

БУТЬКО Т. В., д.т.н., професор, (Український державний університет залізничного транспорту)

ПАРХОМЕНКО Л. О., к.т.н., доцент, (Український державний університет залізничного транспорту)

АРТЕМОВ Е. М., аспірант, (Український державний університет залізничного транспорту)

ЛАГНО О. С., магістрант (Український державний університет залізничного транспорту)

## Методи організації вантажних залізничних перевезень на основі ризик-орієнтованих технологій

Одним із основних напрямів підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту на ринку вантажних перевезень є забезпечення надійності функціонування залізничної транспортної системи. При цьому надійність розуміється в контексті збереження вантажу і навколишнього середовища під час перевезення, а також дотримання умов щодо визначеного строку доставки. Процес функціонування залізничної транспортної системи супроводжується ризиками виникнення різних транспортних подій, особливо в період воєнного стану. Як відомо, номенклатура вантажів, що перевозяться залізницею, є достатньо великою і включає значну кількість небезпечних вантажів, що можуть становити загрозу як для залізничної інфраструктури, так і навколишнього середовища та впливати на зменшення пропускної спроможності, невиконання строків доставки вантажів, через що в процесі операційної діяльності персоналу на залізничному транспорті доцільно спиратися на ризик-орієнтовані технології. З цією метою авторами запропоновано понятійний апарат ризик-менеджменту, а фактори ризиків поділено на техногенні і технологічні. Така класифікація дає змогу при формалізації технологічних процесів переміщення вантажів розробляти універсальні оптимізаційні математичні моделі, які є основою систем підтримки прийняття рішень (СППР) на автоматизованих робочих місцях (АРМ) оперативного і диспетчерського персоналу.

Ураховуючи, що в період воєнного стану в Україні особливо актуальним постало питання перевезення зерна залізничним транспортом транзитом через території країн ЄС, у роботі сформовано оптимізаційну математичну модель з використанням апарату ризик-менеджменту, яка відображує процес просування ступінчастих «зернових» потягів з елеваторів в Україні через західні кордони до морських портів ЄС, де розташовано зернові термінали.

При формуванні оптимізаційної математичної моделі функціонування такого транспортно-логістичного ланцюга було прийнято, що фактор ризику є технологічним, тобто показує невиконання строків проведення сукупності технологічних операцій із вантажем (зерном) у процесі його переміщення, тоді подією буде невиконання строків доставки вагонів із зерном на термінал у порти, а наслідком – додаткові економічні витрати.

Ураховуючи, що об'єднуючою ланкою такого транспортно-логістичного ланцюга є зерновий потік, розмірність цільової функції оптимізаційної математичної моделі відображує грошовий еквівалент, приведений до тонни зерна.

Цільова функція за своєю структурою є сумою доданків у вигляді витрат на тонну зерна за кожним елементом логістичного ланцюга, а ризикова компонента – це добуток імовірності виникнення ризику і додаткових витрат. Керуючими змінними в моделі прийнято час і кількість вагонів із зерном. Система обмежень моделі відображує технічні і технологічні умови перевезення вантажів залізничним транспортом. Аналіз цільової функції доводить, що найбільш критичним елементом транспортно-логістичного ланцюга є прикордонно-передавальні станції АТ УЗ, де відбуваються митний і фітосанітарний контролю, а також перевантаження зерна у вагони колії 1435 мм габариту 02-Т, що може спричинити виставлення зернового потяга на колію суміжної країни у строк, коли надана нитка графіка на залізницях країн ЄС вже є недоступною. Саме така подія може призвести до значних додаткових витрат. Задля запобігання такій події в статті обґрунтовано можливість надання пріоритету в обслуговуванні «зернових» потягів при проходженні їх через прикордонно-передавальні станції. З цією метою проведено статистичне дослідження всіх залізничних переходів з усіма країнами ЄС, що межують з Україною, щодо середньодобового передавання всіх вагонів і вагонів із зерном.

На сьогоднішній день такий пріоритет можна надати на всіх переходах, окрім переходу Чоп-Захонь (Угорщина), через який проходять виключно «зернові» потяги. Сформовану оптимізаційну математичну модель на основі ризик-орієнтованих технологій рекомендовано інтегрувати на АРМі оперативних працівників АТ УЗ та інтермодального «зернового» оператора у вигляді СППР для управління процесом просування «зернових» потягів в автоматизованому режимі.

**Ключові слова:** ризик-орієнтовані технології, вантажні залізничні перевезення, «зернові» потяги, оптимізаційна математична модель, прикордонно-передавальна станція, транспортно-логістичний ланцюг

### Вступ

Процес організації вантажних залізничних перевезень супроводжується певними ризиками техногенного і технологічного характеру. Особливо фактор ризику підвищується в період воєнного стану в Україні. Саме це спонукає в процесі операційної діяльності оперативного і диспетчерського персоналу спиратися на ризик-орієнтовані технології при переміщенні вантажів. Такі умови сьогодення потребують розвитку й адаптації апарату ризик-менеджменту до технології роботи залізничного транспорту як усередині країни, так і при кроскордонних перевезеннях вантажів. Задля зменшення впливу так званого «людського фактора» при прийнятті управлінських рішень доцільно автоматизувати цей процес шляхом інтегрування ризик-орієнтованих технологій на відповідні АРМі оперативного персоналу у вигляді СППР.

### Постановка проблеми

Підвищення надійності функціонування системи вантажних залізничних перевезень є одним із основних факторів збільшення рівня конкурентоспроможності залізничного транспорту на ринку вантажних перевезень. Саме поняття надійності системи передбачає наявність можливих збоїв у її роботі та процедур запобігання відмовам. У процесі функціонування системи вантажних залізничних перевезень виникають різного роду ризики, оскільки великі маси вантажів переміщуються з достатньо великими швидкостями або значна кількість вагонів із вантажем одночасно перебуває на сортувальних станціях (хабах), що може призвести до транспортних подій. Така природа залізничних вантажних перевезень спонукає в процесах операційної діяльності враховувати можливі ризики, тобто спиратися на ризик-орієнтовані технології.

Отже, нагальною стає проблема розвитку і адаптації технологій ризик-менеджменту при організації переміщення вантажів залізницею. Основою таких автоматизованих технологій є математичні моделі, що адекватно відтворюють технологічні процеси в системі вантажних залізничних перевезень. Ураховуючи, що в наш час актуальним завданням, яке постало перед АТ УЗ, є перевезення зерна від елеваторів через західні кордони України до морських портів країн ЄС, необхідним стає формування оптимізаційної математичної моделі при кроскордонних перевезеннях з урахуванням потенційних ризиків у процесі функціонування транспортно-логістичного ланцюга.

### Аналіз досліджень і публікацій

Ураховуючи, що функціонування транспортної галузі пов'язане з певними ризиками, багато наукових досліджень присвячено розробленню ризик-орієнтованих транспортних технологій. Так, у роботі [1] розглянуто питання функціонування сортувальної станції (СС) за наявності на ній вагонів з небезпечними вантажами (НВ). Для зменшення наслідків техногенного фактора ризику у випадку, коли один із вагонів з НВ може вибухнути, запропоновано розставляти такі вагони на колії, які знаходяться на достатній відстані від інших вагонів з НВ. Процес функціонування СС формалізовано у вигляді оптимізаційної математичної моделі, а результатом вирішення є змінно-добовий план роботи СС. У роботі [2] польських учених з метою збору інформації та подальшого її аналізу для оцінювання імовірності загрози та потенційних наслідків пропонується використання хмарної СППР (Cloud DSS). Такий підхід для оцінювання ризиків рекомендовано для залізничних транспортних компаній. Публікацію [3] присвячено формуванню автоматизованої технології надання альтернативного маршруту швидкісним пасажирським поїздам у випадку руйнування залізничної інфраструктури. З цією метою сформовано оптимізаційну математичну модель з використанням апарату ризик-менеджменту. За критерій вибору альтернативного маршруту прийнято мінімальне перевищення експлуатаційних витрат при прямуванні швидкісного пасажирського поїзда альтернативним маршрутом порівняно зі штатним графіковим перевезенням. Система обмежень відображує технічні і технологічні умови перевезення. Множина альтернативних маршрутів формується на основі зваженого графа напрямку перевезень з використанням його матриці суміжності. Модель рекомендовано інтегрувати до АСКППУЗ у вигляді СППР. У роботі [4] застосовується ризик-орієнтований підхід для формування складу потяга з небезпечними вантажами (НВ) різних класів і груп сумісності з метою зменшення можливих наслідків у результаті аварійної ситуації. Сформовано комплексний критерій, який залежить від кількості груп вагонів з НВ у складі потяга, що формується на сортувальній станції; загальної кількості вагонів з НВ; ступеня небезпеки групи, до якої віднесено вагони з НВ; кількості випадків сумісного розташування вагонів різних груп небезпеки. З використанням цього критерію стає можливим визначати імовірність ризику при постановці в потяг вагонів з НВ. Такий підхід дає змогу сформувати відносно безпечну комбінацію з можливих варіантів при формуванні складу потягів на сортувальній станції.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок про доцільність подальшого розвитку ризик-

орієнтованих транспортних технологій, особливо в частині організації міжнародних залізничних перевезень.

### **Мета дослідження**

Розвиток ризик-орієнтованих транспортних технологій і формування автоматизованої технології кроскордонних залізничних перевезень зерна ступінчастими маршрутами.

### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Під час воєнного стану в Україні залізничний транспорт залишається основним стратегічним перевізником вантажів і пасажирів. Ця тенденція продовжує зберігатися, незважаючи на те, що за попередні десять передвоєнних років обсяг перевезених вантажів залізничним транспортом зменшився на 15 %, а за той самий період обсяг вантажних перевезень автомобільним транспортом збільшився на 20 % в основному завдяки гнучкості його графіків і маршрутів перевезень. З точки зору номенклатури вантажів залізничний транспорт має пріоритет в обсягах перевезень вугілля та коксу, руди, металів і металоконструкцій, зерна і сільгосппродукції, хімічної продукції (добрива, нафтопродукти, хімічні реагенти), будматеріалів, контейнерів тощо. Більшість вищеперерахованих вантажів належить до небезпечних вантажів різних класів.

Тобто вантажні залізничні перевезення – це процес транспортування значних мас вантажів із достатньо великими швидкостями, який супроводжується значними ризиками виникнення транспортних подій, що можуть впливати як на саму залізничну інфраструктуру, так і навколишнє середовище.

Як відомо, для оцінювання функціонування залізничної транспортної системи використовується ціла низка техніко-експлуатаційних показників. Як доводить статистичний аналіз цих показників, вони мають імовірнісну природу й підпорядковуються різним законам розподілу – від експоненціального закону, законів Ерланга різного порядку до нормального закону розподілу і розподілу Вейбула. Такі дослідження доводять, що в цілому залізничну транспортну систему доцільно класифікувати як квазідетерміновану динамічну систему за шкалою Ю. Антамонова, незважаючи на цілу низку різних інструкцій з виконання технологічних операцій. Основною причиною цього є значний вплив так званого «людського» фактора в процесі прийняття рішень при управлінні функціонуванням різними елементами залізничної транспортної системи. Прийняття недостатньо раціональних рішень персоналом у процесі операційної діяльності, особливо при вантажних залізничних перевезеннях, може сприяти підвищенню ризиків настання небажаної події, наприклад невиконання строків доставки вантажів. Важливим фактором, який впливає на стабільність процесу вантажних залізничних перевезень, є руйнування залізничної інфраструктури, включно з тяговими трансформаторними підстанціями, що спричинено як техногенними

подіями, так і воєнними діями в Україні. У таких випадках природа підвищення ризику обумовлена в основному стратегічним значенням певного елемента інфраструктури залізничної транспортної системи (сортувальні, вузлові, прикордонно-передавальні станції, тягові трансформаторні підстанції тощо).

На основі вищенаведеного можна зробити висновок, що при організації вантажних залізничних перевезень необхідно впроваджувати технології управління ризиками для забезпечення і підвищення надійності і конкурентоспроможності залізничного транспорту на транспортному ринку.

Понятійний апарат ризик-менеджменту базується на такому логічному ланцюзі: фактор ризику – подія – економічні наслідки. На наш погляд, у процесі операційного управління фактори ризику доцільно поділити на техногенні і технологічні. До техногенних факторів ризику можна віднести руйнування елементів залізничної інфраструктури або внаслідок раптових відмов технічного характеру (підвищені зноси, випадкові відмови обладнання), або умисні пошкодження, наприклад внаслідок воєнних дій. Подіями в цьому випадку може бути знищення вантажів, елементів залізничної інфраструктури, рухомого складу; зменшення пропускної спроможності; невиконання строків доставки тощо. Наслідками таких подій є витрати на відновлення залізничної інфраструктури, навколишнього середовища, рухомого складу, непродуктивні простой, штрафи від невиконання строків доставки вантажу. До технологічних факторів ризику доцільно віднести невиконання (як правило, збільшення) строків проведення сукупності транспортно-логістичних технологічних операцій з вантажами в процесі їхнього переміщення, час проведення яких може підпорядковуватися різним законам розподілу. Подією в цьому випадку буде невиконання залізницею строків доставки вантажів, а економічними наслідками – непродуктивні простой рухомого складу і штрафи від невиконання строків доставки.

З метою організації вантажних залізничних перевезень на засадах ризик-орієнтованих технологій і зменшення впливу «людського» фактора в процесах прийняття рішень оперативним і диспетчерським персоналом необхідною умовою є формалізація конкретного технологічного процесу у вигляді оптимізаційної математичної моделі, що адекватно відтворює певну технологічну операцію або технологічний процес у цілому. Цільовою функцією моделі, як правило, виступає сума експлуатаційних витрат на виконання низки технологічних операцій і ризикової складової, що являє собою добуток імовірності виникнення ризику та його наслідків. Система обмежень математичної моделі відображує технічні і технологічні умови проведення технологічних операцій. Часто оптимізаційні математичні моделі використовуються в комплексі з моделлю прогнозування і програмним модулем обробки попередньої статистичної інформації, особливо це стосується технологічних факторів ризику. У цьому випадку оптимізаційні математичні

моделі належать переважно до класу моделей стохастичного програмування.

Сформовані оптимізації математичної моделі є основою для формування системи підтримки прийняття рішень (СППР), які інтегруються на автоматизовані робочі місця (АРМ) оперативного та диспетчерського персоналу станцій, дирекцій залізничних перевезень, регіональних центрів управління рухом поїздів тощо. Ураховуючи різноманітність технологічних операцій у процесі операційної діяльності персоналу, виникає ціла низка завдань з формалізації цих процесів як за масштабами, так і деталізацією, що базується на ризик-орієнтованих технологіях.

У наш час одним з актуальних завдань, що постали перед вантажовідправниками та АТ УЗ, забезпечення просування «зернових», контейнерних та інших поїздів територією України до західних кордонів з країнами ЄС, перетин кордону, просування територією ЄС до портів Гданська, Гамбургу, Роттердама, Констанци тощо і далі морським транспортом до вантажоодержувачів.

При цьому просування контейнерних і «зернових» поїздів мають певні відмінності в процесі формалізації. При просуванні контейнерних поїздів значний вплив має ефект «першої милі». При просуванні «зернових» поїздів цим ефектом можна знехтувати і вважати, що вагони-зерновози завантажуються зерном з одного елеватора, або в процесі транспортування на проміжних станціях до потяга додаються групи вагонів із зерном з інших елеваторів, і формується ступінчастий маршрут відповідно до тягових розрахунків.

Зважаючи на актуальність, сформуємо оптимізаційну математичну модель управління ризиками в процесі перевезення зерна. При цьому будемо спиратися на системний підхід, тобто всі складові транспортно-логістичного ланцюга від елеваторів до зернового терміналу в портах країн ЄС об'єднаємо в єдину систему взаємопов'язаних елементів, які можуть належати різним власникам. Єдналим елементом тут є зерновий потік. Відповідно до цього як розмірність цільової функції оптимізаційної математичної моделі доцільно прийняти грошовий еквівалент, приведений до тонни вантажу (зерна). Фактор ризику будемо розглядати як технологічний.

Перевезення зерна з України за кордон може відбуватися за різними схемами: повагонними партіями, «зерновими», у тому числі ступінчастими маршрутами; перевізником територією України є АТ УЗ, перевізник по країнах ЄС визначається умовами контракту; навантаження на судно може відбуватися за прямим варіантом або через зерновий термінал.

Перевезення зерна повагонними партіями призводить до утворення так званого ефекту «останньої миті» на прикордонно-передавальній станції в Україні, сприяє утворенню значної черги з вагонів-зерновозів при проходженні митного, фітосанітарного контролів і операцій перевантаження у вагони габариту 02-Г, передбачених технологічним процесом. Крім того, повагонні відправлення можуть прямувати на адреси

різних країн усередині ЄС, що ускладнює процес перевезення і збільшує строк доставки.

Тому як найбільш перспективну обрано схему перевезення зерна ступінчастими маршрутами транзитом через країни ЄС до морських портів, де розташовано зернові термінали. Як доводить аналіз, водотоннажність судна-зерновоза коливається в межах 25-50 тис. т. Маса «зернового» потяга коливається в межах 3-3,5 тис. т. Тобто для безперервного завантаження судна необхідно накопичити на терміналі масу зерна, еквівалентну масі 8-17 «зернових» потягів.

При формуванні цільової функції математичної моделі використаємо принцип адаптивності, тобто поступового додавання питомих експлуатаційних витрат, що припадають на тонну зерна за кожним елементом транспортно-логістичного ланцюга. Управляючими змінними моделі доцільно прийняти час  $t$  і кількість вагонів  $n$  у складі «зернового» потяга. Питомі витрати на зберігання зерна у вагонах при накопиченні на технологічний маршрут

$$C_1 = \frac{C_x}{2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^k \left( \frac{q_i}{Q_B} \right)}{\sum_{i=1}^k q_i}, \quad (1)$$

де  $q_i$  – маса зерна, що навантажується на  $i$ -му елеваторі, т;

$k$  – кількість елеваторів, що формують ступінчастий маршрут;

$Q_{B_i}$  – виробнича потужність  $i$ -го елеватора, т/год;

$C_x$  – вартість збереження 1 т зерна у вагонах за одиницю часу, грн/год.

Ураховуючи, що  $q_i = n_i \cdot q_{ст}$ , де  $q_{ст}$  – середнє статнавантаження вагона,  $n_i$  – кількість вагонів, що навантажується на  $i$ -му елеваторі,  $\sum_{i=1}^k n_i = n$ , отримуємо

$$C_1 = \frac{C_x}{2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^k \left( \frac{n_i}{Q_B} \right)}{n}, \quad (2)$$

Питомі витрати вагоно-годин простою при навантаженні «зернового» потяга

$$C_2 = C_B \cdot \frac{\sum_{i=1}^k \left( \frac{n_i^2}{Q_{B_i}} \right)}{n}, \quad (3)$$

де  $C_B$  – грошовий еквівалент однієї години простою вагона, грн/год.

Питомі витрати на переміщення «зернового» потяга на прикордонно-передавальну станцію

$$C_3 = \frac{C_{пгуз} \cdot t_{перуз}}{q_{ст} \cdot n}, \quad (4)$$

де  $C_{пгуз}$  – вартість поїздо-години, грн/год;

$t_{перуз}$  – час прямування на прикордонно-передавальну станцію, год.

Питомі витрати пов'язані з простоєм вагонів із зерном на прикордонно-передавальній станції.

На основі статистичних досліджень часу виконання технологічних операцій з окремими вагонами з зерном на прикордонно-передавальних станціях було доведено, що цей час є випадковою величиною, підпорядкованою нормальному закону розподілу зі щільністю  $f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \exp\left(-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}\right)$ , де  $\bar{t}$  – математичне очікування,  $\sigma$  середнє квадратичне відхилення. Тоді питомі витрати, пов'язані з простоем вагонів із зерном, складуть

$$C_4 = \frac{C_B}{q_{cr} \sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \int_0^{t \leq T_{xp}} t \cdot \exp\left(-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}\right) \cdot dt, \quad (5)$$

де  $T_{xp}$  – час, на який «зерновий» потяг має бути виставлений на колію шириною 1435 мм сусідньої країни ЄС, щоб встигнути потрапити на нитку графіка, надану операторською компанією.

Питомі витрати на тонну зерна, пов'язані з перевезенням «зернового» потяга територіями країн ЄС за наданою ниткою графіка до зернового терміналу у порту  $C_5 \left[ \frac{\text{грош.еквівалент}}{\tau} \right]$ .

Питомі витрати при вивантаженні зерна на терміналах  $C_6 \left[ \frac{\text{грош.еквівалент}}{\tau} \right]$ .

Цільова функція оптимізаційної математичної моделі з урахуванням ризиків має такий вигляд:

$$C(n,t) = \sum_{j=1}^6 C_j(n,t) + H \cdot (C_7 + C_8 + C_9) \Rightarrow \min, \quad (6)$$

де  $H$  – імовірність того, що виникає ризик, при якому зерновий потяг невчасно виставлений з прикордонно-передавальної станції і не встигає на надану нитку графіка по країнах ЄС;

$C_7$  – питомі витрати за нитку графіка по ЄС внаслідок її невикористання;

$C_8$  – питомі додаткові витрати вагоногодин простою внаслідок запізнення на надану нитку графіка по ЄС;

$C_9$  – питомі витрати, які виникають від недовантаження судна або внаслідок його додаткового простою.

Система обмежень математичної моделі

$$\begin{cases} r_1 \leq r_{nl}, \\ t \leq T_{xp}, \\ nq_{cr} \leq F \end{cases} \quad (7)$$

де  $r_1$  пропускна спроможність 1-ї ділянки АТ УЗ при просуванні «зернового» ступінчастого маршруту;  
 $r_{nl}$  – наявна пропускна спроможність 1-ї ділянки;  
 $F$  – максимальна вагова норма потяга на певному напрямку.

Накладена система обмежень урахує технічні і технологічні можливості залізничної інфраструктури і тягового рухомого складу.

Для того щоб транспортно-логістичний ланцюг, формалізований у вигляді формул (6) і (7) надійно функціонував, доцільно виявити найбільш критичні місця в процесі перевезень шляхом аналізу цільової функції (6).

Аналіз цільової функції (6) доводить, що ця функція має екстремум типу мінімум, при цьому цей мінімум досягається при достатньо великих значеннях аргументу  $n$ . Такий аналіз математично доводить доцільність просування великовагових «зернових» потягів через кордони з країнами ЄС транзитом у напрямку портів.

Основним критичним елементом у транспортно-логістичному «зерновому» ланцюзі при кроскордонних перевезеннях є своєчасне виставлення «зернового» потяга з прикордонно-передавальної станції АТ УЗ на колію шириною 1435 мм прикордонної станції країн ЄС у такий час, щоб забезпечити потрапляння потяга на відповідну нитку графіка, наданого операторською компанією. Саме такий підхід обумовлює надання пріоритету при проходженні «зернового» потяга територією України включно з пріоритетним виконанням технологічних операцій на прикордонно-передавальній станції АТ УЗ.

Як доводить проведений статистичний аналіз середньодобового передавання вагонів із зерном через міжнародні переходи України з країнами ЄС, а саме Польщею (Ягодин – Дорогуськ, Ізов – Грубешів, Мостиська-II – Медика), Словаччиною (Чоп – Черна над Тисою), Угорщиною (Чоп – Захонь, Батьово – Еперешке), Румунією (Вадул – Серет, Дяково – Хелмеу), кількість переданих вагонів із зерном відносно загальної кількості переданих вагонів протягом лютого-липня 2023 р. коливається по місяцях у межах від 5 до 79 %, окрім переходу Чоп – Захонь, через який йшло виключно зерно (таблиця).

Таблиця

Розподіл середньодобового передавання вагонів із зерном відносно загальної кількості переданих вагонів по міжнародних переходах і місяцях 2023 р.

Міжнародні переходи	Середньодобове передавання вагонів із зерном відносно загальної кількості переданих вагонів, %					
	Місяці 2023 р.					
	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень
1. Польща	64,1	52,9	9,9	29,3	26,2	37,4
Ягодин-Дорогуськ	14,7	12,7	8,4	8,9	11,9	5,3

Ізов-Грубешів Мостиська-II-Медика	27,8	19,1	9,9	14,2	13,9	16,4
2. Словаччина Чоп-Черна над Тисою	20,6	13,3	10,1	10,3	15,0	20,1
3. Угорщина Чоп-Захонь Батьово-Еперешке	93,3 51,4	98,4 52,8	99,5 32,3	99,1 18,0	98,8 17,0	96,5 12,2
4. Румунія Вадул-Серет Дяково-Хелмеу	78,8 78,6	69,9 63,8	55,0 32,0	38,5 26,2	32,2 39,3	32,7 43,0

Наведені статистичні дані підтверджують можливість надання пріоритету для пропускання «зернових» поїздів через міжнародні переходи (окрім переходу Чоп-Захонь).

Задля автоматизації управління процесом просування «зернових» ступінчастих маршрутів від елеваторів в Україні через міжнародні переходи до портів країн ЄС сформовану математичну модель з використанням ризик-менеджменту доцільно інтегрувати у вигляді СППР на АРМи причетного оперативного і диспетчерського персоналу АТ УЗ та інтермодального «зернового» оператора.

#### Висновки

Відповідно до поставленої мети дослідження в роботі запропоновано напрям розвитку ризик-орієнтованих транспортних технологій при перевезенні вантажів, який базується на логічному ланцюзі фактор ризику – подія – економічні наслідки, фактори ризику поділити на техногенні і технологічні. До техногенних факторів ризику доцільно віднести можливе руйнування елементів залізничної інфраструктури, що може призвести до подій (знищення вантажів, елементів залізничної інфраструктури, рухомого складу, зменшення пропускної спроможності, невиконання строків доставки), а наслідками будуть витрати на відновлення залізничної інфраструктури, навколишнього середовища, рухомого складу, непродуктивні простой, штрафи від невиконання строків доставки вантажів. Технологічний фактор ризику є можливим невиконанням строків проведення сукупності транспортно-логістичних операцій з вантажем у процесі його переміщення, тоді подією буде невиконання строків доставки вантажу, а наслідками – непродуктивні простой рухомого складу і штрафи за невиконання строків доставки.

Спираючись на вищенаведений понятійний апарат, сформовано оптимізаційну математичну модель управління ризиками при кроскордонних перевезеннях зерна ступінчастими маршрутами від елеваторів в Україні до зернових терміналів у портах країн ЄС. Фактор ризику прийнятий як технологічний, цільова функція моделі являє собою суму приведених витрат на одну тонну зерна за всіма елементами транспортно-логістичного ланцюга та ризикової складової. Ризикова складова подана у вигляді добутка імовірності того, що «зерновий» потяг буде невчасно виставлений з прикордонно-передавальної станції АТ УЗ на колію шириною 1435 мм сусідньої

держави і не встигне на надану нитку графіка по ЄС і наслідків такої події. Система обмежень відображує технічні і технологічні можливості залізничної інфраструктури та рухомого складу. Управляючими змінними моделі є час і кількість вагонів у складі «зернового» потяга. Аналіз математичної моделі доводить, що цільова функція має екстремум типу мінімум, який досягається при достатньо великій кількості вагонів у складі потяга, що підтверджує доцільність просування великовагових «зернових» маршрутів при кроскордонних перевезеннях з України до портів ЄС. Основним критичним елементом при кроскордонних перевезеннях зерна є прикордонно-передавальні залізничні станції, де вагони проходять митний і фітосанітарний контролю і відбувається перевантаження зерна у вагони габариту 02-Т на колії шириною 1435 мм. Як довів статистичний аналіз, час перебування вагонів на цих переходах підпорядкований нормальному закону розподілу. З метою зменшення ризику непотрапляння «зернового» потяга на надану нитку графіка руху поїздів у ЄС обґрунтовано можливість надання пріоритету таким потягам різними міжнародними переходами з усіма країнами ЄС. Отже, сформовану математичну модель управління процесом перевезення «зернових» ступінчастих маршрутів при кроскордонних перевезеннях від елеваторів в Україні до морських портів країн ЄС може бути використано як СППР на АРМах оперативного і диспетчерського персоналу АТ УЗ та інтермодальних «зернових» операторів.

#### Список використаних джерел

1. Чехунов Д. М. Формування моделі оцінки ризиків на сортувальній станції при оперуванні вагонами з небезпечними вантажами із використанням математичних апаратів нечіткої логіки та Байєсових мереж. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. № 1. С. 35-41.
2. Cloud Decision Support System for Risk Management in Railway Transportation /Górka. W., Baginski I., Socha M., Steclik T., Lesniak D., Wojtas M., Flisiuk B. and Michalak M. *In Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Software Technologies (IC SOFT – 2019)*. 2019. P. 475-482. DOI: 10.5220./007837904750482.
3. Бутько Т. В., Пархоменко Л. О., Тарасов К. О., Гайдук Д. А. Формалізація процедури надання альтернативного маршруту швидкісним пасажирським поїздам на основі ризик-менеджменту.



*Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2023. № 1. С. 31-37.

4. Lavrukhin O., Koval A., Schevchenko V., Kyman A., Kulova D. Construction of an integrated criterion for estimating the consequences of emergencies involving dangerous goods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2, Issue 3 (98). P. 25-31. DOI: 10.15587/1729-4061. 2019. 163442.

**Butko T. V., Parkhomenko L. O., Artemov Y. M., Lahno O. S. Methods of organizing rail freight transportation based on risk-oriented technologies**

**Abstract.** One of the main ways to increase the competitiveness of railway transport in the freight transportation market is to ensure the reliability of the railway transportation system. In this case, reliability is understood in the context of: cargo and environmental safety during transportation, as well as compliance with the conditions for a certain delivery time. The process of functioning of the railway transportation system is accompanied by the risks of various transportation events, especially during martial law. As you know, the range of goods transported by rail is quite extensive and includes a significant number of dangerous goods that may pose a threat to both the railway infrastructure and the environment and may result in a decrease in throughput and failure to meet the delivery time. Based on the foregoing, it is advisable to rely on risk-oriented technologies in the process of operational activities of personnel in railway transport. To this end, the authors propose the conceptual framework of risk management, and the risk factors are divided into man-made and technological. Such a classification allows, when formalizing technological processes of cargo movement, to develop universal optimization mathematical models that are the basis of decision support systems (DSS) at automated workstations (AWS) of operational and dispatching personnel.

Given that during the period of martial law in Ukraine, the issue of grain transportation by rail in transit through the territory of the EU countries has become particularly relevant, the paper develops an optimization mathematical model using the risk management apparatus, which reflects the process of moving step grain trains from elevators in Ukraine across the western borders to the seaports of the EU where grain terminals are located.

When developing the optimization mathematical model of the functioning of such a transport and logistics chain, it was assumed that the risk factor is technological, i.e., represents the failure to meet the deadlines for a set of technological operations with cargo (grain) in the process of its movement, in which case the event will be the failure to meet the deadlines for the delivery of grain wagons to the terminal to the ports, and the consequence will be additional economic costs.

Given that the unifying link in such a transport and logistics chain is the grain flow, the dimension of the objective function of the optimization mathematical model represents the monetary equivalent reduced to a ton of grain.

The objective function is structured as a sum of terms in the form of grain transportation costs for each element of

the logistics chain, and the risk component is the product of the probability of risk and additional costs. The model's control variables are the time and number of grain wagons. The model's system of constraints reflects the technical and technological conditions of cargo transportation by rail. The analysis of the objective function shows that the most critical element of the transport and logistics chain is the border transfer stations of UZ, where customs and phytosanitary controls take place, and grain is reloaded into 1435 mm gauge wagons with a 02-T weight, which can lead to a grain train being placed on the track of a neighboring country at a time when the provided schedule thread on the EU railways is no longer available. Such an event can lead to significant additional costs. In order to prevent such an event, the article substantiates the possibility of giving priority to the maintenance of "grain" trains when they pass through border transfer stations. To this end, a statistical study was conducted of all railway crossings with all EU countries bordering Ukraine in terms of the average daily transfer of all wagons and cars with grain. At present, such a priority can be given at all crossings, except for the Chop-Zahony (Hungary) crossing, which is used exclusively by grain trains. The formed optimization mathematical model based on risk-oriented technologies is recommended to be integrated into the workstations of operational employees of JSC UZ and the workstation of an intermodal grain operator in the form of an DSS to control the process of grain train movement in an automated mode.

**Keywords:** risk-oriented technologies, freight rail transportation, grain trains, optimization mathematical model, border transfer station, transport and logistics chain.

*Бутко Тетяна Василівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: butko@kart.edu.ua. ID ORCID 0000-0003-1082-599X.*

*Пархоменко Лариса Олексіївна, кандидат технічних наук, кафедра управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: parhomenko@kart.edu.ua. ID ORCID 0000-0003-1647-7746.*

*Артемів Євген Миколайович, аспірант, кафедра управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: Artyomov20@gmail.com. ID ORCID 0009-0004-4846-5904.*

*Лагно Олександра Сергіївна, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: aleksandra.lagno@gmail.com. ID ORCID 0009-0007-3920-7577.*

*Butko Tetiana Vasylivna, Dr.Sc., professor, chief of department, department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport,*

Kharkiv, Ukraine. E-mail: [butko@kart.edu.ua](mailto:butko@kart.edu.ua).  
<https://orcid.org/0000-0003-1082-599X>.

**Parkhomenko Larysa Oleksiivna**, Ph.D., department of  
Management of operational work, Ukrainian State  
University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-  
mail: [parhomenko@kart.edu.ua](mailto:parhomenko@kart.edu.ua). <https://orcid.org/0000-0003-1647-7746>.

**Artemov Yevhen Mykolayovych**, graduate student of  
Management of operational work, Ukrainian State

University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-  
mail: [Artyomov20@gmail.com](mailto:Artyomov20@gmail.com). <https://orcid.org/0009-0004-4846-5904>.

**Lahno Oleksandra Serhiivna**, master student, Ukrainian  
State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.  
E-mail: [aleksandra.lagno@gmail.com](mailto:aleksandra.lagno@gmail.com).  
<https://orcid.org/0009-0007-3920-7577>.