

УДК 656.2

БУТЬКО Т. В., д.т.н., професор,  
ПАРХОМЕНКО Л. О., к.т.н., доцент,  
ТОПЧІЙ А. В., магістрант  
(Український державний університет залізничного транспорту)

## Формалізація технології функціонування сортувальної станції на основі ризик-менеджменту

Сучасні автоматизовані технології оперативного планування та управління роботою сортувальних станцій (СС) мають адекватно відтворювати особливості та умови їх функціонування, зокрема – наявність у структурі вагонопотоків небезпечних та спеціальних вантажів, а також потенційні ризики, обумовлені воєнним станом у країні. Для формування таких технологій запропоновано використання підходів на основі ризик-менеджменту. З урахуванням цього аспекту в дослідженні сформовано оптимізаційну математичну модель за критерієм мінімізації загальних витрат з урахуванням можливих ризиків, пов'язаних з руйнуванням інфраструктури СС та незворотних витрат. Система обмежень представляє інфраструктурні та технологічні обмеження для даної СС. Модель може стати основою для вирішення додаткових задач у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР) на автоматизованих робочих місцях (АРМ) оперативного персоналу та бути інтегрованою в структуру інформаційно-керуючих систем (ІКС) СС.

**Ключові слова:** сортувальна станція, воєнний стан, вагони з небезпечними вантажами, математична оптимізаційна модель, потенційні ризики.

### Постановка проблеми

Сортувальні станції (СС) – це одні з найголовніших та найскладніших елементів системи залізничних вантажних перевезень, тому актуальним питанням постала розробка в сучасних умовах автоматизованих технологій управління роботою СС. На сьогодні розробка такої технології стає можливою за умови переходу до автоматизованих керуючих систем з великою інформаційною базою, що дають можливість розв'язувати складні математичні задачі у реальних умовах, які надають можливість швидко та своєчасно сформулювати алгоритм управління. Крім того, потрібно взяти до уваги, те що СС – складна динамічна система, у процесі роботи якої виникають різні види небезпек, що присутні постійно та можуть виникнути у будь-який момент роботи. Рівень їх зазвичай великий, а наслідки передбачити неможливо. До цих потенційних небезпек відноситься обробка вагонів з небезпечними вантажами (НВ) та спеціальними вантажами (СП).

Воєнний стан у країні в процесі функціонування СС може призвести до руйнувань інфраструктури, яка в подальшому потребує відновлення.

З урахуванням вище наведеного, впливає, що завдання створення концепції безпеки з урахуванням усіх можливих ризиків у сучасних умовах та формалізація цього процесу у вигляді оптимізаційної математичної моделі є актуальною.

### Аналіз досліджень і публікацій

У статті [1] для оперативного управління роботою СС в умовах перевезення вагонів з НВ запропоновано оптимізаційну математичну модель, де як критерій оптимізації використано експозицію ризику. Відповідна система обмежень математичної моделі накладає обмеження щодо кількості поїздів, які одночасно можуть перебувати в парку приймання і парку відправлення і містить у своєму складі вагони з НВ, що можуть нести потенційну небезпеку. У роботі [2] наведено методи, які надають можливість вирішити проблеми усунення наслідків у разі надзвичайних ситуацій, які супроводжуються витокami, розливами та розсипами небезпечних вантажів при їх перевезенні залізничним транспортом. Зроблено висновок про корисність впровадження на залізницях України пожежно-аварійно-рятувальних поїздів замість існуючих пожежних поїздів. У статті [3] висвітлено підхід щодо дослідження наслідків екологічно-небезпечних залізничних транспортних подій з вагонами із небезпечними вантажами. Цей підхід став методологічною основою створення та розвитку СППР керівника оперативної групи з ліквідації наслідків таких подій.

У науковій публікації [4] показано переваги використання даних геоінформаційної системи (ГІС) на залізницях. Дана технологія визначатиме лише відносно розташування вагонів із НВ, визначення погодних та інших умов, однак всі представлені дані визначатимуться лише в момент часу, коли буде здійснюватися те чи інше оцінювання.

© Т. В. Бутко, Л. О. Пархоменко, А. В. Топчій, 2022

Однак, наведені публікації не враховують питання функціонування СС в умовах воєнного стану, що може призвести до руйнувань інфраструктури.

**Формулювання цілей**

Дослідити основні чинники, що впливають на умови функціонування сортувальної станції в період воєнного часу та формалізувати процес роботи СС з урахуванням впливу цих чинників.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

Сортувальна станція є одним із найскладніших елементів залізничної системи з точки зору технології її роботи та безпечного функціонування. Тому в період воєнного часу особливу увагу необхідно приділити питанням підтримки її безпечної роботи. З цією метою було проведено статистичний аналіз основних техніко-експлуатаційних характеристик функціонування однієї із сортувальних станцій. На основі зібраних даних було побудовано діаграми розподілу кількості місцевих вагонів по родах вантажів за період 2020 – 2021 рр., які наведені на рис.1, 2.

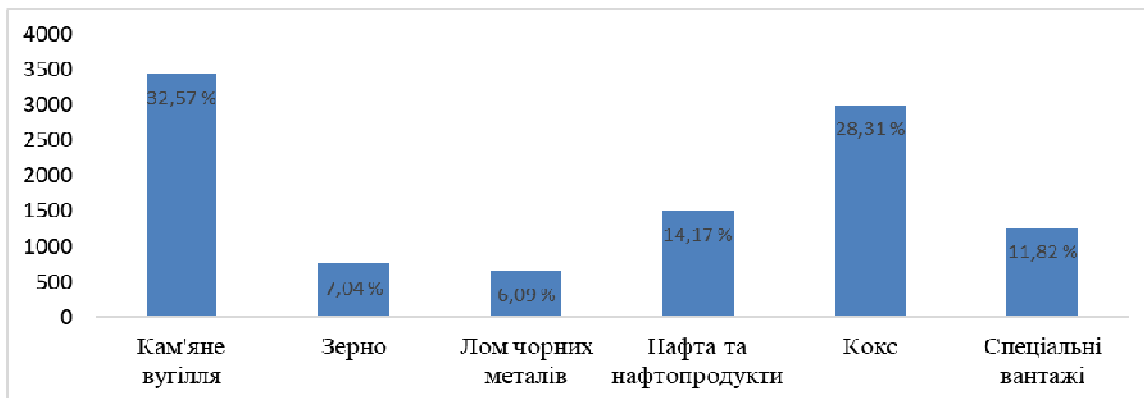


Рис. 1. Діаграма розподілу кількості місцевих вагонів по родах вантажів за 2020 р.

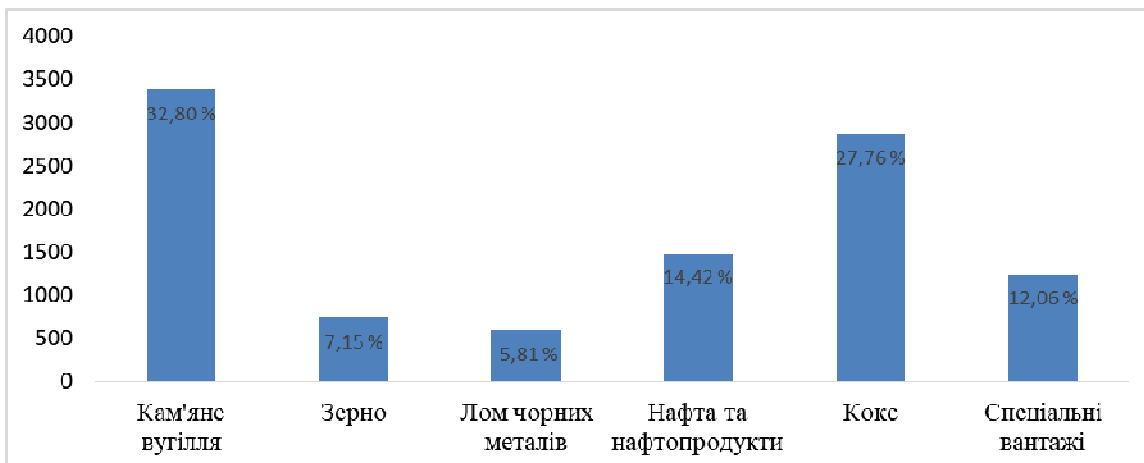


Рис. 2. Діаграма розподілу кількості місцевих вагонів по родах вантажів за 2021 р.

Даний аналіз доводить присутність значної частки вантажів, що мають потенційну небезпеку у розмірі більше ніж 26 %.

Для більш детального аналізу було отримано динаміки розподілу кількості відправлених та прийнятих потягів в середньому за добу по місяцях того самого періоду та оцінено основні параметри:

середнє значення ( $\mu$ ), середнє квадратичне відхилення ( $\sigma$ ) та коефіцієнт нерівномірності ( $K_{н.р.}$ ).

З метою оцінки динамічності роботи станції побудовані відповідні динаміки відправлення та прийняття потягів в середньому за добу, що подані на рис. 3-6.

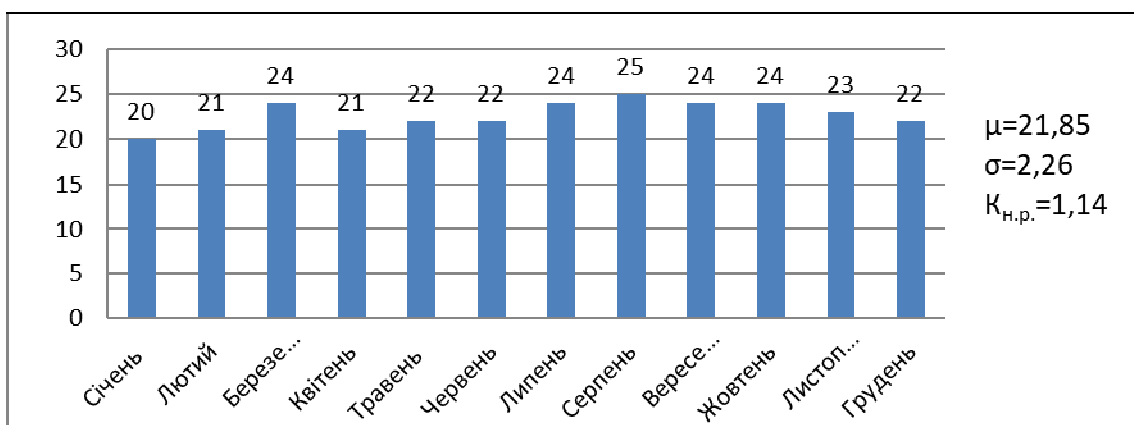


Рис. 3. Динаміка прибуття потягів в середньому за добу протягом 2020 р.

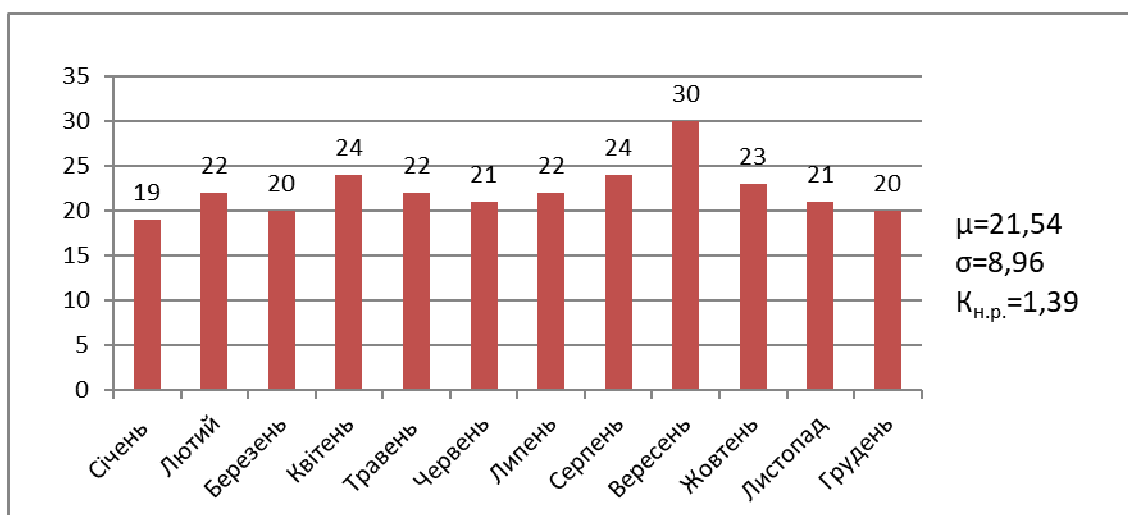


Рис. 4. Динаміка прибуття потягів в середньому за добу протягом 2021 р.

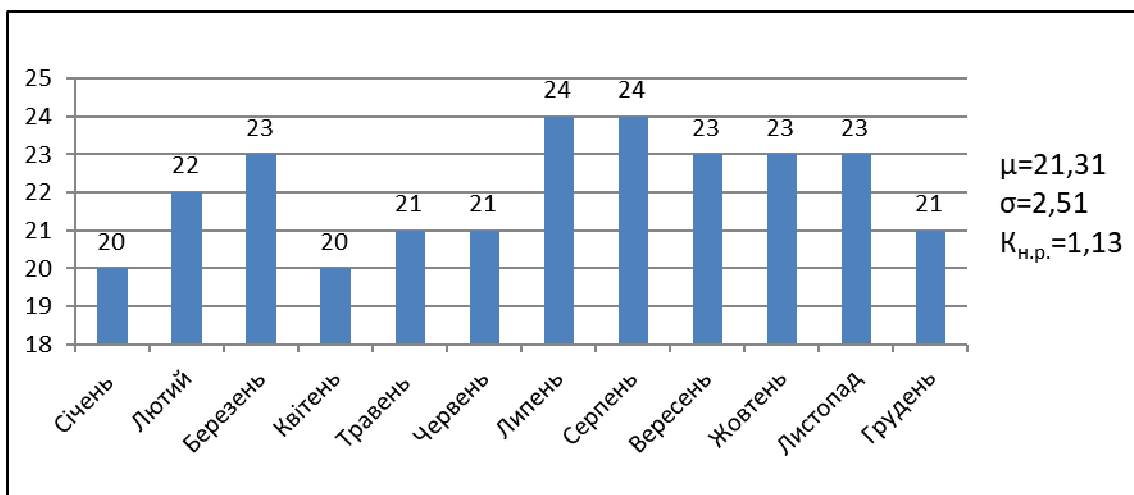


Рис. 5. Динаміка відправлення потягів в середньому за добу протягом 2020 р.

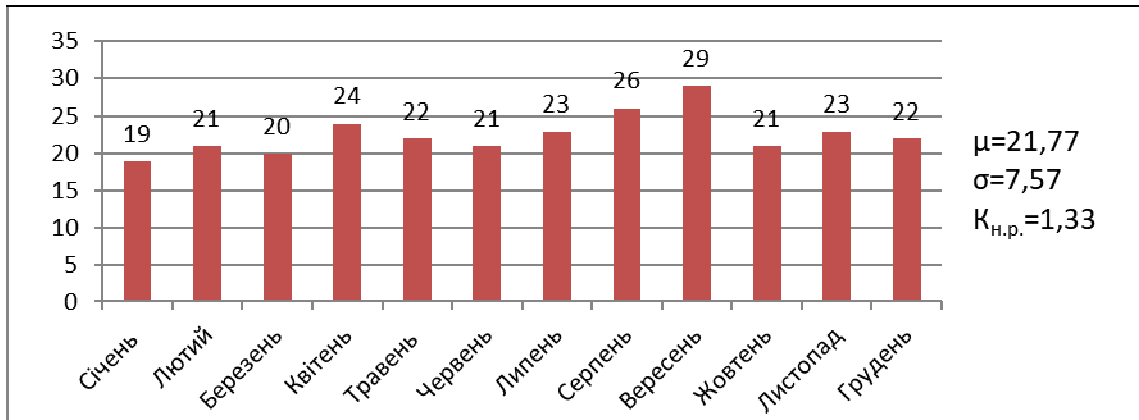


Рис. 6. Динаміка відправлення потягів в середньому за добу протягом 2021 р.

На основі цих даних зроблено висновок, що станція працює в умовах значної нерівномірності, про що свідчить величини коефіцієнту нерівномірності ( $K_{н.р.}$ ) та середнього квадратичного відхилення ( $\sigma$ ), що ускладнює роботу сортувальної станції.

Отже, функціонування СС супроводжується такими факторами, як наявність вагонів із небезпечними вантажами, нерівномірність обсягів

роботи та наявність потенційної небезпеки руйнувань інфраструктури.

З метою формалізації такого складного процесу функціонування СС було запропоновано математичну оптимізаційну модель на основі теорії ризиків. Цільову функцію моделі функціонування СС доцільно записати так:

$$C(n(t), n_{нв}(t), t) = \int_{t_0}^{t \leq t_k} [C_{експ}(n(t)) + C_{дод.ман}(n_{нв}(t))] dt + H(t) \cdot (n(t) \cdot \Delta t \cdot C_{вг} + C_{відн} + C_{незвор.}) \Rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $C(n(t), n_{нв}(t))$  – витрати, грн;

$t_0$  – час початку планового періоду;

$t_k$  – горизонт планування від початку планового періоду  $t \in [t_0; t_k]$ ;

$n(t)$  – кількість вагонів на СС у момент  $t$ ;

$n_{нв}(t)$  – кількість вагонів на СС із небезпечними вантажами в момент  $t$ ;

$H(t)$  – імовірність виникнення потенційної небезпеки;

$\Delta t$  – додатковий простій вагонів, який залежить від місця руйнування СС: або безпосередньо сортувальна гірка, або колії в парку приймання, або колії в парку відправлення;

$C_{експ}(n(t))$  – витрати станції в штатному режимі, грн;

$C_{дод.ман}(n_{нв}(t))$  – витрати на додаткові маневрові операції з вагонами з небезпечними вантажами, грн;

$C_{вг}$  – вартість вагоно-години простою, грн;

$C_{відн}$  – вартість відновлення інфраструктури СС, грн;

$C_{незвор.}$  – вартість незворотних втрат, включно з рухомим складом, грн.

Сформована цільова функція  $C(n(t), n_{нв}(t), t)$  підлягає мінімізації за умови виконання системи обмежень:

$$\left\{ \begin{array}{l} n(t) \leq N_1 - \text{кількість вагонів, які одночасно можуть перебувати в парках приймання та відправлення;} \\ n_{нв}(t) \leq N_2 - \text{кількість вагонів з небезпечними вантажами, які одночасно можуть знаходитись на станційних коліях або витяжках в парках приймання та відправлення;} \\ t_{літ} \leq t_j - \text{умови своєчасного відправлення зі станції літерних поїздів.} \end{array} \right.$$

Розроблена модель адекватно відтворює процеси функціонування СС з урахуванням таких чинників, як наявність вагонів із небезпечними вантажами, динамічність характеру роботи станції та умови воєнного часу.

Для вирішення сформованої оптимізаційної моделі доцільно використовувати апарат генетичних алгоритмів.

### Висновки

Розроблена оптимізаційна модель функціонування сортувальної станції, що адекватно відтворює сучасні умови її функціонування, а саме наявність в структурі вагонів із небезпечними вантажами, динамічність процесу функціонування, що обумовлює нерівномірність в її роботі та можливі потенційні ризики, які обумовлені періодом воєнного стану та можуть призвести до руйнування інфраструктури СС. Запропоновану модель доцільно інтегрувати на АРМі оперативного персоналу у вигляді системи СППР.

### Список використаних джерел

1. Бутько Т. В., Прохоров В. М., Чехунов Д. М. Формалізація технології переробки вагонопотоків із небезпечними вантажами на сортувальній станції на основі експозиції ризику. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. № 2. С. 18–22.
2. Аналіз рекомендованих дій підрозділів залізниці у разі витоків, розливів та розсіпів небезпечних вантажів при їх перевезенні залізничним транспортом / М. Д. Кацман, В. К. Мироненко, М. І. Адаменко, М. М. Горбаха. *Зб. 7 наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства інфраструктури України*. Сер. «Транспортні системи і технології». Київ: ДЕГУТ, 2012. Вип. 21. С. 152–159.
3. Кацман М. Д., Мироненко В. К., Мацюк В. І. Математичні моделі екологічно небезпечних транспортних подій. *Системи обробки інформації*. 2015. Вип. 3 (128). С. 125–131.
4. Bubbico R., Cave, S., Mazzarotta V. Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a GIS approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2004. 17(6). P. 483–488.

**Butko T. V., Parkhomenko L. O., Topchii A. V. Formalization of the marshalling yard function technology based on risk management.**

**Abstract.** Modern automated technologies for operational planning and management of marshalling yards should adequately reproduce the features and conditions of their functioning, in particular, the presence of dangerous and special cargo in the structure of car traffic volume, as well

as potential risks caused by the martial law in the country. For the formation of such technologies, the use of approaches based on risk management is proposed. Taking into account this aspect, the study formed an optimization mathematical model according to the criterion of minimizing the total costs, taking into account the possible risks associated with the destruction of the marshalling yards infrastructure and irreversible costs. The constraint system represents the infrastructure and technology constraints for a given marshalling yard. The model can become the basis for solving additional tasks by means of a decision support system (DSS) at automated workstations (AWS) of operational personnel and be integrated into the structure of information management systems (ICS) of the marshalling yards.

**Key words:** marshalling yard, martial law, wagons with dangerous goods, mathematical optimization model, potential risks.

Надійшла 31.10.2022 р.

**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) ID ORCID 0000-0003-1082-599X

**Parkhomenko Larisa Alekseevna**, 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) ID ORCID 0000-0003-1647-7746

**Topchii Anna Vasyliivna**, master student, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [anyatopchii22@gmail.com](mailto:anyatopchii22@gmail.com) ID ORCID 0000-0002-1080-5457

**Бутько Тетяна Василівна**, д.т.н., професор, завідувач кафедри, кафедра управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [butko@kart.edu.ua](mailto:butko@kart.edu.ua) ID ORCID 0000-0003-1082-599X

**Пархоменко Лариса Олександрівна**, к.т.н., кафедра управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [parhomenko@kart.edu.ua](mailto:parhomenko@kart.edu.ua) ID ORCID 0000-0003-1647-7746

**Топчій Анна Василівна**, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [anyatopchii22@gmail.com](mailto:anyatopchii22@gmail.com) ID ORCID 0000-0002-1080-5457