоряння, їх елементного складу, теплотворної спроможності та основ теорії горіння добре описано в підручнику [3] – що дає можливість визначити екологічне навантаження 1 кг використаного ресурсу. Врахування впливу екологічної діяльності на залізничному транспорті (її суть, актуальність, місце і роль) відображено в працях [4-5]. Роботи [6-7] висвітлюють економічну актуальність екологізації залізниці з приведенням реальних прикладів різних країн світу. На другому етапі необхідно виконати економічний та екологічний аналіз транспортних засобів залізниць, що знайшло своє відображення в [8], та еколого-економічної ефективності функціонування територіально-виробничих й режимів роботи підприємств і локомотивів [9-10]. Серед них слід виділити роботи [11-13], в якій сформовані принципи режимізації тягового рухомого складу та оптимізації витрат ресурсів на тягу. В працях Осипова [14] сформульовані основні підходи до вирішення рівнянь тяги поїздів, встановлення величин витрат та проаналізовані сили що впливають. Використання досвіду екологічної стійкості міського транспорту протягом життєвого циклу [15] та співставлення його з реаліями залізничного комплексу [16] протидіє повтору помилок авторів та формує картину екологічної безпеки.

Аналіз існуючих нормативних документів з нормування витрат паливно-енергетичних ресурсів на тягу поїздів, методики розрахунку та встановлення коефіцієнтів нормоутворюючих рівнянь всіх виробничих підрозділів АТ «Укрзалізниця» показав гостру необхідність у просуванні екологічних питань, як таких, що є частиною методології нормування, та розробці і впровадженні нових методик на заміну старим [17]. Використання праці [18] на регіональних філіях, філіях та інших структурних підрозділах призводить до зменшення енергоємності виробництва і як наслідок кількості шкідливих викидів в атмо-, гідро-, літо- й біосфери нашої планети. Тому вирішенням проблеми є створення математичної моделі взаємовпливу екологічних аспектів та нормування енергії на тягу поїздів в логістиці залізниць, яка буде направлена на отримання екологічного та економічного балансу.

Мета і завдання дослідження. Проаналізувати існуючу методику обліку викидів шкідливих речовин. Розглянути реальну логістичну мережу транспортування потоків транзитних та місцевих вантажів. Встановити енергогенеруючий вплив (за типом електростанції) в енергосистемі України та величину викидів CO₂ на годину їх роботи. Визначити величину відрахувань вуглецевого податку та кількість викидів транспортним потоком за маршрутами слідування. Встановити економічну та екологічну вартість перевезень.

Матеріал та методи дослідження. Глобалізація світового ринку логістичних перевезень та боротьба країн за екологізацію всіх видів транспорту накладає свій відбиток на оподаткування шкідливих викидів та кінцеву вартість продукту в країні призначення. Так європейське транскордонне вуглецеве оподаткування (ТВО) продукції добувних та промислових

підприємств знижує конкурентну здатність собівартості товарів й ресурсів країн не членів Європейського союзу (ЄС) до рівня втрати ринку збуту (у зв'язку з економічним програвом вартості порівняно з іншими). Так як основна частина продукції експорту України в ЄС є переліком цього списку, а кінцева величина ТВО базується на обліку викидів вуглекислого газу на всіх етапах (видобуток, переробка, зберігання та транспортування), а транспортна складова займає близько 30...40% кінцевої собівартості продукції й основний об'єм перевезень припадає на залізничний комплекс виникає питання оцінки доцільності існуючих маршрутів перевезень вантажів. Критичним фактором є також особливість географічного (на шляхах вантажопотоків між Європою та Азією) та стратегічного (основна частина перевезень вантажів в Україні припадає на залізничний комплекс й він проектувався під великі об'єми за часів СРСР, тому втрата транзитних потоків може призвести до знищення окремих структурних та інфраструктурних елементів даного комплексу, яскравим прикладом такого впливу є розбирання «непарних/парних колії» на перегоні, приймально-відправних колій парків, зменшення штату та об'єднання виробничих підрозділів харківського залізничного вузла – все це призводить до підвищення собівартості одиниці продукції АТ «Укрзалізниця», зменшення пропускної здатності та стійкості комплексу піковим навантаженням) розташування України. Важливим фактором є також підвищення вуглецевих квот в рамках торгівлі викидами в ЄС (по системі Emissions Trading System (ETS)) з 30 євро/1 тону (в 2020 році) до 50 євро/1 тону (в травні 2021 року), а також це мало відношення й до розширення списку товарів і продукції у відношенні яких вводиться дана система. На нашу думку в майбутньому даний перелік буде розширено до всієї без винятку продукції, а величина оподаткування буде тільки зростати.

Існуюча методика величини викидів шкідливої речовини пропонує визначати за формулою:

$$E_{XY_i} = \frac{K_{XY} \cdot 10^4 \cdot C_{XY} \cdot (0,001 \cdot \frac{21 \cdot L_{air}^0 \cdot G_f}{21 - C_{O_2}} - 0,000974 G_f) \cdot t}{P_{ei}}, \quad (1)$$

де K_{XY} – коефіцієнт шкідливої речовини (для оксидів азоту $K_{NO_x} = 5,72$, для оксидів вуглецю

$K_{CO_x} = 3,475$, для викидів вуглеводнів $K_{C_mH_n} = 5,46$);

C_{XY} – концентрація викидів забруднюючої речовини за результатами замірів, %;

L_{air}^0 – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг палива - для дизельного палива (молекулярна структура якого має співвідношення речовин $O^P=0,5\%$, $C^P=86\%$, $H^P=13\%$, $S^P=0,5\%$ та середній масовій частині кисню в повітрі $O_2=0,232$) складає $L_{air}^0 = 14,32$ кг;

G_f – фактична витрата дизельного палива, г/с;

C_{O_2} – концентрація кисню у відпрацьованих газах, %;

P_{ei} – ефективна потужність дизеля тепловоза на і-му режимі випробування чи роботи, кВт;

t – час, протягом якого здійснюється вплив на екологію.

Недоліком даної методики є застосування лише до теплотягового рухомого складу, що в умовах розвинутої енергогенеруючої системи України та ТВО й ETS може призвести до економічних та галузевих втрат. Другим важливим недоліком є прив'язка до P_{ei} (в реальних умовах експлуатації встановити дуже важко). Тому пропонується інша методика й алгоритм, основа якої є повне згорання елементів палива: вуглецю (С), водню (Н) та сірки (S). Поправка недопалу повинна бути здійснена тільки після екологічних випробувань обладнання.

В умовах збереження транспортних потоків, та як наслідок залізничного комплексу України, розглянемо транзитні й внутрішні коридори прямування вантажів від станції Валуйки (Російська федерація) через станцію Куп'янськ-Сортувальний (з можливим приєднанням в хвіст поїзда вагонів продукції внутрішнього виробництва) до станції Новомосковськ-Дніпровський.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Першим етапом повинно стати аналіз поїзних умов транспортної логістики між вказаними станціями. На рисунку 1 зображені логістичні лінії Південної, Донецької та Придніпровської залізниць за видом струму та типом тяги. Як видно з рисунку 1 на даній дільниці АТ «Укрзалізниця» у своєму переліку має всі види струму й на окремих дільницях теплотягу. Зміна типу тягового рухомого складу вимагає розгляд, на кожному плечі експлуатації, всього переліку одиниць. Першим важливим проміжком є між кордонний перехід від ст. Валуйки до ст. Куп'янськ-Сортувальний з проходженням митного та прикордонного контролю на вказаних станціях. Основним локомотивом експлуатації, на даній дільниці, є ВЛ80С. Від ст. Куп'янськ-Сортувальний, незалежно від напрямку вантажопотоку, йде зміна роду струму по ст. Граково та ст. Святогірськ тому застосовують ВЛ82М. При недостатній кількості локомотивів подвійного струму живлення можливі зупинки на вказаних станціях стикування для заміни локомотива. З боку Південної основним вантажним локомотивом постійного струму є ВЛ11, з боку Донецької залізниці – ВЛ8, локомотивний парк Придніпровської залізниці представлений в основному у вигляді ВЛ8 та ВЛ11. На дільницях теплотяги перевезення великовантажних составів покладено «на плечі» 2ТЕ116 – основного вантажного тепловозу вказаних залізниць. На рисунку 2 зображені транспортні коридори руху вантажів від ст. Валуйки до ст. Новомосковськ-Дніпровський, їх протяжність, серед яких на сьогоднішній час основним є позначений синім кольором; зелені та червоні логістичні лінії є резервними.

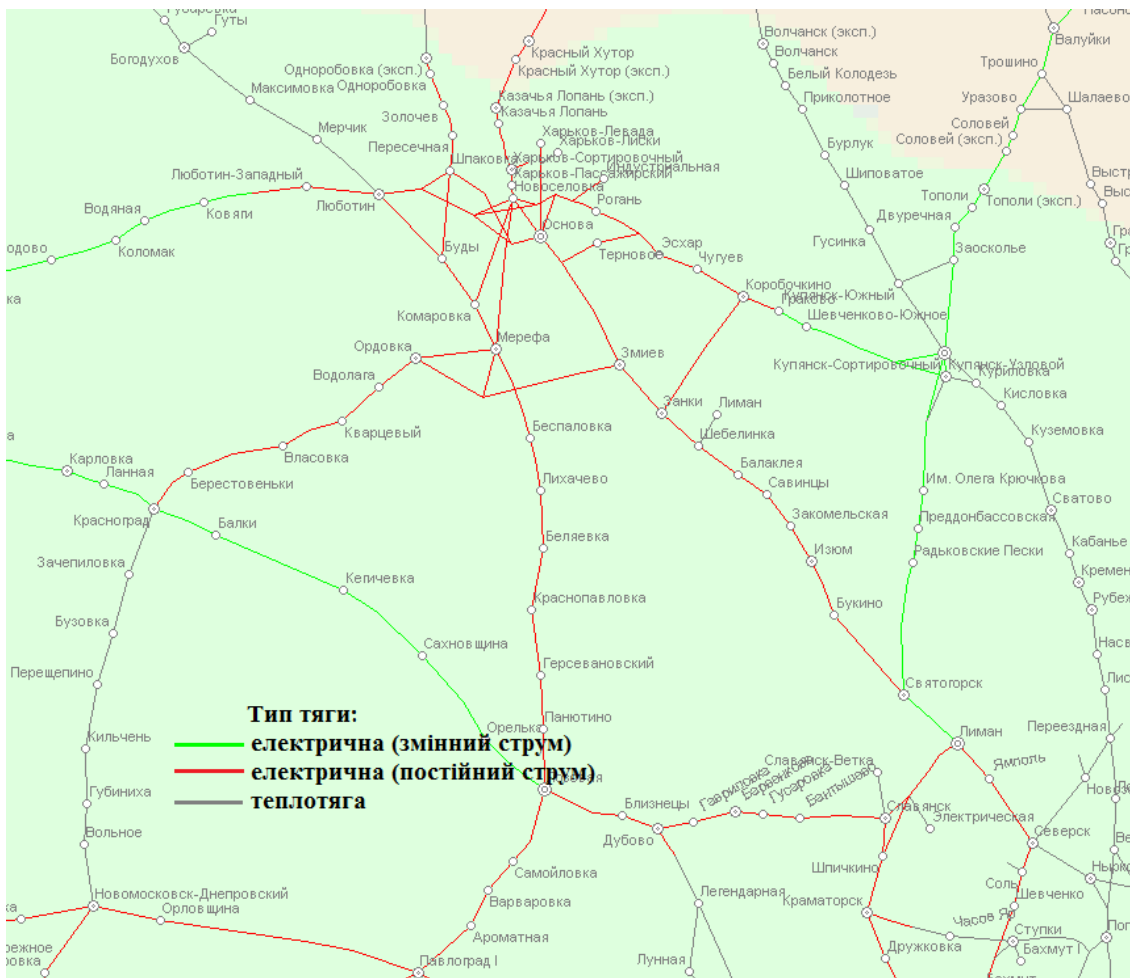


Рис. 1. Графічне зображення транспортної логістики за типізацією виду тяги

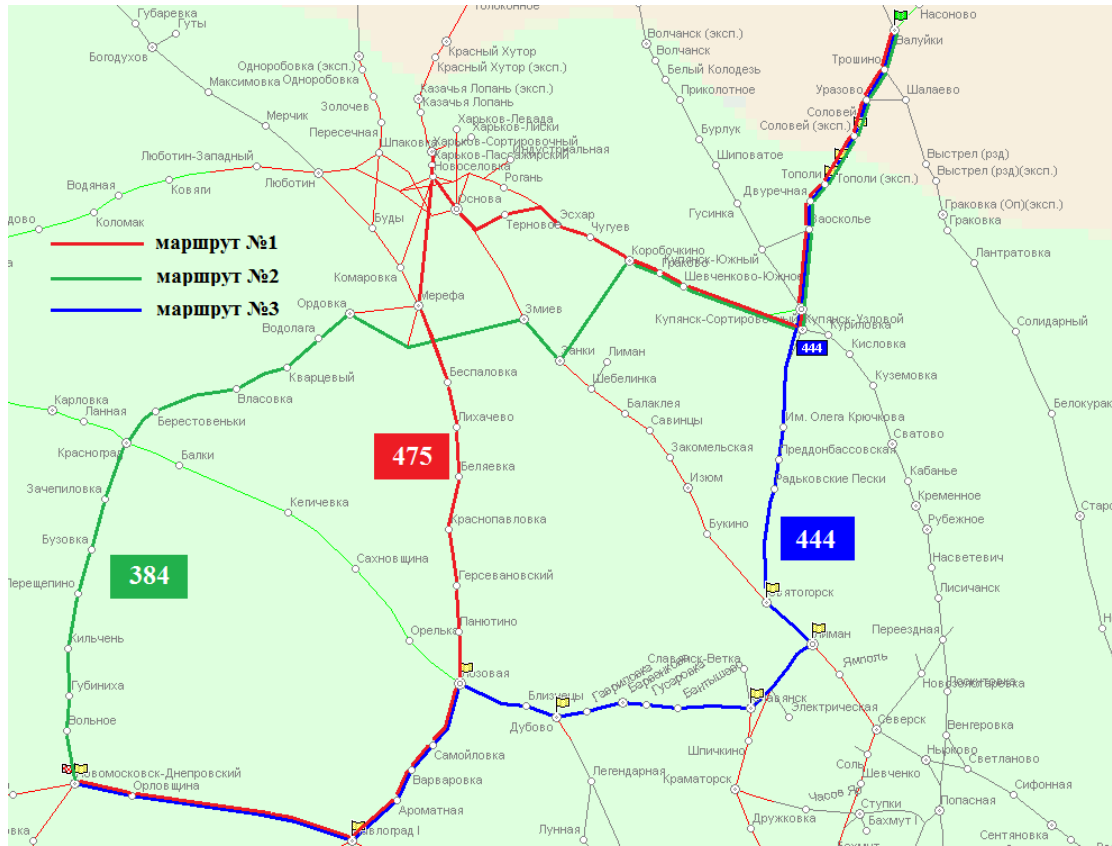


Рис. 2. Графічне зображення можливих потоків вантажів зі станції Валуйки до станції Новомосковськ-Дніпровський

Другим важливим етапом є аналіз електрогенеруючих станцій енергосистеми України, їх вкладу, зображення якого наведено на рисунку 3 за інформацією від НЕК «УКРЕНЕРГО», в загальний енергобаланс та визначення величини вуглецевих викидів при виробленні 1 кВт·год електроенергії. Для цього у проміжок часу з 01.07.2019 по 01.11.2021 в таблиці 1 визначимо середній електрогенеруючий вплив кожного джерела електрогенерації.

Таблиця 1. Середній електрогенеруючий вплив та величина втрат в мережах електроенергії України та електропостачання АТ «Укрзалізниця»

Тип електростанції	Середній вклад в енергосистему України P_{EG} $MВт\cdot год$	Відсоток вкладу в енергосистему України, %	Середній ККД [1-2] k_{ef} %	Втрати електроенергії в мережах України [1], %	Втрати електроенергії в мережах АТ «Укрзалізниця» [17-18], %
АЕС	9072,03	56,97	25	15	на постійному струмі: 12,11 на змінному струмі: 11,6
ТЕЦ	1326,84	8,33	31		
СЕС, ВЕС, СБ	868,79	5,46	12.5...25		
ТЕС	3714,99	23,33	31		
ГЕС	785,29	4,93	90...93		
ГАЕС	156,83	0,98	88...91		

Згідно з табл. 1 та рис. 3 єдиним джерелом безпосередніх викидів CO_2 в атмосферу є ТЕС та ТЕЦ, хімічна основа яких покладена в процесі окислення твердих, рідких чи газоподібних палив. При цьому будемо розглядати тільки процес перетворення хімічної енергії

безпосередньо на ТЕЦ та ТЕС і не будемо враховувати викиди CO_2 при видобутку, транспортуванні та зберіганні палив.

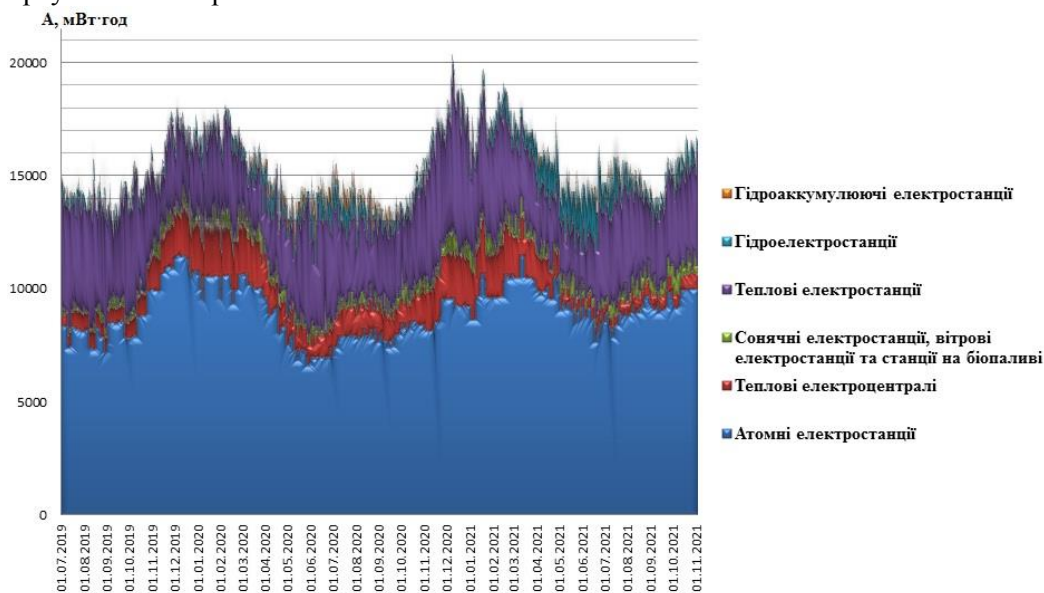


Рис. 3. Графічне зображення електрогенеруючих потужностей та їх вкладу в загальну енергосистему України на обраному проміжку часу

Згідно з даними НЕК «УКРЕНЕРГО» на розглянутому проміжку часу середній вклад встановленої потужності в енергосистему України блоків що працюють на вугіллі антрацитової групи, газової групи та на газу наведено в таблиці 3. Приведемо в таблиці 2 хімічний склад основних теплотворних елементів вказаних палив згідно даних [3] для аналізу. Для визначення питомої теплоти згоряння скористаємося формулою:

$$q = \frac{(Q_C \cdot k_C + Q_H \cdot k_H + Q_S \cdot k_S) \cdot k_{KP}}{100}, \quad (2)$$

де Q_C, Q_H, Q_S – кількість теплової енергії що утворюється при спалюванні вуглецю (C), водню (H) та сірки (S), МДж/кг;

k_C, k_H, k_S – відсоток вмісту в масі кожного елементу;

k_{KP} – коефіцієнт кореляції на нагрів повітря, не ідеальність процесу окислення та суміші в паливі.

Результати розрахунку та вхідні значення обліку питомої теплоти згоряння для різних типів викопних палив наведемо у таблиці 3. Розрахунок величини відрахувань (за ETS) з електроенергії відповідної групи палива (Δ_i) пропонується здійснювати за формулою:

$$\Delta_i = \frac{E_{CO_2} \cdot d_{EVRO}}{10^3 \cdot (P_{TEЦ} + P_{TEC}) \cdot k_{en}}, \quad (3)$$

де E_{CO_2} – кількості викидів CO_2 при роботі енергоблоку на відповідному типі палива, $t \cdot год$;

d_{EVRO} – вартість квоти по системі ETS, $d_{EVRO} = 50 \text{ евро}/t$;

$P_{TEЦ}, P_{TEC}$ – відповідно середній вклад в енергосистему України протягом 1 год, $MBt \cdot год$;

k_{en} – відсоток впливу в загальному виробництві ТЕЦ і ТЕС, %.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Таблиця 2. Енергетичні характеристики типів палив які застосовуються для виробництва електроенергії на ТЕС та ТЕЦ України й дизельного палива яке використовуються на тепловозах АТ «Укрзалізниця»

Група палива	C, %	H, %	S, %	k _{кр}	Питома теплота згоряння q, МДж/т
Вугілля антрацитові (Anthrazit)	91,5	5,3	1	1,21	31056,03
Вугілля газові (Gaskohle)	86,2	3,75	1	1,21	27813,14
Газ (трубопровідний)	71,25	23,75	0	1,32	43073,86
Дизельне паливо	86	13,3	0,15	1,11	42319,75
Кількість теплової енергії при спалюванні Q, МДж/кг	32,8	141	9,28		

Для обчислення кількості викидів CO₂ відповідної групи палива (E_{CO₂}) пропонується скористатися виразом:

$$E_{CO_2} = \frac{k_C \cdot M_{CO_2} \cdot 3600 \cdot k_{en} \cdot (P_{ТЕЦ} + P_{ТЕС})}{M_C \cdot q \cdot k_{ef} \cdot 100}, \quad (4)$$

де M_{CO₂}, M_C – відповідно молярна маса CO₂ та C, M_{CO₂} = 44 г/моль, M_C = 12 г/моль;

3600 – перевідний коефіцієнт з МВт в МДж;

k_{ef} – середній відсоток ККД ТЕС та ТЕЦ.

Визначення загальної величини відрахувань (за ETS) з електроенергії (Δ_к) пропонується здійснювати за формулою:

$$\Delta_K = \frac{k_{EC} \cdot p_1 \cdot \sum_{i=1}^l \Delta_i \cdot k_{en_i}}{10000}, \quad (5)$$

де p₁ – сумарний відсоток вкладу ТЕС і ТЕЦ в енергосистему України, p₁ = 31,66;

l – кількість груп палива, l=3;

k_{EC} – коефіцієнт збільшення втрати електроенергії в мережах України.

Величину кількості викидів CO₂ дизельного палива (^{ном}E_{CO₂}^{менл}) на номінальному режимі роботи та холостому ході пропонується визначати виразом:

$${}^{ном}E_{CO_2}^{менл} = \frac{k_C \cdot M_{CO_2} \cdot G_{ном}}{M_C \cdot 100}, \quad (6)$$

де G_{ном} – витрати палива на номінальному режимі, для тепловозу 2ТЕ116 G_{ном} = 0,920 т.

Для визначення кількості викидів CO₂ дизельного палива (^{хх}E_{CO₂}^{менл}) на холостому ході підставимо замість G_{ном} → G_{хх} = 0,03 т.

Тоді для обліку загальної величини відрахувань (за ETS) з 1 кВт отриманої потужності тепловозу 2ТЕ116 (Δ_к^{менл}) пропонується виконувати за формулою:

$$\Delta_K^{менл} = \frac{E_{CO_2}^{менл} \cdot d_{EVRO}}{P_e}, \quad (7)$$

де P_e – потужність тягового рухомого складу на номінальному режимі та холостому ході, для 2ТЕ116 відповідно ^{ном}P_e = 4500 кВт та ^{хх}P_e = 32,5 кВт.

Результати розрахунку E_{CO₂} та Δ для кожного типу викопного палива й загального Δ_к в

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

енергобалансі країни, що застосовується на ТЕС і ТЕЦ України, й дизельного палива тепловозу 2ТЕ116 зведемо до таблиці 3.

Таблиця 3. Результати розрахунку кількості викидів CO₂ та відрахувань ТВО (за ETS) різних груп палива при виробництві електроенергії в Україні та на тепловозі 2ТЕ116

Група палива	$k_{ТЕС+ТЕЦ}, \%$	$k_{env}, \%$	E_{CO_2}, t	$k_{ЕС} [1]$	$\Delta_i, \text{євро}/\text{кВт}\cdot\text{год}$
Вплив вугілля антрацитової групи	14,55	45,95	2906,44	1,15	0,0627
Вплив вугілля газової групи	10,38	32,79	2181,72		0,0660
Вплив трубопроводного газу	6,73	21,26	754,98		0,0352
	$\Sigma p_i=31,66$	$\Sigma=100$	$\Sigma=5843,14$		$\Delta_K=0,0211$
Теплотяга (тепловоз 2ТЕ116)					
Дизельне паливо	$^{ном} E_{CO_2}^{тепл} = 2,9 t$	$^{XX} E_{CO_2}^{тепл} = 0,09 t$	$^{ном} \Delta_K^{тепл} = 0,0322$	$^{XX} \Delta_K^{тепл} = 0,0011$	

Враховуючі дані з таблиці 1, а саме втрати електроенергії в системі енергопостачання АТ «Укрзалізниця», отримаємо величину вартості відрахувань (за ETS) - для постійного струму: $\Delta_K^- = 0,0237 \text{ євро}/\text{кВт}\cdot\text{год}$; для змінного струму: $\Delta_K^+ = 0,0235 \text{ євро}/\text{кВт}\cdot\text{год}$. Тоді враховуючи типи тягового рухомого складу кількість викидів CO₂ ($E_{CO_2}^{заг}$) та величина суми оподаткування (Δ) будуть визначатись за виразами:

$$\Delta = A \cdot \Delta_K, \quad (8)$$

$$E_{CO_2}^{заг} = \frac{\Delta}{d_{EVRO}}, \quad (9)$$

де A – годинні витрати електроенергії в номінальному режимі або на холостому ході тяговим рухомих складом, $\text{кВт}\cdot\text{год}$.

Для теплотягового рухомого складу в виразі (8) замість годинних витрат електроенергії в номінальному режимі чи на холостому ході необхідно підставити годинну потужність тепловозу відповідно на номінальному режимі (для тепловозу 2ТЕ116 $^{ном} P_e = 4500 \text{ кВт}$) та на холостому ході (для тепловозу 2ТЕ116 $^{XX} P_e = 32,5 \text{ кВт}$). Зведемо отримані дані та співставимо з паспортними характеристиками рухомого складу та наведемо в табл. 4.

Таблиця 4. Паспортні характеристики обраних типів тягового рухомого складу

Серія ТРС	ВЛ8	ВЛ11	ВЛ80С	ВЛ82М	2ТЕ116
Потужність, кВт	3656	4529	5956	5588	4500
ККД	0,896	0,88	0,899	0,847	0,293
Зчіпна вага, т	184	184	190	200	276
Годинні витрати електроенергії (кВт·год) чи палива (кг) в номінальному режимі	4080	4980	6625	6600	920,0
Годинні витрати електроенергії (кВт·год) чи палива (кг) на холостому ході	129	129	50	160	30
Годинні $^{ном} E_{CO_2}^{заг}, t$	1,93392	2,36052	3,11375	$3,1284^{\sim}$ $3,102^{\sim}$	2,898
Годинні $^{XX} E_{CO_2}^{заг}, t$	0,061146	0,061146	0,0235	$0,07584^{\sim}$ $0,0752^{\sim}$	0,02093
Годинна $^{ном} \Delta, \text{євро}$	96,70	118,03	155,69	$156,42^{\sim}$ $155,1^{\sim}$	144,90
Годинна $^{XX} \Delta, \text{євро}$	3,0573	3,0573	1,175	$3,792^{\sim}$ $3,76^{\sim}$	1,05

Примітка. = - постійний струм; \sim - змінний струм

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Існуючий підхід розрахунку норми витрат електричної енергії, для електрорухомого складу, та палива, для теплотяги, згідно [14, 17] виконують за виразами:

$$e = e_0 \cdot K_w \cdot K_q \cdot K_i \cdot K_\tau + z' \cdot (\Delta e_\tau + \Delta e_p) + e_d \cdot (K_d + \Theta_C \cdot K'_d), \quad (10)$$

$$n = n_0 \cdot K_w \cdot K_q \cdot K_i \cdot K_\tau \cdot K_{T.C.} + z' \cdot \Delta n_\tau + n_x \cdot K_x + \Theta_C \cdot K'_x \cdot n_x, \quad (11)$$

де e_0, n_0 – відповідно вихідні норми витрат електроенергії та дизельного палива, які визначаються тягово-енергетичним паспортом локомотива, $\text{кВт год}/10 \text{ тис. т.км.бр}$ та $\text{кг}/10 \text{ тис. т.км.бр}$;

K_w – коефіцієнт, який враховує зміну опору поїзда в залежності від особливостей його формування;

K_q – коефіцієнт впливу ступеня використання вантажопідйомності вагонів (в даному випадку відношення статичного навантаження на вісь до $17,5 \text{ т}$);

K_i – коефіцієнт складності нормованої дільниці;

K_τ – температурний коефіцієнт нормованого періоду;

$K_{T.C.}$ – коефіцієнт який враховує технічний стан локомотива;

z' – кількість зупинок, які передбачені графіком руху поїздів на 100 поїздо-км ;

$\Delta e_\tau, \Delta n_\tau$ – відповідно витрати електроенергії та дизельного палива на відновлення кінетичної енергії, втраченої при гальмуванні, $\text{кВт год}/10 \text{ тис. т.км.бр}$ та $\text{кг}/10 \text{ тис. т.км.бр}$;

Δe_p – витрати електроенергії для електровозів постійного струму в реостатах при русанні та розгоні, $\text{кВт год}/10 \text{ тис. т.км.бр}$;

e_d – витрати електроенергії на допоміжні машини локомотива, $\text{кВт год}/10 \text{ тис. т.км.бр}$;

K_d, K'_d – відповідно коефіцієнти використання потужності допоміжних машин електровоза в ходу та на стоянках, отриманих як частина номінальної потужності, фактично використаної для обслуговування локомотивів;

n_x – витрати дизельного палива на холостий хід при $K_x = 1$;

K_x – коефіцієнт холостого ходу локомотива, виражений відношенням часу холостого ходу до загального часу руху поїзда;

K'_x – коефіцієнт холостої роботи дизеля, виражений відношенням часу роботи дизеля за добу до загальної тривалості стоянок;

Θ_C – коефіцієнт стоянкового часу, як відношення часу зупинок, передбачених розкладом руху, до загального часу руху поїзда.

Розіб'ємо маршрути, зображені на рисунку 2, на плечі обслуговування локомотивами за типом тягового рухомого складу, їх протяжністю (L) та еквівалентний підйомом без обліку сил інерції (i_e) й зведемо до таблиці 5. При цьому маршрут №2 розіб'ємо на два маршрути – перший з яких враховує нестачу електровозів подвійного струму живлення, а другий – їх повну наявність.

Таблиця 5. Плечі обслуговування за типом тягового рухомого складу та їх протяжністю

Тягові плечі	Тип тягового рухомого складу					$L, \text{ км}$ $i_e, \%$
	ВЛ8	ВЛ11	ВЛ80С	ВЛ82М	2ТЕ116	
Маршрут прямування №1						
№1 Валуйки - Куп'янськ-Сортувальний			•			74 +0,11
№2 Куп'янськ-Сортувальний - Харків-Сортувальний				•		135 +1,17
№3 Харків-Сортувальний - Новомосковськ-Дніпровський		•				266 +1,48

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Закінчення таблиці 5

Маршрут прямування №2а						
№1 Валуйки - Куп'янськ-Сортувальний			•			74 +0,11
№2 Куп'янськ-Сортувальний - Граково			•			64 +0,54
№3 Граково - Красноград		•				148 +1,32
№4 Красноград - Новомосковськ-Дніпровський					•	98 +0,21
Маршрут прямування №2б						
№1 Валуйки - Куп'янськ-Сортувальний			•			74 +0,11
№2 Куп'янськ-Сортувальний - Красноград				•		212 +1,12
№3 Красноград - Новомосковськ-Дніпровський					•	98 +0,21
Маршрут прямування №3						
№1 Валуйки - Куп'янськ-Сортувальний			•			74 +0,11
№2 Куп'янськ-Сортувальний - Лиман				•		100 +0,17
№3 Лиман - Новомосковськ-Дніпровський	•					270 +1,52

Причина наявності короткого плеча обслуговування «Валуйки – Куп'янськ – Сортувальний» транзитних потоків вантажів заснована на проходженні прикордонного, митного та контролю з боку служб безпеки обох країн та вимогою до локомотивної бригади прослідувати без зупинок на проміжних станціях й на шляху слідування після проходження контролю.

Розглянемо вантажний поїзд вагою 4018 т брутто сформований з 49 4-ох вісних напіввагонів, на підшипниках кочення, навантажених вугіллям, температура слідування +10 °С. Згідно графіку руху поїздів (в частині встановлення часу перегінного ходу вантажного поїзда) встановимо швидкості руху (використавши таблицю 5) на кожному тяговому плечі та сформуємо таблиці 6-7. Норми витрат електроенергії згідно тягово-енергетичних паспортів [17] (для змінного і постійного струму ВЛ82м врахуємо на базі відстаней станцій стикування).

Таблиця 6. Нормування витрат енергії по дільницям 1 і 3 маршрутів прямування

Номер тягового плеча	Маршрут прямування №1			Маршрут прямування №3		
	№1	№2	№3	№1	№2	№3
Швидкість руху, км/год	47,99	46,95	48,33	47,99	51,7	51,4
e_0 , кВт·год/10 тис. т.км.бр	56,6	55,6	62,9	56,6	56,4	54,3
K_w	1	1	1	1	1	1
K_q	0,923	0,924	0,923	0,923	0,920	0,920
K_i	1,057	1,499	1,655	1,057	1,085	1,657
K_τ	1,022	1,022	1,022	1,022	1,022	1,022
z'	0	0	0	0	0	0
e_d , кВт·год/10 тис. т.км.бр	3,63	9,28	6,95	3,63	8,42	6,54
K_d	1	1	1	1	1	1
e , кВт·год/10 тис. т.км.бр	60,06	87,98	105,15	60,06	65,96	91,14
A , кВт·год	1785,91	4772,54	11238,06	1785,91	2650,15	9887,22

Таблиця 7. Нормування витрат енергії по дільницям 2а і 2б маршрутів прямування

Номер тягового плеча	Маршрут прямування №2а				Маршрут прямування №2б		
	№1	№2	№3	№4	№1	№2	№3
1	2	3	4	5	6	7	8
Швидкість руху, км/год	47,99	47,84	48,17	39,18	47,99	47,99	39,18

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Закінчення таблиці 7

e_0 , кВт·год/10 тис. т.км.бр	56,6	56,5	62,8	-	56,6	56,9	-
n_0 , кг/10 тис. т.км.бр	-	-	-	15,9	-	-	15,9
K_w	1	1	1	1	1	1	1
K_q	0,923	0,923	0,923	0,931	0,923	0,923	0,931
K_i	1,057	1,165	1,571	1	1,057	1,468	1
K_τ	1,022	1,022	1,022	1,012	1,022	1,022	1,012
$K_{T.C.}$	-	-	-	1,14	-	-	1,14
z'	0	0	0	0	0	0	0
e_D , кВт·год/10 тис. т.км.бр	3,63	3,64	6,98	-	3,63	9,08	-
K_D	1	1	1	-	1	1	-
n_X , кг/10 тис. т.км.бр	-	-	-	2,22	-	-	2,22
K_X	-	-	-	0,3	-	-	0,3
e , кВт·год/10 тис. т.км.бр	60,06	65,73	100,05	-	60,06	87,87	-
n , кг/10 тис. т.км.бр	-	-	-	17,74	-	-	17,74
A , кВт·год	1785,91	1690,28	5949,34	-	1785,91	7485,21	-
G , кг	-	-	-	698,69	-	-	698,69

Отримані величин витрат електроенергії A та дизельного палива G (таблиці 6-7) використаємо для встановлення результируючих значень величин викидів $E_{CO_2}^{3a2}$ та вартості відрахувань Δ (згідно ETS) за маршрутами слідування вантажного поїзду використавши таблиці 4-5 та формули (8-9), результати розрахунку зведемо в результируючу таблицю 8. Однак для теплотяги встановлення результируючих значень величин викидів $E_{CO_2}^{3a2}$ неможливо обчислити за виразом (9) оскільки в формулі (8) облік йде через необхідну витрату електроенергії, що є аналогом середньої ефективної потужності. Тому пропонується масу викидів CO_2 визначати за рівнянням (6) із заміною витрати палива на номінальному режимі $G_{ном}$ на фактичну. Тоді вартість відрахувань Δ (згідно ETS) є добуток d_{EVRO} на $E_{CO_2}^{3a2}$.

Таблиця 8. Результируючі значення величин викидів та вартості відрахувань (згідно ETS) за маршрутами прямування вантажного поїзда

Тягові плечі	Δ , євро			$E_{CO_2}^{3a2}$, т		
1	2			3		
Маршрут прямування №1						
	ВЛ80С	ВЛ82М	ВЛ11	ВЛ80С	ВЛ82М	ВЛ11
№1 Валуйки - Куп'янськ-Сортувальний	41,97	-	-	0,84	-	-
№2 Куп'янськ-Сортувальний - Харків-Сортувальний	-	112,63	-	-	2,25	-
№3 Харків-Сортувальний - Новомосковськ-Дніпровський	-	-	266,34	-	-	5,33
	$\Sigma=420,94$			$\Sigma=8,42$		

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Закінчення таблиці 8

Маршрут прямування №2а						
	ВЛ80С	ВЛ11	2ТЕ116	ВЛ80С	ВЛ11	2ТЕ116
№1 Валуйки - Куп'янськ-Сортувальний	41,97	-	-	0,84	-	-
№2 Куп'янськ-Сортувальний - Граково	39,72	-	-	0,79	-	-
№3 Граково - Красноград	-	141,00	-	-	2,82	-
№4 Красноград - Новомосковськ-Дніпровський	-	-	110,16	-	-	2,20
	Σ=332,85			Σ=6,66		
Маршрут прямування №2б						
	ВЛ80С	ВЛ82М	2ТЕ116	ВЛ80С	ВЛ82М	2ТЕ116
№1 Валуйки - Куп'янськ-Сортувальний	41,97	-	-	0,84	-	-
№2 Куп'янськ-Сортувальний - Красноград	-	176,65	-	-	3,53	-
№3 Красноград - Новомосковськ-Дніпровський	-	-	110,16	-	-	2,20
	Σ=328,78			Σ=6,58		
Маршрут прямування №3						
	ВЛ80С	ВЛ82М	ВЛ8	ВЛ80С	ВЛ82М	ВЛ8
№1 Валуйки - Куп'янськ-Сортувальний	41,97	-	-	0,84	-	-
№2 Куп'янськ-Сортувальний - Лиман	-	62,28	-	-	1,25	-
№3 Лиман - Новомосковськ-Дніпровський	-	-	234,33	-	-	4,69
	Σ=338,57			Σ=6,77		

Для обліку загальної собівартості перевезень вантажів врахуємо тариф на електроенергію з енергоринку та вартість закупівлі палива через систему державних закупок. Згідно з ідентифікатором закупок UA-2021-10-20-013322-b, ID номера a64e3908ca144e81848f28f9e303 a627 та ідентифікатору плану UA-P-2021-10-20-002636-c як замовника «Філія «Центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель і споруд» Акціонерного товариства «Українська залізниця»» планується закупівля 70470 літрів дизельного палива на суму 2031650,10 гривень, що в перерахунку вартості 1 кг (при перевідному коефіцієнті 0,8435, як такого що відповідає листопаду місяцю на виробничих підрозділах Південної залізниці) складе 34,18 грн/кг, тоді згідно курсу НБУ на 08.11.2021 (30,0969 грн/1 євро) вартість складе ≈1,14 євро/кг. Середня вартість 1 кВт·год електричної енергії, згідно даних ТОВ «Українська енергетична біржа» що є площадкою торгів на Україні, в період з 01.11.2021 по 08.11.2021 склала 3,56 грн/кВт·год, що в перерахунку за курсом НБУ складе 0,12 євро/кВт·год.

Кошторисну інформацію використаємо для формування результуючої таблиці 9, як такої, що покаже економічну доцільність маршрутів руху транзитних чи місцевих вантажних поїздів під впливом нормування витрат енергії та екологічних аспектів в нормоутворенні заснованих на ТВО ETS й принципах країн учасників, у тому числі Україна, Glasgow climate change conference.

Як видно з таблиці 10 критерій максимізації екологізації транспорту пролягає маршрутом слідування №2б - за критеріями викидів емісії парникового газу CO₂ та вартості відрахувань ТВО згідно ETS. З економічної точки зору (за результатами приведеніми в таблиці 9) доцільним є маршрут слідування №3, що підводить спеціалістів залізниць до патової ситуації з вибору екологічної безпеки транспорту чи економічної ефективності функціонування галузі.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Таблиця 11. Вартість перевезення за обраними маршрутами прямування вантажних поїздів

Номер маршруту прямування	Собівартість перевезень C за нормуванням енергоресурсів за номером плеч, <i>євро</i>				$\sum_{t=1}^4 C_t$, <i>євро</i>	$\sum_{t=1}^4 C_t + \Sigma$, <i>євро</i>
	№1	№2	№3	№4		
№1	214,31	572,70	1348,57	-	2135,58	2556,52
№2а	214,31	202,83	713,92	796,50	1927,57	2260,42
№2б	214,31	898,23	796,50	-	1909,04	2237,82
№3	214,31	318,02	1186,47	-	1718,79	2057,37

Використання запропонованих методів взаємовпливу екологічних аспектів та нормування енергоресурсів на тягу поїздів дозволить підвищити контроль, зменшити викиди та витрату паливно-енергетичних ресурсів. Проте дана методика потребує масової практичної апробації на виробництві, роботи з корегування показників викидів під впливом технічного стану силового обладнання енергосистеми України та АТ «Укрзалізниці», й повної переоцінки життєвого циклу тягового рухомого складу на базі відрахувань ТВО згідно ETS в розрахунковому періоді.

Висновки. Виконано аналіз існуючої методики обліку викидів шкідливих речовин. Розглянуто реальну логістичну мережу транспортування потоків транзитних та місцевих вантажів. Встановлено енергогенеруючий вплив (за типом електростанції) в енергосистемі України та величину викидів CO₂ на годину їх роботи. Визначено величину відрахувань вуглецевого податку та кількість викидів транспортним потоком за маршрутами слідування. Встановлено економічну та екологічну вартість перевезень. В подальшому доцільно впровадити математичне моделювання та перевести запропоновану модель в програмний продукт й запровадити в локомотивне господарство, диспетчеризацію логістичних потоків вантажів з метою зниження ресурсів на тягу, екологічного навантаження транспорту та масової практичної апробації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Халатов А.А. Энергетика Украины: современный стан та найближчі перспективи // Вісник НАН України. 2016, №6. С.53-61.
2. Черноусенко О.Ю. Стан енергетики України та результати модернізації блоків ТЕС // Проблеми загальної енергетики. 2014, №4 (39). С.20-28.
3. Eberhard Lindner Chemie für Ingenieure. Lindner Verlag Karlsruhe, 1997. pp. 258.
4. J.N. Popp, Sean P Boyle Railway ecology: Underrepresented in science? // Basic and Applied Ecology. Volume 19, December 2017, pp 84-93.
5. Pylypchuk O.Ya. Ecological activity on a railway transport: her essence, actual tasks, place and role in the national ecological policy of ukraine // Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. Volume 3(259), February 2020, pp 48-53.
6. Rafael Barrientos, Pedro Beja, Henrique Miguel Pereira, Luis Borda de Agua Railway ecology. Springer International Publishing, 2017, pp. 337
7. Zdenek Keken, Tomáš Kušta Railway Ecology—Experiences and Examples in the Czech Republic // Railway Ecology. February 2020, pp 247-260.
8. Daszkiewicz P., Andrzejewski M., Tomaszewski S., Rymaniak Łukasz. Economic and ecological analysis of vehicles used in railways // Transport Economics and Logistics. Volume 81, March 2019, pp 57-69.
9. Strelkov A., Teplykh S. Ecological and economic efficiency of the life cycle of railway territorial-industrial complexes // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Volume 775, February 2020, pp 1-6.
10. Wang M., Kou B., Zhao X. Analysis of energy consumption characteristics based on simulation and traction calculation model for the crh electric motor train units // 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). 2018, Jeju. pp 2738-2743.
11. Фалендиш А.П., Гатченко В.О., Клецька О.В., Кіріцева О.В., Барібін М.А. Модель визначення характеристик режимних карт ведення поїзда // Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології» 2020., №36. С.102-112.
12. Barybin M., Falendysh A., Hachenko V., Kletska O., Kiritseva E. Determination of rational locomotive operating modes and resource costs based on information from global positioning systems // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering International Scientific Conference Energy Efficiency in Transport (EET 2020). Volume 1021, February 2021, pp 1-8.

13. Фалендиш А.П., Гатченко В.О., Возненко С.В., Клецка О.В., Барибін М.А. Математичне моделювання основних параметрів у тягових розрахунках // Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології» 2020., №35. С.102-112.

14. Осипов С.И., Осипов С.С. Основы тяги поездов. Учебник для студентов техникумов и колледжей жезнодорожного транспорта Москва: УМК МПС России, 2010. 592 с.

15. Rahman M., Chin H., Haque M. Environmental sustainability of urban road transport: an integrated analysis for lifecycle emission impact // International J. of Environment and Sustainable Development. Volume 2 (13), April 2014 pp. 126–141.

16. Rafael Barrientos, Fernando Ascensão, Pedro Beja, Henrique Miguel Pereira, Luis Borda de Agua Railway ecology vs. road ecology: similarities and differences // European Journal of Wildlife Research Volume 65(1), January 2016, pp. 1-9.

17. Наказ №062-Ц. Інструкція по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів (ЦТ-0059). - Введ. 2003-03-05. – Київ, 2003. - 85 с.

18. Наказ №204-Ц. Положення про інспекцію з контролю ефективності використання енергоресурсів Укрзалізниці. - Введ. 2014-05-16. – Київ, 2014. - 10 с.

REFERENCES

1. Khalatov A.A. (2016) Enerhetyka Ukrainy: suchasnyi stan ta naiblyzhchi perspektyvy [Energy sector of Ukraine: current state and immediate prospects]. Visn. Nac. Acad. Nauk Ukr., 6, 53-61 [in Ukraine].

2. Chernousenko O.Y. (2014) Stan enerhetyky Ukrainy ta rezultaty modernizatsii blokiv TES [State of energy of Ukraine and results of modernization of TPP units]. Problems of general energy, 4, 39, 20-28 [in Ukraine].

3. Eberhard Lindner (1997) Chemie für Ingenieure. Lindner Verlag Karlsruhe. [in Germany]

4. J.N. Popp, Sean P Boyle (2017) Railway ecology: Underrepresented in science? Basic and Applied Ecology. Volume 19, 84-93 [in United Kingdom].

5. Pylypchuk O.Ya. (2020) Ecological activity on a railway transport: her essence, actual tasks, place and role in the national ecological policy of ukraine. Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. Volume 3(259), 48-53 [in Ukraine].

6. Rafael Barrientos, Pedro Beja, Henrique Miguel Pereira, Luis Borda de Agua (2017) Railway ecology. Springer International Publishing. [in Switzerland]

7. Zdenek Keken, Tomáš Kušta (2020) Railway Ecology – Experiences and Examples in the Czech Republic/ Railway Ecology. 247-260. [in Switzerland].

8. Daszkiewicz P., Andrzejewski M., Tomaszewski S., Rymaniak Łukasz. (2019) Economic and ecological analysis of vehicles used in railways. Transport Economics and Logistics. Volume 81, 57-69 [in Poland].

9. Strelkov A., Teplykh S. (2020) Ecological and economic efficiency of the life cycle of railway territorial-industrial complexes. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Volume 775, 1-6 [in Russia].

10. Wang M., Kou B., Zhao X. (2018). Analysis of energy consumption characteristics based on simulation and traction calculation model for the crh electric motor train units. 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2738-2743 [in United Kingdom].

11. Falendysh A. P., Gatchenko V. A., Kletskaya O. V., Kiritseva O. V., Barybin M. A. (2020) Model vyznachennia kharakterystyk rezhymnykh kart vedennia poizda [Model for determining the characteristics of regime maps of train management]. Collection of scientific works of duit. Series "Transport systems and technologies", 36, 102-112 [in Ukraine].

12. Barybin M., Falendysh A., Hatcherko V., Kletska O., Kiritseva E. (2021). Determination of rational locomotive operating modes and resource costs based on information from global positioning systems. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering International Scientific Conference Energy Efficiency in Transport (EET 2020). Volume 1021, 1-8 [in Ukraine].

13. Falendysh A. P., Gatchenko V. A., Voznenko S. V., Kletskaya O. V., Barybin M. A. (2020) Matematychnе modeliuвання osnovnykh parametriv u tiahovykh rozrakhunkakh [Mathematical modeling of basic parameters in traction calculations]. Collection of scientific works of duit. Series "Transport systems and technologies", 35, 132-140 [in Ukraine].

14. Osipov S.I., & Osipov S.S. (2010) Osnovy tyagi poyezdov [Principles of traction]. Moscow: UMC MPS of Russia [in Russia].

15. Rahman M., Chin H., Haque M. (2014) Environmental sustainability of urban road transport: an integrated analysis for lifecycle emission impact. International J. of Environment and Sustainable Development. Volume 2 (13), 126–141 [in United Kingdom].

16. Rafael Barrientos, Fernando Ascensão, Pedro Beja, Henrique Miguel Pereira, Luis Borda de Agua (2016) Railway ecology vs. road ecology: similarities and differences. European Journal of Wildlife Research. Volume 65(1), 1-9 [in Spain].

17. Instrukciya po tehničnomu normuvannju vitrat elektrichnoyi energiyi i paliva lokomotivami na tyagu poyizdiv (CT-0059) [Instructor po tehničnomu normuvannju vitrat elektrichnoyi energiyi I paliva lokomotivami na tyagu poyizdiv (CT-0059)]. Order 062-C from 05.03.2003 Kiev: Joint-Stock Company Ukrzaliznytsia [in Ukraine].

18. Polozhennya pro inspektsiyu z kontrolyu efektyvnosti vykorystannya enerhoresursiv Ukrzaliznytsi [Regulations on inspection of energy efficiency control of Ukrzaliznytsia]. (2014). Order 204-C from 16.05.2014 Kiev: Joint-Stock Company Ukrzaliznytsia [in Ukraine].

Barybin Mykola Anatoliiovych¹, Karashchuk Viktoriia Alexandrovna², Kletskaya Olga Vitalievna³, Kiritseva Elena Viktorovna⁴, Dzhus Volodymyr Stepanovych⁵

¹ Department of "Heat Engineering, heat engines and energy management", Ukrainian State University of railway transport, 7 Feuerbach square, Kharkiv, 61050, Ukraine

² Department " Electromechanics and railway rolling stock", State University of infrastructure and technologies, 9 Kirillovskaya STR., Kiev, 04071, Ukraine

³ Department "Transport technologies of enterprises", state higher educational institution Priazovsky State Technical University, Universitetskaya STR., 7, Mariupol, 87555, Ukraine

⁴ Department of "Transport technologies of enterprises", state higher educational institution Priazovsky State Technical University, Universitetskaya STR., 7, Mariupol, 87555, Ukraine

⁵ Department of "Rolling stock and tracks", Lviv branch «Dnipro National University of railway transport named after academician V. Lazaryan», 12A I. Blazhkevich STR., Lviv, 79052, Ukraine

MODEL OF THE MUTUAL INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL ASPECTS AND ENERGY RATIONING ON TRAIN TRACTION IN RAILWAY LOGISTICS

The article deals with the issues of environmental taxation of carbon dioxide emissions by the countries of the European Union and the methodology for calculating the amount of emissions by regulatory documents of Ukraine. It is established that our country's methodology is not adapted to real operating conditions under the influence of cross-border carbon taxation and the "Emissions Trading System". A mathematical model of the impact of power generating stations of states and their contribution to the overall energy balance of the country on the environmental cost and mass emissions of 1 kWh of electricity generation is proposed. The amount of electricity losses during its transportation from the power plant to the electric moving warehouse is determined and is taken into account in the total amount of deductions for the "Emissions Trading System" for DC and AC railway networks. Schemes of transit and local cargo routes are considered on the basis of a real fleet of traction rolling stock of Railways and a network of logistics lines. The passport characteristics of locomotives are analyzed and the amount of emissions and deductions during operation at Rated mode and idle speed is determined. Specific norms for selected routes and train conditions are calculated. The total costs, their cost and the amount of emissions and taxation of selected routes are determined, and rational economic and environmental logistics lines of train traffic are determined on their basis.

Keywords: *cost rationing, carbon dioxide emissions, energy resources, mathematical modeling, traction rolling stock, environmental indicators, transportation logistics.*