

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПЛИВУ НАДІЙНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ВАГОНОПОТОКІВ НА СТАЛИЙ РОЗВИТОК МІСТ

Хара М. В., Ніколаєнко І. В.

### ВСТУП

Значна концентрація промислових підприємств і різноманітних виробництв у межах та поблизу сучасних міст України призводить до підвищеного рівня промислових та транспортних ризиків, виникнення надзвичайних ситуацій та впливу шкідливих речовин на навколишнє середовище селітебних районів міст. Як зазначено в Стратегії сталого розвитку, її метою є «забезпечення високого рівня і якості життя населення України, створення сприятливих умов для діяльності нинішнього і майбутніх поколінь і припинення деградації природних екосистем шляхом впровадження нової моделі економічного зростання, яка заснована на принципах сталого розвитку»<sup>1</sup>. Сталого розвитку не можливо досягнути без істотного перетворення того, яким чином будуються і керуються міські райони. Досягнення безпеки і сталого розвитку міст передбачає інвестиції у громадський транспорт, створення зелених громадських територій, удосконалення міського планування і управління у такий спосіб, що одночасно забезпечуватиме природоорієнтовані рішення на благо розвитку<sup>2</sup>.

У Доповіді про глобальні ризики 2021 року визначені критичні сліпі зони, які загрожують містам: «провал дій по боротьбі зі зміною клімату», «ерозія соціальної згуртованості» і «несприятливі

---

<sup>1</sup> Цілі сталого розвитку. ППРООН Україна. URL: <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-communities.html> (дата звернення: 14.04.2021).

<sup>2</sup> Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р. Кабінет Міністрів України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/proshvalennya-nacionalnoyi-transportnoyi-strategiyi-ukrayini-na-period-do-2030-roku> (дата звернення: 11.04.2021).

технологічні досягнення». Кожен з цих ризиків вже чинить серйозний вплив на міста, а також на життя їх жителів<sup>3</sup>.

У зв'язку зі збільшенням обсягів залізничних перевезень у межах міст, а також різноманітних видів речовин, що перевозяться, виникає ряд серйозних проблем з точки зору безпеки для навколишнього середовища і здоров'я людини. Виконання задачі підвищення рівня безпеки руху транспортних засобів значною мірою залежить від надійності і безвідмовності рухомого складу<sup>4</sup>.

Вплив залізничного транспорту на екологічну обстановку проявляється у вигляді забруднення повітряного і водного середовища, земель під час будівництва та експлуатації колії. Крім того, залізничний рухомий склад створює шумове та теплове забруднення. Таким чином, формування надійності та екологічності промислових вагонопотоків є важливою науковою задачею.

## **1. Вплив надійності вагонів промислових підприємств на міське середовище**

Логістичні методи управління надійністю і екологічністю матеріальних потоків промислових підприємств об'єднують два взаємопов'язаних начала – забезпечення справності як умови безвідмовності транспортного процесу і забезпечення справності як умови переробки вантажу без втрат, які забруднюють навколишнє середовище.

На навколишнє природне середовище впливає концентрація рухомого складу в зонах житлової забудови, вхід і вихід транспортних потоків підприємства. Сюди ж слід віднести і недосконалість технології перевізного процесу; наднормативні терміни служби транспортних засобів; недостатні темпи зміни структури вагонного парку в сторону спеціалізації і велику частку несправного парку вагонів, які використовуються під масові перевезення.

Вагонопотоки функціонують у замкнутих межах промислових підприємства, проте їх техногенні чинники впливають на

---

<sup>3</sup> Here's how rising global risks will change our cities. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2021/01/how-we-live-and-work-will-change-so-will-the-cities-we-inhabit> (дата звернення: 11.04.2021).

<sup>4</sup> Хара М.В. Логистика ресурса жизненного цикла вагонов в потоковых процессах промышленного предприятия / М. В. Хара, А. О. Лямзин // *Scientific and technological revolution of the XXI century '2020: conference proceedings*. Karlsruhe, 2020. P. 32–35. URL: <https://www.sworld.education/konferge12/sborge12.pdf> (дата звернення: 12.04.2021).

технологічно разомкнуту систему. Процеси, що відбуваються в межах промислових підприємств, відображаються на середовищі міського простору. В цьому напрямку авторами використовуються теоретичні та практичні ідеї міської логістики. Метою цього є задоволення потреб жителів великих промислових міст і максимальна орієнтація всієї виробничо-господарської діяльності на задоволення потреб населення для сталого розвитку громади.

Теоретичні основи надійності і екологічності формуються на основі аналізу показників функціонування промислових потокових і транспортних процесів міст. Промислові підприємства та міські райони розглядаються як складні територіальні утворення, які спільно використовують природні, матеріальні трудові та екологічні ресурси<sup>5</sup>. В індустріальних містах райони з розміщеними в них промисловими підприємствами займають до 50–60% загальної території міста і є основним містоутворюючим ядром<sup>6</sup>. Ці райони значною мірою визначають розміри міст, їх загальну планувальну структуру, умови праці та побуту населення; для міст вони визначають форму і напрям їх розвитку та реконструкції, впливаючи на архітектоніку міста.

На території індустріального міста розміщуються: промислові підприємства, теплоелектроцентралі, великі електростанції, лінії електропередачі, газопроводи, нафтопроводи та інші промислові продуктопроводи місцевого значення, великі гаражі та автобази, науково-дослідні інститути і конструкторські бюро, навчальні центри з підготовки та перепідготовки кадрів та інші об'єкти, пов'язані з науково-технічним обслуговуванням підприємств. Також до їх складу входять: резервні території для розміщення нових об'єктів промислового будівництва, санітарно-захисні зони, паркові зони, громадські центри, передзаводські зони.

Елементами транспортної системи міста є: комунікації, рухомий склад та об'єкти транспорту промислових підприємств; під'їзні колії і станції; автомобільні дороги, що забезпечують внутрішні і зовнішні

---

<sup>5</sup> Bergman E.M., Feser E.J. *Industrial and Regional Clusters: Concepts and Comparative Applications*. Reprint. Edited by Scott Loveridge and Randall Jackson. WVU Research Repository, 2020. URL: <https://researchrepository.wvu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1004&context=rri-web-book> (дата звернення: 10.04.2021).

<sup>6</sup> Khara M. Influence of the system of material flows on the environment of industrial areas / M. Khara, A. Lyamzin. *Технологический аудит и резервы производства*. 2019. Т. 4, N 3 (48). С. 12–19. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatr\\_v\\_2019\\_4%283%29\\_\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatr_v_2019_4%283%29__4) (дата звернення: 09.04.2021).

транспортні зв'язки; вантажні причали, пристані і інші транспортні об'єкти та споруди; інженерні споруди і мережі, технічні смуги й естакади для виробничо-технологічних комунікацій; установи і підприємства обслуговування, що функціонують у міських районах.

Функціонування транспортної системи міста характеризується широким спектром багатомітенклатурних вантажопотоків. Ці вантажопотоки в межах промислового підприємства і міських районів реалізуються вагонами як носіями сировини, напівфабрикатів і готової продукції. Справність вагонів визначає надійність транспортного процесу і рівень техногенного фактору. Чим менше показник ймовірності напрацювання на несправність, тим менше рівень забруднення навколишнього середовища в тій частині, яка залежить від несправностей рухомого складу.

Методи виявлення та усунення несправностей в період технічного обслуговування і ремонтних операцій, використання статистики для оцінки напрацювання на несправність, що викликана конструкційно-технологічними помилками обслуговуючого персоналу, вирішують технологічні та екологічні завдання. Транспортні зв'язки промислових підприємств з прилеглими селітебними територіями залежать від їх положення на генеральному плані міста. Найбільш характерно це для міських районів і підприємств, розташованих у межах житлових територій або в безпосередній близькості від них.

В умовах міста використання залізничного транспорту зумовлене рядом таких факторів: значні вантажопотоки підприємств; при нескладних топографічних умовах; тільки при тривалих термінах експлуатації підприємств.

Стійкість поточкових процесів підприємств промисловості знаходиться в прямій залежності від ступеня розвиненості архітектури транспортних комунікацій. Прилегли до підприємств залізничні транспортні комунікації в межах міста більшістю фахівців розглядаються тільки як транспортна магістраль, тоді як це насамперед структурно-функціональний елемент міста, що робить істотний вплив на безпеку навколишнього середовища та забезпечення міської життєдіяльності. У багатьох містах залізниця є також історичним пам'ятником архітектури та інженерної думки. Території уздовж залізниць мають значний містобудівний, архітектурний і історико-культурний потенціал. Разом з тим в більшості міст зберігається нерівномірний розвиток територій, прилеглих до залізниці. Ці площі можуть бути територіальними резервами (наприклад, в Мюнхені, Бухаресті, Майнці, Нюрнберзі, Римі), а самі залізниці функціональними і структурними резервами міста.

Залізниця, яка функціонує в межах міста, має ряд недоліків. По-перше, вона відрізає від центру великі житлові райони. По-друге, залізничний переїзд – це завжди пробка або як мінімум тягучка. Навіть якщо рух через нього не перекрито, автомобілі завжди змушені вдвічі знижувати швидкість. Якщо при під'їзді до шляхів вона становить приблизно 45–50 км/г, то через рейки транспорт проїжджає вже зі швидкістю 25–30 км/год. По-третє, залізниця, яка проходить фактично через центр міста, – це потенційна небезпека для людей і автомобілів.

Фактори негативного впливу матеріалопотоків промпідприємства належать до найбільш небезпечних і постійно діючих забруднювачів атмосферного повітря, водойм, ґрунту. Гостро стоїть проблема утилізації та переробки відходів, що виникають в процесі роботи і ремонту транспортних засобів. Різноманітність і ступінь впливу цих чинників на середу визначається характером несправностей вагонів, відмов, технологією експлуатації і відновлювальних процесів.

Показники потоку відмов, ресурс роботи вагонів і їх вузлів визначають безвідмовність транспортного процесу матеріалопотоків. Розрахункове значення ймовірності безвідмовної роботи  $P(t)$  порівнюється з фактичним  $P(t)_ф$ , і якщо  $P(t)_ф \ll P(t)$ , вживаються заходи конструктивного і експлуатаційного характеру щодо підвищення надійності, що зменшує шкідливий вплив на середовище.

На стан навколишнього середовища впливають несправності ресурсів кузовів вагонів і котлів цистерн, що проявляється у втратах дрібних фракцій вантажів, витоках рідких продуктів. У кузовах вагонів промислового транспорту в процесі навантаження і вивантаження можуть виникати різні несправності. У вагонів для перевезення окатишів та агломерату бувають пошкодження обшивки, тріщини шкворневої стійки в місці з'єднання з похилою торцевою стінкою кузова, деформації бічних стійок і рам розвантажувальних люків, вигини в нижній обв'язці кузова. З характерних ушкоджень кузовів вагонів для перевезення коксу слід зазначити корозійний знос стійок кришок люків, знос і деформацію обшивки кузова, вигини стійок, верхньої та нижньої обв'язки. У платформ для перевезення гарячого чушкового чавуну зустрічаються обриви стійок бортів, відрив настилу підлоги, деформація обшивки бічних і торцевих бортів. У кузовах вагонів для перевезення апатиту в процесі експлуатації руйнуються вузли з'єднання дуг даху з обв'язками бічних стінок і просядається дах у середній її частині, руйнуються вузли закладення кутових стійок

з верхніми обв'язками в місцях постановки вісей бігунків, зрізаються шплінти на валиках важільних механізмів з'єднання кузова з рамою і петель кришок люків, пошкоджуються швелери поздовжньої балки кузова в місцях закладення крайніх опор, руйнуються вузли закладення осей верхніх бігунків, державок петель на швелері поздовжньої балки кузова. У вагонів для перевезення бітуму в бункерах зустрічаються тріщини, пробоїни, відриви кришок, злами штуцерів парової сорочки і наявність у ній бітуму. В котлах цистерн виникають тріщини, вм'ятини, розриви зварювальних швів, порушення кріплення котла на рамі і ізоляції, а також несправності зливних приладів. У кузовів вагонів загального призначення (платформ, піввагонів і критих) виникають поломки і пошкодження бортів і стін, дверей і люків. Особливо часто виникають несправності верхньої обв'язки, стояках та обшивці піввагонів.

Крім зносів і пошкоджень, що виникають під час маневрових робіт, прогинів і вигинів, що з'являються під час навантаження вантажів кранами, магнітними шайбами, стрічками транспортерів, у рам вагонів промислового транспорту виникають наступні пошкодження: корозія, деформація елементів рам під впливом високих температур і значних ударних навантажень, обриви зі зварювання в місцях з'єднання балок. Забороняється постановка вагонів в поїзді, якщо у них є такі несправності: пошкодження обшивки; перекіс кузова більше 75 мм; порушення з'єднань стійок з металевим каркасом кузова; обрив шва або заклепок більш ніж у одного раскоосу; злам верхньої обв'язки у вагонів для агломерату, окатишів і коксу, а також у піввагонів; пошкодження кришок люків; перекоси бункера бітумних вагонів, тріщини і злами деталей опор бункерів і запірних механізмів; прогин поздовжніх бортів платформи в вертикальному і горизонтальному напрямках понад 100 мм; місцеві зазори між кришкою люка і площиною прилягання більш 7 мм; злами стельових дуг у критих вагонів; зрушення котла цистерн, тріщини в зварних швах і листах котла; ушкодження зливних приладів і кришки ковпака; відсутність або обрив поясу котла цистерни; пошкодження ізоляції котла; прогин поперечних і кінцевих балок рам вагонів і горизонтальному напрямку більш 30 мм; прогини і вигини в хребтових і поздовжніх балках в вертикальному напрямку у чотиривісних вагонів більше 100 мм.

Причиною забруднення території залізничної колії і підприємств є також виток нафтопродуктів на шляхи і між коліями з цистерн під час перевезень, розлив мастильних матеріалів під час заправки букс

колісних пар на приймально-відправних пунктах, потрапляння на поверхню землі масла на території складів паливно-мастильних матеріалів. Крім того, мастило потрапляє на шлях з букс, особливо під час зупинки і руху поїздів з місця. Джерелами забруднення природного середовища є вагонні депо, пункти підготовки вагонів, промивально-пропарювальні станції. Основні види забруднювачів в них: багатокомпонентні і нафто-СПАР, що містять стічні води, лужні розчини і їх опади, поточні і аварійні втрати сипучих і рідких вантажів. Під час ремонту рухомого складу основними забруднювачами є: нафто-СПАР, що містять стічні води, лужні розчини, багатокомпонентні стічні води, що містять різні хімічні продукти і їх забруднювачі, газові викиди. В радіусі від десятків метрів до декількох кілометрів від залізничної колії ґрунт, води, рослинність і тварини можуть отримати високу концентрацію шкідливих речовин. Накопичення таких речовин за певний період часу в ґрунті, водоймах, повітрі створює реальну небезпеку для здоров'я людей.

## **2. Принципи взаємодії надійності і екологічності промислових вагонопотоків**

Технічна система вагонопотоків промислових підприємств функціонує в закритій території. Її екологічна область займає певну територію і обсяг і відділяється від району промпідприємства природними або антропогенними кордонами. Межі можуть бути визначені з позицій органу, який контролює екологію, або розмитими, або стабільними, або рухомими. Кожна складова сфера екології підприємства і районів міста має свої властивості, ті, якими вона відрізняється (або схожа) від інших: фізичну, хімічну, біологічну або комплексну особливість, яка проявляється під час взаємодії транспортної та екологічної систем.

У відкритій системі транспортні забруднювачі розсіюються за межі кордонів промпідприємства, і в райони міста доходить їх певна частина, як трансформація джерела. Назвемо коефіцієнтом трансформації  $K_{\text{тр}}$  відношення дії транспортного джерела  $D_i$  до величини дії, яке дійшло до міського району  $D_p$  ( $K_{\text{тр}} = D_i/D_p$ ). Цей показник для кордонів промислового майданчика  $K_{\text{тр}} = 1,0$ , для розсіювання в межах міського району  $K_{\text{тр}} < 1,0$ .

В системі вагонопотоків внаслідок взаємодії складників утворюються складні транспортні ланки, мережі і кордони, а з урахуванням зворотних дій – замкнуті контури екологічних впливів на навколишнє середовище. Ці властивості –  $B$  або їх показники –

$P$  знаходяться у функціональній залежності від величини –  $D$  факторів впливу на середовище матеріалопотоків і їх транспортних процесів.

Система матеріалопотоків має кілька факторів впливу на середовище і виражається багатофакторною залежністю:

$$B = f(D_1, D_2, \dots, D_z), P = f(D_1, D_2, \dots, D_z). \quad (1)$$

Адекватність між компонентами матеріалопотоків, їх вагонопотоків і навколишнім середовищем у межах майданчика в замкнутому стані характеризується умовою:

$$Q_B = Q_{HC}, \quad (2)$$

де  $Q_B$  – абсолютна організація промислово-транспортної системи (ПТС);

$Q_{HC}$  – абсолютна організація зовнішнього для ПТС середовища в межах кордонів промислового підприємства.

Умова їх статичної рівноваги має вигляд:

$$Q_B - Q_{HC} = 0. \quad (3)$$

У разі порушення цієї рівноваги компоненти, що впливають на середу системи, змінюються на величину  $dQ_B$  за рахунок несправностей, відмов, відновлювально-ремонтних процесів за інтервал часу  $dt$ . Тоді умова динамічної рівноваги можна представити таким чином:

$$\frac{dQ_B}{dt} = \Delta Q_{HC} - \Delta Q_B. \quad (4)$$

Автономність (замкнутість) екосистеми підприємства відносна, тому що кожна екосистема – це система відкритого виду, що має зв'язок з навколишнім середовищем. Навколишнє середовище впливає на транспорт матеріалопотоків. Екосистема в межах промпідприємства є частиною системи більш високого рівня, вона складається з компонентів, які утворюються взаємодією її елементів: вагонопотоків, екосередиди промзони і екосередиди соціуму.

Для оцінки проектної (абсолютної) організації структурних, функціональних і управлінських компонентів системи вагонопотоків скористаємося визначенням Г.А. Голицина<sup>7</sup> норми абсолютної організації компонента системи:

---

<sup>7</sup> Голицын Г.А. Информация – поведение – творчество / Г.А. Голицын, В.М. Петров. Москва : Наука, 1991. 224 с.



$$Q_{ni} = \frac{\sum_{j=1}^m y_j^{(i)} \cdot Q_{nj}^{(i)}}{\sum_{j=1}^m y_j^{(i)}}, \quad (5)$$

де  $Q_{ni}$  – норма (показник) абсолютної організації  $i$ -го компонента, відповідний цілям системи вагонопотоків;

$Q_{nj}^{(i)}$  – норма (показник) абсолютної організації  $j$ -го компонента середовища для  $i$ -го компонента системи вагонопотоків;

$y_j^{(i)}$  – жорсткість (допустима межа коливань) норми  $Q_{ij}^{(i)}$ .

Зазвичай транспортні системи вагонопотоків промпідприємства розраховуються на тривалий термін, і тоді норма (показник справності, надійності, відновлювання) відстежується значенням зміни від початкового стану до поточного стану.

Система вагонопотоків є джерелом надходження забруднювачів у природне середовище, і природний стан рівноваги виявляється порушеним. Речовини забруднювачів безперервно включаються в кругообіг речовин між геофізичними середовищами. У той же час відзначимо, що повністю закритих систем немає. Відкритість властивостей техно-екологічності системи вагонопотоків характеризує ступінь її залежності від навколишнього середовища і впливу на неї. Залежно від особливості техно-екологічної системи її зв'язки з екосистемою навколишнього середовища можуть бути більшими чи меншими. Для техногенних систем більша відкритість означає більше використання природних ресурсів і більшу кількість промислових відходів.

У відкритій системі навколишнього природного середовища формується стан великого числа її складників відповідно до закону сукупності природних факторів. Скористаємося роботами і прийнемо, що у разі зміни у відкритій системі числа факторів і зв'язків між ними змінюється ентропія системи<sup>8,9</sup>. Під впливом керуючих впливів екосистема прагне досягти рівноважного стану. Якщо  $Q'$  – абсолютна організація системи, тобто, виконавши диференціювання  $Q'$  за часом, отримаємо:

<sup>8</sup> Запорожець О.І. Транспортна екологія : навчальний посібник / О.І. Запорожець, С.В. Бойченко, О.Л. Матвеева та ін.; за заг. редакцією С.В. Бойченка. Київ : НАУ, 2017. 507 с.

<sup>9</sup> Лямзін А.О., Ніколаєнко І.В. Оцінка впливу транспортного кластера на екологію міста. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. Київ : ДЕА, 2020, № № 1(28). С. 211–215. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.33>.

$$\frac{dQ'}{dt} > 0, \text{ якщо } a > b, Q' \quad (6)$$

де  $a$  – const від похідної максимальної ентропії системи;

$b$  – const від похідної поточної ентропії системи.

У відкритій системі можна вважати, що збільшення числа станів системи визначається різницею між максимальною невизначеністю стану системи і її поточною абсолютною організацією. Виходячи з цього твердження, можна скористатися наступною емпіричною формулою [10]:

$$\Delta X^s(t) = \beta_i [H_{max}^s(t) - Q^s(t)] = \beta_i H^s(t), \quad (7)$$

де  $\Delta X^s(t)$  – збільшення числа станів системи;

$H_{max}^s, H^s$  – максимальна і поточна ентропія системи;

$Q^s$  – абсолютна організація системи;

$\beta_i$  – коефіцієнт пропорційності і розмірності.

Таким чином, модель прогнозування показників стану відкритої системи може бути представлена у вигляді:

$$X^s(t) = X_0^s + \beta H^s(t), \quad (8)$$

де  $X_0^s$  – числова характеристика стану системи в початковому стані, таким чином  $t = 0$ .

Екосистема навколо промпідприємства є складовою частиною (підсистемою) більш високого рівня, але і вона сама складається з менших компонентів. Система організації управління навколишнім середовищем промислового підприємства залежить від типу його транспортної системи (для металургійних, хімічних, машинобудівних та інших типів підприємств) і цілей, які ставить перед собою дослідник. Такий підхід дозволяє враховувати як зовнішні, так і внутрішні зв'язки між підсистемами.

Для оцінки ступеня автономності екосистеми промислового майданчика по окремим забруднювачам скористаємося коефіцієнтом рециркуляції:

$$K_p = \frac{B_B}{B_C}, \quad (9)$$

де  $B_C$  – загальна сума кількості речовин забруднювачів, що проходять через систему в певний час;

$B_B$  – кількість речовини, яке циркулює в самій системі, не виходячи за її межі (за цей час).

Екосистема міського району тільки тоді буде стійкою для блокування впливу факторів транспортної системи вагонопотоків,

зовнішніх і внутрішніх впливів, якщо сама буде досить внутрішньо різноманітно організована.

Кількісна оцінка техногенного впливу вагонопотоків на середовище призводить до деформації властивостей середовища. Коефіцієнтом деформації КД назвемо відношення величини зміни значення показника (властивостей, процесу, параметра) під впливом техногенності дій  $Z_T$  до відповідного фонового природного значенням  $Z_\Phi$ :

$$КД = \frac{Z_T}{Z_\Phi} = \frac{Z_{п-3\Phi}}{Z_\Phi}, \quad (10)$$

де  $Z_{п}$  – поточне значення показника (властивостей, параметра).

Порівняльно-граничний метод оцінки забрудненості ґрунтується на зіставленні рівня фактичної забрудненості (повітря, води, ґрунту) будь-яким забруднювачем ( $Z$ ) зі значенням допустимої для організму забрудненості.

В якості допустимої забрудненості приймаються санітарно-епідеміологічні значення для організму як гранично-допустимі (ГД). Показником, який оцінює забрудненість, є коефіцієнт забруднення середовища:

$$K_{зс} = \frac{\sum_{i=1}^k \left(\frac{Z}{ГД}\right)}{K_{п}}, \quad (11)$$

де  $K_{п}$  – кількість забруднюючої речовини.

Для комплексної оцінки забрудненості природного міського середовища скористаємося наступним виразом:

$$K_{зс} = A \cdot K_{за} + G \cdot K_{зг} + L \cdot K_{зл}, \quad (12)$$

де  $A, a$  – атмосфера;  $G, g$  – гідросфера;  $L, l$  – літосфера.

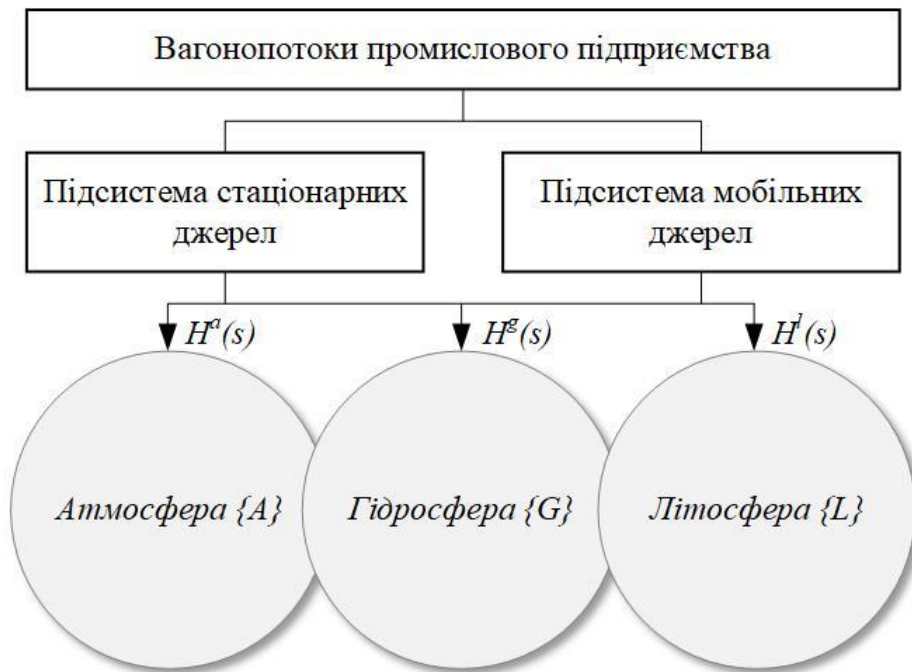
Залежність властивостей або показників навколишнього середовища системи вагонопотоків від величини діючих факторів –  $\Phi$  назвемо екологічною характеристикою промислового транспортного майданчика:

$$B = f(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n). \quad (13)$$

До таких факторів належить недосконалість технології перевізного процесу, наднормативні терміни експлуатації вагонів, недостатній темп зміни структури вагонних парків, втрати частини продукції, використання рухомого складу з несправностями, відмови рухомого складу, аварії і їх наслідки, втрати продукції, забруднення

на пунктах підготовки та ремонту рухомого складу і інші чинники, перераховані вище.

Збиток природним ресурсам, заподіяний матеріальними об'єктами матеріалопотоків, виражається надходженням в природне середовище газоподібних, твердих і рідких речовин, що роблять негативний вплив на компоненти атмосфери  $\{A\}$ , гідросфери  $\{G\}$ , літосфери  $\{L\}$  (рис. 1).



**Рисунок 1. Вплив комплексу вагонопотоків промислового підприємства на місцеве середовище**

Зв'язок між техногенними факторами матеріальних об'єктів матеріалопотоків пром'ягприємства і навколишнім середовищем реалізується через передавальну функцію. Передавальна функція коригує явища розсіювання, трансформації та інших перетворень.

Передавальна функція системи  $H(s)$  перетворює навантаження від факторів негативного впливу матеріалопотоків  $Y_H(s)$ , які входять в середу, на відповідну реакцію на виході факторів шкоди  $F_Y(s)$ , утворюючи функцію зв'язку:

$$H(s) = \frac{Y_H(s)}{F_Y(s)}. \quad (14)$$

Комплекс вагонопотоків промислового підприємства (КВП), який реалізує поточкові процеси від сировини до готової продукції, створюється для ефективног системи управління його екологічною

безпекою, захищеністю навколишнього природного середовища від негативного впливу його забруднювачів на середу. КВП характеризується факторами, що визначають утворення, поширення та накопичення забруднювачів різного виду в просторі і в результаті можливість виникнення зон екологічної несприятливої обстановки, що відрізняються за розмірами і стійкості.

Виходячи з особливостей КВП, проведена декомпозиція умов виникнення забруднювачів на два складники, що відрізняються способами і умовами освіти викидів забруднювачів:

- підсистему стаціонарних джерел (вантажно-розвантажувальні операції, система ТО і Р);
- підсистему пересувних джерел (технологія транспортного процесу, несправності, перестають у відмови, і вплив аварій на навколишнє середовище).

Теоретичні засади (парадигма) надійності і екологічності вагонопотоків промислового підприємства включають: методи і моделі транспортної логістики; методи управління надійністю і екологічністю; методи оцінки ресурсу життєвого циклу вагонів; методи комплектації вагонних парків; логістичні моделі екологічності ремонту; методи безпечного й екологічного супроводу матеріалопотоків; методи розробки рішень.

Індивідуальні фактори збитку і реакції виходу утворюють передавальну матрицю (табл. 1).

Таблиця 1

**Передавальна матриця організації зв'язку**

Середовище	Передавальна функція $j$ -го фактору «техносфера – середовище»					
	1	2	...	$j$	...	$n$
Атмосфера $\{A\}$	$H(s)a_1$	$H(s)a_2$	...	$H(s)a_j$	...	$H(s)a_n$
Гідросфера $\{G\}$	$H(s)g_1$	$H(s)g_2$	...	$H(s)g_j$	...	$H(s)g_n$
Літосфера $\{L\}$	$H(s)l_1$	$H(s)l_2$	...	$H(s)l_j$	...	$H(s)l_n$

Під час перевезення небезпечних вантажів аварія веде до відхилення від допустимих умов експлуатації вагонопотоків. До небезпечних вантажів належать: вибухові і піротехнічні речовини, гази, легкозаймисті рідини та тверді речовини, отруйні, інфекційні та речовини, які окислюються, органічні перекиси, радіоактивні речовини. Територія, в межах якої виявляється шкідливий вплив, має назву зона ураження під час аварійної ситуації.

Величина збитку, що завдається в результаті аварії навколишньому середовищу, в загальному вигляді визначається за формулою:

$$U = U_a + U_b + U_z + U_c + U_\phi, \quad (15)$$

де  $U_a$  – збиток від викидів шкідливих речовин в атмосферу;

$U_b$  – збиток від попадання забруднюючих речовин у водойми;

$U_z$  – збиток від забруднення і деградації землі;

$U_c$  – збиток від засмічення території або водойми відходами (сміттям);

$U_\phi$  – збиток від негативного впливу на об'єкти рослинного і тваринного світу.

Наслідки аварійних ситуацій залежать від місця розташування джерела аварії, особливості формування розливів, а також фізико-механічних і хімічних властивостей забруднювача. Ці особливості, а також природно-кліматичні умови диктують відповідні методологічні та технічні заходи, спрямовані на зниження впливу на навколишнє середовище.

У загальному випадку план ліквідації наслідків аварії включає в себе наступні етапи: оцінку масштабів і небезпеки аварії, визначення плану і обсягу робіт, складу виконавців; виявлення і локалізацію джерела аварії; збір розлитої рідини або забруднювача; безпечно зберігання та видалення зібраного забруднювача; відновлення уражених ділянок; організацію системи моніторингу.

Хімічне забруднення ґрунтів оцінюють за сумарним показником хімічного забруднення  $Z_c$ . Сумарний показник хімічного забруднення характеризує ступінь хімічного забруднення ґрунтів і ґрунтів обстежуваних територій шкідливими речовинами і визначається як сума коефіцієнтів концентрації окремих компонентів забруднення за формулою:

$$Z_c = K_c + \dots + K_{ci} + \dots + K_{cn} - (n - 1), \quad (16)$$

де  $n$  – число компонентів, які визначені;

$K_{ci}$  – коефіцієнт концентрації  $i$ -го забруднюючого компонента, що дорівнює кратності перевищення вмісту даного компонента над фоновим значенням.

У разі забруднення транспортними процесами вагонопотоків ґрунту речовинами органічного чи неорганічного походження оцінюється ступінь забруднення ґрунту.

Основними показниками якості атмосферного повітря на транспортному майданчику вважаються гранично допустимі концентрації

шкідливих речовин (ПДК) в атмосферному повітрі на висоті 2 м від поверхні землі.

У разі одночасного вмісту в повітрі кількох речовин матеріалопотоків односпрямованого дії повинно виконуватися умова:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1, \quad (17)$$

де  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – концентрація 1, 2, ...,  $n$  шкідливих речовин в повітрі;

$ГДК_n$  – гранично допустима концентрація 1, 2, ...,  $n$  шкідливих речовин в повітрі;

$n$  – число шкідливих речовин в повітрі.

Якість атмосферного повітря піддається періодичному контролю, тобто проводиться перевірка відповідності показників атмосферного повітря вимогам нормативно-технічної документації. Контролюють якість повітря, кількість викидів і інші параметри атмосфери. Для оцінки якості атмосферного повітря використовують поодинокі і комплексні показники забруднення атмосфери (16). В результаті аварії величина збитку від викидів шкідливих речовин в атмосферу визначається за формулою:

$$U_a = M_{i_{\text{атм}}} \cdot H_{б_{i_{\text{атм}}}} \cdot K_e \cdot K_{\text{ін}}, \quad (18)$$

де  $M_{i_{\text{атм}}}$  – фактичний викид  $i$ -го забруднюючої речовини;

$H_{б_{i_{\text{атм}}}}$  – базовий норматив плати за викид 1 т  $i$ -го забруднюючої речовини в межах встановлених лімітів;

$K_e$  – коефіцієнт екологічної ситуації та екологічної значимості міського району, де сталася аварія;

$K_{\text{ін}}$  – коефіцієнт індексації до базових нормативів плати.

Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел (вантажно-розвантажувальні роботи, ремонтні процеси з вагонами), плата за викиди забруднюючих речовин в розмірах, що не перевищують гранично допустимі нормативи викидів, визначається за формулою:

$$П_{\text{Н}_{\text{атм}}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{Н}_{i_{\text{атм}}}} \cdot M_{\text{Н}_{i_{\text{атм}}}} \text{ при } M_{i_{\text{атм}}} \leq M_{\text{Н}_{i_{\text{атм}}}}, \quad (19)$$

де  $i$  – вид забруднюючої речовини;

$C_{\text{Н}_{i_{\text{атм}}}}$  – ставка плати за викид 1 т  $i$ -го забруднюючої речовини в межах допустимих нормативів викидів;

$M_{\text{Н}_{i_{\text{атм}}}}$  – фактичний викид  $i$ -го забруднюючої речовини;

$M_{i_{\text{атм}}}$  – гранично допустимий викид  $i$ -го забруднюючої речовини.

Ставка плати за викид 1 т  $i$ -ї забруднюючої речовини в межах допустимих нормативів викидів визначається за формулою:

$$C_{\sigma_{i_{\text{атм}}}} = N_{\text{бн}i_{\text{атм}}} \cdot K_{\text{еатм}}, \quad (20)$$

де  $N_{\text{бн}i_{\text{атм}}}$  – базовий норматив плати за викид 1 т  $i$ -ї забруднюючої речовини в межах, що не перевищують гранично допустимі нормативи викидів;

$K_{\text{еатм}}$  – коефіцієнт екологічної ситуації та екологічної значимості атмосфери в даному районі міста.

Плату за перевищення допустимих викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел (вагонопотоків) можна визначити за формулою:

$$P_{\text{СН}_{\text{транс}}} = \sum_{j=1}^p P_{\text{Н}j} \cdot d_j, \quad (21)$$

де  $j$  – тип транспортного засобу;

$p$  – кількість транспортних засобів;

$P_{\text{Н}j}$  – плата за допустимі викиди забруднюючих речовин від  $j$ -го типу транспортного засобу;

$d_j$  – частка транспортних засобів  $j$ -го типу, які не відповідають стандартам (визначається як відношення кількості транспортних засобів, які не відповідають вимогам стандартів, до загальної кількості перевірених транспортних засобів).

Виробничі стічні води від вагонів, які ремонтуються, зазвичай забруднені нафтопродуктами: мазутом, мастильними матеріалами, бензином, гасом. Крім того, в стічних водах можуть бути присутнім феноли, зважені частинки, органічні (фарба, розчинники) і синтетичні поверхнево-активні речовини, солі важких металів.

Побутові стоки містять органічні забруднювачі (сполуки вуглецю і азоту), поверхневі включають в себе дощові і снігові стоки зі станційних майданчиків, територій підприємств, відстою рухомого складу, покрівель виробничих та службово-технічних будівель. Поверхневі води змивають в ґрунт такі небезпечні речовини, як луи<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Азаров С.І. Моделювання впливу антропогенних чинників на стан довкілля / С.І. Азаров, О.В. Харламова. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. Київ: ДЕА, 2020. № 1(28). С. 97–101. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.14>.



Наслідки від попадання забруднюючих речовин у водойми, які призводять до зміни якості води в результаті аварії, розраховуються за формулою<sup>11</sup>:

$$U_B = 25 \sum_{i=1}^l M_{i_{\text{вод}}} \cdot 10^{-6} \cdot H_{\text{б}i_{\text{вод}}} \cdot K_{\text{е}i_{\text{вод}}} \cdot K_{\text{ін}}, \quad (22)$$

де  $M_{i_{\text{вод}}}$  – фактичний скид  $i$ -ї забруднюючої речовини;

$H_{\text{б}i_{\text{вод}}}$  – базовий норматив плати за викид 1 т  $i$ -ї забруднюючої речовини в межах встановленого ліміту;

$K_{\text{е}i_{\text{вод}}}$  – коефіцієнт екологічної ситуації та екологічної значимості поверхні водного об'єкта.

Завдання екологічного прогнозування впливу вагонопотоків включає визначення за величиною забруднень поля концентрації, і по полю концентрації визначення відповідного йому стану екологічної рівноваги.

Необхідно мати певний критерій  $Q$ , що дозволяє оцінювати прийнятний рівень стану промислового середовища і  $Q_n$  – корисний рівень функціонування вагонопотоків.

Запланований викид забруднювачів  $V$  визначить поле концентрації в межах міста, якому буде відповідати біоти  $Y$  екосистеми, відмінне від початкового  $Y_0$ , тоді  $[Q(Y) - Q(Y_0)]$  приріст корисності стану екосистеми і критерій  $Q$  має вигляд:

$$Q = [Q_n + Q(Y) - Q(Y_0)] \quad (23)$$

Правило прийняття рішення полягає в тому, щоб сумарна корисність заходів була позитивна, і тоді на підставі цього приймається рішення продовжувати експлуатацію вагонопотоків. Якщо вжиті заходи негативні, необхідно приймати відповідне рішення.

## ВИСНОВКИ

Сучасні міста знаходяться на передньому краї багатьох найсерйозніших ризиків, таких як екстремальні погодні явища, вразливі комп'ютерні мережі, промислові ризики, техногенні катастрофи та інші. Підвищення щільності населення, швидка цифровізація, поновлювані джерела енергії і адаптація до зміни

---

<sup>11</sup> Корінь М.В., Кривда В.М. Теоретичні засади підвищення рівня технологічної безпеки залізничного транспорту. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2017. Вип. 59. С. 68–75. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vetp\\_2017\\_59\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vetp_2017_59_11) (дата звернення: 10.04.2021).

клімату мають вирішальне значення для міст. Майбутнє сталого розвитку буде залежати від глобальної здатності створювати безпечний і комфортний міський простір для населення та компаній.

У цих умовах важливе значення має розробка теоретичного підґрунтя для формування вимог до функціонування складних транспортних систем та управління вагонопотоками промислових підприємств, що розташовані в межах міста. Надійність та екологічність вагонопотоків пов'язані між собою, оскільки в межах життєвого циклу вагонопотоків виникають несправності, якщо їх вчасно не усунути, вони переростають в відмови і аварії. Теоретичною новизною є аналіз закономірностей залежності екологічності від технічного стану вагонів як передавальної функції процесу, заснований на досягненнях теорії транспортних потоків і систем, теорії надійності і теорії відновлення, перспективи інтелектуалізації управління готовністю вагонних парків.

## **АНОТАЦІЯ**

Майбутнє сталого розвитку залежить від глобальної здатності створювати безпечний і комфортний міський простір. Логістичні методи управління надійністю і екологічністю вагонопотоків промислових підприємств розглянуті як методи що об'єднують два взаємопов'язаних начала – забезпечення справності, як умова безвідмовності транспортного процесу, і забезпечення справності, як умова переробки вантажу без втрат, які забруднюють навколишнє середовище. Проведено дослідження комплексу вагонопотоків промислового підприємства, який реалізує поточкові процеси від сировини до готової продукції, та сформульовані фактори, що визначають утворення, поширення та накопичення забруднювачів різного виду і в результаті можливість виникнення зон екологічної несприятливої обстановки. В роботі представлений аналіз закономірностей залежності екологічності від технічного стану вагонів як передавальної функції процесу.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. Цілі сталого розвитку. ПРООН Україна. URL: <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-communities.html> (дата звернення: 14.04.2021).
2. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України

від 30 травня 2018 р. № 430-р. / Кабінет Міністрів України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennya-nacionalnoyi-transporthnoyi-strategiyi-ukrayini-na-period-do-2030-roku> (дата звернення: 11.04.2021).

3. Here's how rising global risks will change our cities. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2021/01/how-we-live-and-work-will-change-so-will-the-cities-we-inhabit> (дата звернення: 11.04.2021).

4. Хара М.В., Лямзін А.О. Логистика ресурса жизненного цикла вагонов в потоковых процессах промышленного предприятия. *Scientific and technological revolution of the XXI century '2020: conference proceedings*. Karlsruhe, 2020. P. 32–35. URL: <https://www.sworld.education/konferge12/sbor-ge12.pdf> (дата звернення: 12.04.2021).

5. Bergman E.M., Feser E.J. Industrial and Regional Clusters: Concepts and Comparative Applications. Reprint. Edited by Scott Loveridge and Randall Jackson. WVU Research Repository, 2020. URL: <https://researchrepository.wvu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1004&context=rri-web-book> (дата звернення: 10.04.2021).

6. Khara M. Influence of the system of material flows on the environment of industrial areas / M. Khara, A. Lyamzin. *Технологический аудит и резервы производства*, 2019. Т. 4, № 3 (48). С. 12–19. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv\\_2019\\_4%283%29\\_\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2019_4%283%29__4) (дата звернення: 09.04.2021).

7. Голицын Г.А. Информация – поведение – творчество / Г.А. Голицын, В.М. Петров. Москва : Наука, 1991. 224 с.

8. Запорожець О.І. Транспортна екологія: навчальний посібник / О.І. Запорожець, С.В. Бойченко, О.Л. Матвєєва та ін.; за заг. редакцією С.В. Бойченка. Київ : НАУ, 2017. 507 с.

9. Лямзін А.О., Ніколаєнко І.В. Оцінка впливу транспортного кластера на екологію міста. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. Київ : ДЕА, 2020, № № 1(28). С. 211–215. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.33>.

10. Азаров С.І., Харламова О.В. Моделювання впливу антропогенних чинників на стан довкілля. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. Київ: ДЕА, 2020. № 1(28). С. 97–101. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.14>.

11. Корінь М.В., Кривда В.М. Теоретичні засади підвищення рівня технологічної безпеки залізничного транспорту. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2017. Вип. 59. С. 68–75. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vetp\\_2017\\_59\\_11\\_\\_](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vetp_2017_59_11__) (дата звернення: 10.04.2021).

**Information about the authors:**

**Khara Maryna Volodymyrivna,**

PhD, Associate Professor,

Associate Professor at the Department  
of Transport Technologies of Enterprises

Pryazovskyi State Technical University

7, Universytetska str., Mariupol, Donetsk region, 87555, Ukraine

**Nikolaienko Iryna Volodymyrivna,**

PhD, Associate Professor,

Associate Professor at the Department

of Technologies of International Transportation and Logistics

Pryazovskyi State Technical University

7, Universytetska str., Mariupol, Donetsk region, 87555, Ukraine