Економічні науки

УДК 656.13:504.06:339.543(477:4)

Попович Сергій

незалежний дослідник

Popovych Serhii

Independent researcher

ПРИКОРДОННІ ЧЕРГИ ЯК ДЖЕРЕЛО ПРИХОВАНИХ ВИТРАТ: ОЦІНКА НАДЛИШКОВОЇ ВИТРАТИ ПАЛЬНОГО, ВИКИДІВ CO_2 ТА НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОРОЖНЮ ІНФРАСТРУКТУРУ НА ТРАНСКОРДОННИХ МАРШРУТАХ УКРАЇНА – ЄС У 2022–2023 РОКАХ І РОЛЬ ЕЛЕКТРОННОЇ ЧЕРГИ

BORDER QUEUES AS A SOURCE OF HIDDEN COSTS: ESTIMATING EXCESS FUEL CONSUMPTION, CO_2 EMISSIONS, AND ROAD INFRASTRUCTURE LOAD ON UKRAINE – EU CROSS-BORDER ROUTES IN 2022–2023 AND THE ROLE OF THE ELECTRONIC QUEUE

Анотація. *Після 2022 року значна частина зовнішньої торгівлі України перейшла на автомобільні коридори до ЄС [1; 2]. Угода між ЄС та Україною про автомобільні вантажні перевезення скасувала вимогу дозволів на двосторонні та транзитні перевезення [2], і вантажопотік через кордон зріс. Пропускна спроможність пунктів пропуску змінилася значно менше. Наслідком стали багатогодинні черги вантажівок. Їхні витрати зазвичай оцінюють через час водіїв і затримку постачань. Три інші складові залишаються поза увагою: пальне, спалене на холостому ходу та в русі «стоп-старт», відповідні викиди CO_2 і локальне навантаження на під'їзні дороги та узбіччя.*

Стаття робить три внески:

1. Формалізує надлишкові витрати черги як суму трьох складових: пальне, викиди та дорожнє навантаження.

2. Пропонує модель оцінки цих складових за даними, які вже збирають тахографи [3; 4] та системи електронної черги [5].

3. Пов'язує результати з чинною рамкою ЄС щодо плати за користування дорогами на основі викидів CO_2 [6] та розвитку інфраструктури для альтернативних видів палива [7].

Головний висновок: черга, яка фізично стоїть біля пункту пропуску, і черга, керована електронно, можуть мати однакову тривалість, але різну ціну. В електронній черзі транспортний засіб очікує зі заглушеним двигуном на облаштованому майданчику, а не на проїжджій частині чи узбіччі. Тому основна частина пальних і дорожніх втрат зникає без жодного розширення пропускної спроможності.

Ключові слова: *прикордонні черги, електронна черга, витрата пального, викиди CO_2, дорожня інфраструктура, Україна – ЄС, «Шляхи солідарності», Директива (ЄС) 2022/362, транскордонні вантажні перевезення.*

Summary. *After 2022, a significant share of Ukraine's foreign trade shifted to road corridors to the EU [1; 2]. The Agreement between the EU and Ukraine on the carriage of freight by road abolished the permit requirement for bilateral and transit carriage [2], and freight traffic across the border increased. The capacity of border crossing points changed far less. The result was truck queues lasting many hours. Their costs are usually assessed through drivers' time and delivery delays. Three other components remain overlooked: fuel burned while idling and in stop-*

and-go movement, the corresponding CO_2 emissions, and the local load on access roads and road shoulders.

The article makes three contributions:

1. It formalizes the excess costs of a queue as the sum of three components: fuel, emissions, and road load.

2. It proposes a model for estimating these components from data already collected by tachographs [3; 4] and electronic queue systems [5].

3. It links the results to the current EU framework for CO_2-based road charging [6] and for the deployment of alternative fuels infrastructure [7].

Main finding: a queue physically standing at a border crossing point and an electronically managed queue may have the same duration but a different cost. In an electronic queue, the vehicle waits with its engine switched off at a designated waiting area rather than on the carriageway or the road shoulder. Therefore, most of the fuel and road losses disappear without any expansion of crossing capacity.

Key words: *border queues, electronic queue, fuel consumption, CO_2 emissions, road infrastructure, Ukraine – EU, Solidarity Lanes, Directive (EU) 2022/362, cross-border freight transport.*

Вступ. У травні 2022 року Єврокомісія запропонувала план дій щодо «Шляхів солідарності» для експорту української сільськогосподарської продукції та двосторонньої торгівлі з ЄС [1]. У липні 2022 року набула чинності угода ЄС – Україна про автомобільні вантажні перевезення [2]. Обидва документи збільшили попит на перетин сухопутного кордону. Інфраструктура пунктів пропуску на українсько-польській, українсько-

словацькій, українсько-угорській та українсько-румунській ділянках розрахована на інший обсяг руху.

Найпомітніший наслідок – черги вантажівок, що періодично сягають десятків кілометрів. Типова оцінка їхньої ціни обмежується часом: годинами водіїв, затримкою вантажу, порушенням графіків. Проте черга має й фізичну ціну:

– двигун працює на холостому ходу для опалення чи кондиціонування кабіни та рефрижераторних установок;

– рух «стоп-старт» збільшує питому витрату пального порівняно з рівномірним рухом;

– тривале стояння важких транспортних засобів на узбіччях і під'їзних дорогах, не розрахованих на статичне навантаження, прискорює руйнування покриття.

В Україні ці дороги вже зазнали значних пошкоджень унаслідок війни [8]. Тому кожна додаткова одиниця навантаження на прикордонну мережу має особливу ціну.

Дослідницьке питання. Якими є надлишкові витрати пального, викиди CO_2 та дорожнє навантаження, спричинені очікуванням на кордоні Україна – ЄС, і якою мірою їх скорочує перехід від фізичної до електронної черги?

Внесок статті:

(i) формалізація трьох складових прихованих витрат (розділ 3);

(ii) модель оцінки на основі даних тахографа та електронної черги (розділ 4);

(iii) ілюстративний розрахунок і зв'язок з регуляторною рамкою ЄС (розділи 5–6).

Регуляторний і фактичний контекст 2022–2023 років

1. Торговельний коридор. План «Шляхів солідарності» [1] передбачав, зокрема, пріоритезацію вантажних потоків, додатковий персонал на кордоні та спрощення процедур. Угода [2] тимчасово скасувала дозволи для українських перевізників. Обидва заходи підвищили попит на перетин кордону швидше, ніж зростала пропускна спроможність.

2. Електронна черга. В Україні діє державна система електронної черги для перетину кордону вантажними транспортними засобами [5]. Перевізник бронює місце в черзі, а транспортний засіб прямує до пункту пропуску у визначений час або очікує виклику поза проїжджою частиною. Аналогічна логіка давно застосовується на кордонах Естонії [9].

3. Тарифікація доріг у ЄС. Директива (ЄС) 2022/362 змінила Директиву 1999/62/ЄС [6]. Вона запровадила диференціацію плати за користування дорогами для важких транспортних засобів залежно від викидів CO_2 і передбачила можливість окремої плати за зовнішні витрати, зокрема забруднення повітря. Отже, у праві ЄС викиди та дорожні витрати від вантажного руху вже визнано вимірюваними та такими, що підлягають грошовій оцінці.

4. Альтернативні види палива. Регламент (ЄС) 2023/1804 (AFIR) встановлює цілі щодо розгортання зарядної інфраструктури, зокрема для важких транспортних засобів, уздовж мережі TEN-T [7]. Безпечні облаштовані майданчики очікування біля кордону з електроживленням для кабін і рефрижераторів поєднують цю логіку з електронною чергою.

5. Стан інфраструктури України. Спільна оцінка шкоди та потреб України (RDNA2), підготовлена Світовим банком разом з урядом України, ЄС та ООН, визначає транспортний сектор одним із найбільш постраждалих [8].

Відповідно, мінімізація додаткового навантаження на прикордонну мережу має пряму економічну цінність.

Формалізація прихованих витрат черги

Розглянемо транспортний засіб k, що очікує на кордоні загальний час B_k. Розкладемо цей час за станом двигуна та місцем очікування:

$$\mathbf{B_k = B_k^{move} + B_k^{idle} + B_k^{off}},$$

де:

– B_k^{move} – рух у черзі «стоп-старт»;

– B_k^{idle} – стояння з працюючим двигуном (холостий хід);

– B_k^{off} – стояння із заглушеним двигуном.

1. Надлишкова витрата пального:

$$\mathbf{\Delta F_k = c_{idle} \cdot B_k^{idle} + (c_{ss} - c_{cr}) \cdot D_k^{move}}, \quad (1)$$

де:

– c_{idle} – витрата пального на холостому ходу (л/год);

– c_{ss} і c_{cr} – питома витрата в режимі «стоп-старт» і в рівномірному русі (л/км);

– D_k^{move} – відстань, подолана в черзі (км).

Другий доданок враховує лише перевитрату понад ту витрату, яку транспортний засіб мав би на цій відстані за рівномірного руху.

2. Надлишкові викиди CO_2:

$$\mathbf{\Delta E_k = e_f \cdot \Delta F_k}, \quad (2)$$

де e_f – коефіцієнт викидів CO_2 на літр дизельного пального.

3. Дорожнє навантаження. Статичне стояння важкого транспортного засобу на ділянках, не призначених для стоянки (узбіччя, під'їзні дороги), позначимо через B_k^{road}. Тоді:

$$\mathbf{\Delta R_k = \omega \cdot B_k^{road}}, \quad (3)$$

де ω – умовна питома вартість пошкодження покриття за годину стояння. Коефіцієнт ω залежить від навантаження на вісь, типу покриття та сезону і потребує інженерного калібрування.

4. Сукупні витрати для потоку N транспортних засобів:

$$\mathbf{TC = \Sigma_k [\, p_F \cdot \Delta F_k + p_C \cdot \Delta E_k + \Delta R_k \,],} \quad (4)$$

де p_F – ціна пального, p_C – тіньова ціна CO_2.

Джерела даних

1. Тахограф. Смарт-тахограф автоматично реєструє місцезнаходження транспортного засобу та, для пристроїв другої версії, перетин кордону держави-члена [3; 4]. Разом із записами режимів діяльності водія (керування, інша робота, готовність, перерва) це дає змогу відновити тривалість B_k^{move} та момент перетину кордону.

2. Електронна черга. Система електронної черги фіксує час бронювання, виклику та фактичного прибуття до пункту пропуску [5]. Різниця між цими моментами відокремлює очікування поза проїжджою частиною від стояння у фізичній черзі.

3. Телематика транспортного засобу. Стан двигуна (увімкнено/вимкнено) та фактична витрата пального доступні з бортових систем більшості сучасних вантажівок. Ці дані розмежовують B_k^{idle} і B_k^{off}.

4. Обмеження доступу. Персональні дані тахографа може обробляти лише перевізник у межах, визначених законодавством про захист даних [3]. Тому модель розраховано на агреговані або знеособлені дані.

Ілюстративний розрахунок

Розрахунок нижче ілюстративний. Значення параметрів – припущення, а не виміри. Їх потрібно замінити каліброваними значеннями для конкретного парку й переходу.

Таблиця 1

Припущення для розрахунку (один транспортний засіб)

Параметр	Фізична черга	Електронна черга
Загальне очікування B	12 год	12 год
Рух «стоп-старт» B^{move}	2 год (відстань 15 км)	0,2 год (відстань 1 км)
Холостий хід B^{idle}	6 год	0,5 год
Двигун заглушено B^{off}	4 год	11,3 год
Стояння на узбіччі B^{road}	10 год	0 год (облаштований майданчик)

Застосуємо формулу (1) з умовними параметрами: c_{idle} = 2,5 л/год, (c_{ss} − c_{cr}) = 0,15 л/км.

– **Фізична черга:** $\Delta F = 2{,}5 \cdot 6 + 0{,}15 \cdot 15 = 15 + 2{,}25 = 17{,}25$ л.

– **Електронна черга:** $\Delta F = 2{,}5 \cdot 0{,}5 + 0{,}15 \cdot 1 = 1{,}25 + 0{,}15 = 1{,}4$ л.

За тієї самої тривалості очікування надлишкова витрата пального скорочується приблизно на 92 %. Викиди CO_2 за формулою (2) скорочуються пропорційно. Складова дорожнього навантаження (3) за електронної черги в цьому прикладі дорівнює нулю, бо очікування переноситься на облаштований майданчик.

Масштаб. Якщо через перехід проходить N транспортних засобів на добу, денна перевитрата пального за фізичної черги дорівнює приблизно 17,25 · N л. Для оцінки на рівні коридору достатньо підставити фактичне N та розподіл часу очікування.

Чутливість. Результат найбільше залежить від двох величин: частки часу з працюючим двигуном і частки очікування на проїжджій частині. Саме на ці величини впливає електронна черга. Сама тривалість очікування B на результат порівняння не впливає, бо в обох сценаріях вона однакова.

Обговорення

1. Тривалість і структура очікування. Державна політика щодо кордону зазвичай орієнтується на скорочення часу очікування, а це потребує інфраструктурних інвестицій. Модель показує, що значну частину витрат можна зменшити без зміни тривалості, лише змінивши структуру очікування: де стоїть транспортний засіб і чи працює двигун.

2. Узгодженість з правом ЄС. Директива (ЄС) 2022/362 визнає викиди CO_2 та зовнішні витрати важкого транспорту підставою для диференціації плати [6]. Модель (4) використовує ту саму логіку для прикордонної ділянки, де плата не стягується, але витрати виникають. AFIR [7] дає інструмент для облаштування майданчиків очікування з електроживленням. Це дозволяє глушити двигуни навіть за потреби в опаленні чи охолодженні.

3. Цифрова інфраструктура. Дані для моделі вже існують, але розпорошені між тахографами, системами електронної черги та телематикою перевізників. Їх поєднання в єдиній цифровій платформі для перевізників і прикордонних органів дало б змогу оцінювати витрати в реальному часі, керувати викликом транспортних засобів з урахуванням пального та викидів і планувати розміщення майданчиків очікування. Розроблення такої платформи – предмет подальших досліджень.

4. Обмеження.

– Параметри розрахунку ілюстративні й потребують калібрування.

– Не враховано викиди забруднювачів повітря, крім CO_2, шум і безпеку руху біля черг.

– Модель не розглядає зміни пропускної спроможності переходу.

– Оцінка дорожнього навантаження спрощена до лінійної функції часу стояння.

Висновки. Черги на кордоні Україна – ЄС у 2022–2023 роках мають ціну, яка не зводиться до втраченого часу. Стаття формалізує три складові прихованих витрат: надлишкове пальне, викиди CO_2 і навантаження на дорожню інфраструктуру. Ілюстративний розрахунок показує, що перехід від фізичної до електронної черги за незмінної тривалості очікування здатен скоротити надлишкову витрату пального на порядок і майже усунути статичне навантаження на узбіччя. Необхідні дані вже генерують тахографи, системи електронної черги та телематика перевізників. Їх інтеграція – наступний крок для перевізників і регуляторів ЄС, України та Молдови.

Література

1. European Commission. An action plan for EU-Ukraine Solidarity Lanes to facilitate Ukraine's agricultural export and bilateral trade with the EU. COM(2022) 217 final, 12.5.2022. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52022DC0217

2. Agreement between the European Union and Ukraine on the carriage of freight by road. OJ L 179, 6.7.2022, p. 4. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2022:179:TOC

3. Regulation (EU) No 165/2014 of the European Parliament and of the Council of 4 February 2014 on tachographs in road transport. OJ L 60, 28.2.2014. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2014/165/oj

4. Commission Implementing Regulation (EU) 2021/1228 of 16 July 2021 amending Implementing Regulation (EU) 2016/799 (smart tachograph, second version). URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2021/1228/oj

5. єЧерга – електронна черга для перетину кордону вантажними транспортними засобами. URL: https://echerha.gov.ua/

6. Directive (EU) 2022/362 of the European Parliament and of the Council of 24 February 2022 amending Directives 1999/62/EC, 1999/37/EC and (EU) 2019/520, as regards the charging of vehicles for the use of certain infrastructures. OJ L 69, 4.3.2022. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2022/362/oj

7. Regulation (EU) 2023/1804 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure (AFIR). OJ L 234, 22.9.2023. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1804/oj

8. World Bank, Government of Ukraine, European Union, United Nations. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA2): February 2022 – February 2023. March 2023. URL: https://www.worldbank.org/en/country/ukraine

9. GoSwift / Eesti Piir – система електронної черги на прикордонних переходах Естонії. URL: https://www.eestipiir.ee/