

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 656.073.2:005.334

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.263-271](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.263-271)

В. В. Аулін¹, проф., д-р техн. наук, **Д. О. Кульова**¹, д-р філос., **В. В. Варваров**², канд. техн. наук
¹Центральнoукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
²Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна
e-mail: AulinVV@gmail.com, d.coolava@gmail.com, varvarov_@ukr.net

Виявлення, аналіз і прогнозування параметрів ризику безвідмовного навантаження готової продукції на транспортно-логістичному терміналі підприємства

Стаття присвячена аналізу та оцінці ризиків безвідмовного навантаження готової продукції на постах навантаження транспортно-логістичного терміналу підприємства. Визначено закони розподілу щільності ймовірностей безвідмовної роботи буферних ємностей зони зберігання вантажів та величину ризику безвідмовного навантаження враховуючи тип продукції, фракційність, спосіб відвантаження. На основі проведеного ранжування величини ризику безвідмовного навантаження побудовано матрицю ризиків для всієї номенклатури готової продукції у розрізі відповідних зон зберігання та постів навантаження транспортно-логістичного терміналу підприємства.

транспортно-логістичний термінал, зона зберігання, пост навантаження, ризик, логістичний процес, готова продукція підприємства

Постановка проблеми. Транспортно-логістичні термінали відіграють важливу роль у забезпеченні ефективного функціонування ланцюгів постачання, виконуючи операції: прийому, зберігання, сортування, навантаження, розвантаження, обробки вантажів та їх транспортування. Крім того, вони забезпечують інформаційне та комерційно-правове обслуговування вантажовласників, перевізників і логістичних посередників, включаючи контроль за переміщенням вантажів, управління документальним супроводом перевезень та регулювання договірних відносин відповідно до нормативно-правових вимог.

Під час роботи транспортно-логістичних терміналів виникають різні види ризиків, спричинені внутрішніми і зовнішніми факторами. До основних загроз належать перевантаження складів, недостатня пропускна спроможність пунктів навантаження (ПН), відмови у навантаженні через технічні, організаційні або логістичні збої, а також простої транспортних засобів через невідповідність між обсягами вантажопотоків і можливостями ПН терміналу. Особливу увагу слід приділити ризикам, що виникають у зонах зберігання (ЗЗ) та ПН, оскільки вони безпосередньо впливають на стабільність, ефективність і надійність роботи терміналу.

При цьому важливим завданням є розробка методів виявлення, аналізу та оцінки ризиків у ЗЗ і ПН транспортно-логістичного терміналу підприємства, що дозволить підвищити ефективність його функціонування та мінімізувати наслідки негативних факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі [1-3] транспортно-логістичні термінали розглядаються як важливий елемент інфраструктури. При цьому забезпечується гнучке управління логістичними процесами та їх ефективна організація. Сучасні дослідження зосереджені на підвищенні ефективності роботи таких терміналів шляхом оптимізації логістичних процесів [4], автоматизації операцій [5, 6], інтеграції інформаційних систем та впровадження цифрових технологій [7], зокрема штучного інтелекту [8].

Однак, поряд із цими змінами, транспортно-логістичні термінали залишаються вразливими до різноманітних ризиків [9, 10], що можуть впливати на стабільність та ефективність їх роботи. Зокрема, недостатньо уваги приділяється аналізу ризиків [11], пов'язаних із ЗЗ та ПН. Це суттєво впливає на безперервну роботу транспортно-логістичних терміналів [12]. Окремим викликом є ризики на етапі відвантаження готової продукції, коли через нестабільність логістичних потоків або обмежену пропускну здатність терміналу можуть виникати відмови у відвантаженні, порушення графіків транспортування та простої транспортних засобів (ТЗ) [13], що веде до матеріальних збитків, порушення договірних зобов'язань між вантажовласниками та перевізниками [14], а також негативно впливає на узгодженість роботи всього ланцюга постачання [15].

Постановка завдання. Метою роботи є виявлення, характеристика та оцінка ризиків, пов'язаних з зонами зберігання та пунктами навантаження транспортно-логістичного терміналу з урахуванням їх впливу на безвідмовність та ефективність логістичних операцій.

Для реалізації поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

1. Визначити номенклатуру готової продукції підприємства, зон зберігання та способів відвантаження у пунктах навантаження транспортно-логістичного терміналу.
2. На основі статистичного аналізу визначити щільність розподілу ймовірностей безвідмовної роботи буферних ємностей ЗЗ готової продукції підприємства.
3. Теоретично обґрунтувати величину ризику безвідмовного навантаження.
4. Провести оцінку ризику безвідмовного навантаження та його складових.

Виклад основного матеріалу. Виробниче підприємство ПАТ «КІРОВОГРАДГРАНІТ» випускає деяку вихідну сукупність видів готової продукції: $ГП = \{K_i, ФП_i, СП_i\}$, де K_i – виробничі концентрати $ФП_i$ – фракційні піски; $СП_i$ – піски для скляної промисловості; $i = \overline{1,3}$. Підприємство має транспортно-логістичний термінал з постами навантаження $ПН_j, j = \overline{1,13}$.

У транспортно-логістичному терміналі відвантаження готової продукції здійснюється двома способами: $s = 1$ – навалом; $s = 2$ – в м'якому контейнері (МКР).

На території підприємства виділено сукупність ЗЗ готової продукції: $ЗЗ = \{ЗЗ_1, ЗЗ_2, ЗЗ_3, ЗЗ_4, ЗЗ_5, ЗЗ_6\}$, де $ЗЗ_1$ – зона зберігання виробничих концентратів; $ЗЗ_2$ – зона зберігання фракціонованого піску в м'якому контейнері (МКР); $ЗЗ_3$ – зона зберігання навалом фракціонованого піску за допомогою силосу; $ЗЗ_4$ – зона зберігання фракціонованого та скляного піску навалом за допомогою споруди – силосу; $ЗЗ_5$ – зона зберігання скляного піску МКР; $ЗЗ_6$ – зона зберігання вологого піску навалом.

На підприємстві готову продукцію відвантажують у спеціально обладнаних місцях – ПН, виходячи з технологічних властивостей та специфіки виробленої продукції, а також способу відвантаження. Зазначене відображено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вироблена готова продукція, зони зберігання, пости навантаження транспортно-логістичного терміналу та способи відвантаження у ПАТ «КІРОВОГРАДГРАНІТ»

Готова продукція підприємства			Зона зберігання	Пости навантаження транспортно-логістичного терміналу												
Тип	Тара	Фракція		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
К1	МКР	-	ЗЗ ₁	+												
	Навал	-	ЗЗ ₁													+
К2	МКР	-	ЗЗ ₁	+												
К3	МКР	-	ЗЗ ₁	+												

Продовження таблиці 1

Готова продукція підприємства			Зона зберігання	Пости навантаження транспортно-логістичного терміналу												
Тип	Тара	Фракція		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Фракціоновані піски	МКР	(-0,2+0,1 мм)	33 ₂		+											
		(-1,2+0,8 мм)	33 ₂		+											
		(-5,5+1,2 мм)	33 ₂		+											
	Навал (сух.)	(-0,2+0,1 мм)	33 ₃				+									
		(-1,2+0,8 мм)	33 ₃				+									
		(-5,5+1,2 мм)	33 ₃				+									
	Навал (вол.)	(-0,2+0,1 мм)	33 ₆													+
(-1,2+0,8 мм)		33 ₆													+	
ФП		(-5,5+1,2 мм)	33 ₆												+	
Скляні піски ВС-050-1	МКР	(-0,2+0,1 мм)	33 ₅										+	+		
	Навал	(-0,2+0,1 мм)	33 ₄					+	+							
Скляні піски С-070-1	МКР	(-0,2+0,1 мм)	33 ₅										+	+		
	Навал	(-0,2+0,1 мм)	33 ₄							+						
Скляні піски ВС-030-В	МКР	(-0,8+0,2 мм)	33 ₅										+	+		
	Навал	(-0,8+0,2 мм)	33 ₄								+	+				

Джерело: розроблено авторами

Номенклатурою відвантаження в зоні зберігання 33₁ є виробничі концентрати К₁, К₂, К₃. Кожна з номенклатур зберігається в бункері ємністю $V = 15\text{ м}^3$, що має певну продуктивність: $\Pi_{н1}$, $\Pi_{н2}$, $\Pi_{н3}$ (швидкість наповнення). Відвантаження готової продукції може здійснюватися в МКР та/або навалом із бункера з концентратами за допомогою конвеєра. Місце навантаження МКР обладнане кран-балкою 2,0 т. Ділянка відвантаження має критий навіс з ПН, де завантаження в ТЗ здійснюється зверху за допомогою кран-балки або конвеєра. Одночасно може відбуватися завантаження одного автомобіля. Час навантаження 1 МКР в ТЗ розраховується, виходячи з часу роботи кран-балки. Час підвезення МКР навантажувачем не перевищує час роботи кран-балки. Продуктивність пакувальної машини становить 30 т/год.

Показники вантажних робіт для різних 33 та ПН транспортно-логістичного терміналу досліджували методом статистичного аналізу. Визначено (табл. 2) щільність розподілу ймовірностей переповнення 33 та призупинення виробництва продукції через відсутність місця її зберігання, а також простій ТЗ через відсутність готової продукції та невиконання договірних зобов'язань щодо її доставки кінцевому споживачеві для більшості позицій номенклатури виробленої продукції.

Показано, що різні варіанти функціонування ПН на транспортно-логістичному терміналі можна описати в термінах і моделях теорії масового обслуговування [16]. При цьому за основу розв'язання задачі береться розімкнена система з обмеженою довгою чергою. Зазначено, що ТЗ на підприємстві завантажуються у відведеній зоні ПН транспортно-логістичного терміналу з можливістю переходу всередині терміналу в інші ПН в залежності від довжини черги. У такій постановці вхідний потік вважається пуассонівський і згідно вимог навантаження готової продукції описується інтенсивністю I , а його обслуговування відбувається на j – ПН транспортно-логістичного терміналу з інтенсивністю I_j . При цьому тривалість завантаження ТЗ має експоненційний закон розподілу.

Таблиця 2 – Щільність розподілу ймовірностей безвідмовної роботи буферних емностей зони зберігання готової продукції підприємства

Номенклатура готової продукції		Щільність ймовірності	
		Перевантаження зон зберігання і зупинки виробництва, через відсутність місця зберігання готової продукції	Простий транспортних засобів через відсутність готової продукції
Концентратори	K1	5*1000*normal (x; 760; 1729)	5*1000* lognorm (x; 5,8; 1)
	K2	8*200* normal (x; 205; 399)	8*200* expon (x; 0,0049)
	K3	7*10*lognorm(x; 4,7; 0,3)	7*10* expon (x; 0,0092)
Фракціонані піски (ФП)	ФП 1 (-5,0 + 1,2 мм)	10*500*expon(x; 0,0016)	0*500* lognorm (x; 5; 1,63)
	ФП2 (-1,2 + 0,8 мм)	13*1000* normal (x; 1083; 2434)	13*1000* lognorm (x; 5; 1,75)
Номенклатура готової продукції		Перевантаження зон зберігання і зупинки виробництва, через відсутність місця зберігання готової продукції	Простий транспортних засобів через відсутність готової продукції
ФП	ФП 3 (-0,2 + 0,1 мм)	31*5000* normal (x; 7465; 17698)	31*5000* lognorm (x; 6; 2)
Піски для скляної промисловості	СП1 (-0,2 + 0,1 мм)	4*10000* normal (x; 67352; 37699)	4*10000* lognorm (x; 11; 0,6)
	СП2 (-0,8 + 0,2 мм)	4*10000* expon (x; 1,5E-5)	31*5000* expon (x; 0,0001)
	СП3 (-0,2 + 0,1 мм)	13*1000* expon (x; 0,0009)	15*1000* expon (x; 0,0013)

Джерело: розроблено авторами

У такому випадку ймовірність простою транспортно-логістичного терміналу визначатиметься формулою:

$$P_0 = \left[1 + \frac{p^1}{1!} + \frac{p^2}{2!} + \dots + \frac{p^n \frac{p}{n} \left(\frac{p}{n}\right)^{l+1}}{1 - \frac{p}{n}} \right]^{-1}, \quad (1)$$

де p – наведена інтенсивність потоку ТЗ під завантаження в транспортно-логістичному терміналі, яка характеризує середню кількість ТЗ, що надходять під завантаження за середній час навантаження одного ТЗ.

Ймовірність відмови у завантаженні визначатиметься з розрахунку ймовірності наявності в системі $(n + 1)$ ТЗ, коли будуть зайняті всі ПН терміналу і всі місця в черзі:

$$P_{\text{відм}} = P_{n+l} = P_0 \frac{p^{l+n}}{n!n!}. \quad (2)$$

Відносна q та абсолютна a пропускні спроможності ПН терміналу будуть визначатися через наступні співвідношення:

$$q = 1 - P_{\text{відм}}; a = q\lambda, \quad (3)$$

а середня кількість постів, зайнятих навантаженням у транспортно-логістичному терміналі дорівнює:

$$Z = a/v. \quad (4)$$

Позначивши $\frac{p}{n} = \chi$ можна отримати вираз для середньої кількості ТЗ у черзі під завантаження:

$$\bar{r} = \frac{p^{n+1} p_0}{n-n!} \frac{(l+1)\chi^l + l\chi^{l+1}}{(1-\chi)^2}. \quad (5)$$

Середня кількість ТЗ під завантаження, середній час очікування та середній час процесу завантаження автомобіля оцінюються за виразами :

$$\bar{k} = \bar{r} + z, \bar{t}_{оч} = \bar{r}/\lambda, \bar{t}_{сер} = t_{оч} + t_{обсл}. \quad (6)$$

Безвідмовну роботу ПН розглянемо як подію S_1 з ймовірністю настання $P(r)$. Простій системи вантажних постів терміналу за відсутності ТЗ під завантаження позначимо через подію S_2 , з ймовірністю настання події $P_{відм}$. Зайнятість ТЗ всіх ПН транспортно-логістичного терміналу розглядаємо через подію S_3 , з ймовірністю появи $P_{відм}$. При цьому маємо можливість розрахувати ймовірність безвідмовної роботи системи навантаження готової продукції підприємства (транспортно-логістичного терміналу).

Результуюча сума ймовірності $P_{рез}$ трьох зазначених подій S_1, S_2, S_3 визначатиметься з наступного співвідношення:

$$P_{рез} = P(\sum_{i=1}^3 S_i) = \sum_i P(S_i) - \sum_{i,j} P(S_i S_j) + \sum_{i,j,k} P(S_i S_j S_k). \quad (7)$$

Таким чином, величина ризику безвідмовного навантаження $R_{бн}$ готової продукції на ПН у транспортно-логістичному терміналі визначається співвідношенням:

$$R_{бн} = R_{бє} + R_{прс} + R_{вз}, \quad (8)$$

де $R_{бє}$ – ризик безвідмовної роботи буферної ємності ПН готової продукції терміналу підприємства ($R_{бє} = R_{пс} + R_{птз}$, де ризик переповнення складу $R_{пс}$ через відсутність місця зберігання; ризик простою ТЗ $R_{птз}$ через відсутність готової продукції); $R_{прс}$ – ризик простою системи ПН терміналу за відсутності ТЗ під завантаження; $R_{вз}$ – ризик відмови у завантаженні (зайнятість ТЗ всіх ПН терміналу).

Величина ризику безвідмовного навантаження готової продукції на ПН транспортно-логістичного терміналу підприємства визначається наступними складовими:

$$R_{бн} = R_{пс} + R_{птз} + R_{прс} + R_{вз}. \quad (9)$$

Кожна із зазначених складових ризику є математичним очікуванням відповідної шкоди для певної ЗЗ та ПН готової продукції терміналу підприємства (таблиця 3, рисунок 1-3).

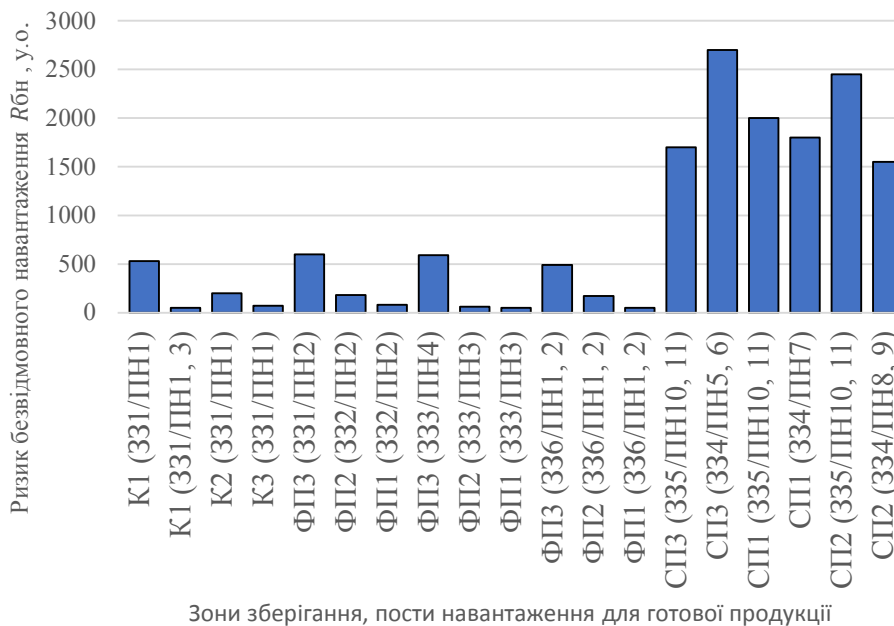
Таблиця 3 – Оцінка величини ризику безвідмовного навантаження готової продукції на постах навантаження транспортно-логістичного терміналу підприємства

Продукція			Зона зберігання/ ПН	Ризик безвідмовної роботи буферної ємності ПН $R_{бє}$ у.о.		Ризик простою системи ПН $R_{прс}$, у.о.	Ризик відмови в завантаженні $R_{вз}$, у.о.	Ризик безвідмовного навантаження готової продукції $R_{бн}$, у.о.
Тип	Тара	Фракція		$R_{пс}$	$R_{птз}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
К1	МКР	-	33 ₁ /ПН ₁	313,6	262,4	44,8	19,2	640,0
	Навал		33 ₁ /ПН _{1,3}	7,1	4,8	11,2	10,9	34,0
К2	МКР	-	33 ₁ /ПН ₁	163,5	11,0	33,1	13,3	220,9
К3	МКР	-	33 ₁ /ПН ₁	34,0	4,9	12,2	9,7	60,8
ФП	МКР	(-0,2+0,1 мм)	33 ₂ /ПН ₂	234,0	222,0	54,0	90,0	600,0

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фракціоновані піски	МКР	(-1,2+0,8 мм)	332/ПН2	68,3	28,0	33,3	45,5	175,0
		(-5,0+1,2 мм)	332/ПН2	25,2	16,1	19,6	9,1	70,0
	Навал (сух.)	(-0,2+0,1 мм)	333/ПН4	258,0	108,0	132,0	102,0	600,0
		(-1,2+0,8 мм)	333/ПН3	22,4	2,8	4,4	10,4	40,0
		(-5,0+1,2 мм)	333/ПН3	7,5	6,9	6,3	9,3	30,0
	Навал (вол.)	(-0,2+0,1 мм)	336/ПН1,2	239,7	24,0	52,7	163,0	479,4
		(-1,2+0,8 мм)	336/ПН1,2	87,3	46,3	37,4	7,1	178,1
		(-5,0+1,2 мм)	336/ПН1,2	3,7	15,7	12,4	9,5	41,4
	Скляні піски ВС-050-1	МКР	(-0,2+0,1 мм)	335/ПН10,11	840,0	218,4	117,6	504,0
Навал		(-0,2+0,1 мм)	334/ПН5,6	886,0	590,6	214,8	993,4	2684,8
Скляні піски С-070-1	МКР	(-0,2+0,1 мм)	335/ПН10,11	944,5	401,9	120,6	542,6	2009,6
	Навал	(-0,2+0,1 мм)	334/ПН7	1171,8	226,8	226,8	264,6	1890,0
Скляні піски ВС030-В-	МКР	(-0,8+0,2 мм)	335/ПН10,11	813,1	961,0	394,2	295,7	2464,0
	Навал	(-0,8+0,2 мм)	334/ПН8,9	281,3	625,2	31,3	625,2	1563,0

Джерело: розроблено авторами



Зони зберігання, пости навантаження для готової продукції

Рисунок 1 – Ризики безвідмовного навантаження для відповідних зон зберігання та постів навантаження готової продукції у транспортно-логістичному терміналі підприємства ПАТ «КІРОВОГРАДГРАНІТ»

Джерело: розроблено авторами

На підставі оцінок ймовірностей виникнення ризиків та рівня впливу (в об'ємному та вартісному еквіваленті) на процеси вантажних робіт була побудована матриця ризиків безвідмовного навантаження для всієї номенклатури виробленої продукції у розрізі відповідних ЗЗ та ПН транспортно-логістичного терміналу підприємства (рис. 3).

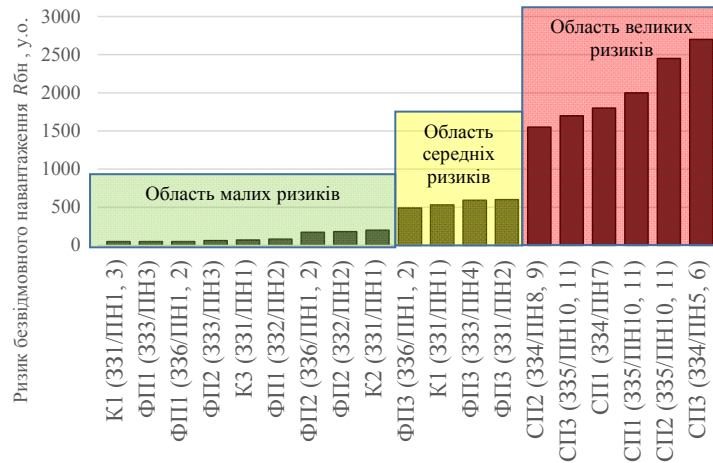


Рисунок 2 – Ранжований ряд ризиків безвідмовного навантаження для відповідних зон зберігання та постів навантаження готової продукції у транспортно-логістичному терміналі підприємства ПАТ «КІРОВОГРАДГРАНІТ»

Джерело: розроблено авторами

[80; 100]			(СП ₂) 33 ₄ /ПН _{8,9}		(СП ₃) 33 ₄ /ПН _{5,6} (СП ₂) 33 ₅ /ПН _{10,11}
[60;80]		(ФП ₃) 33 ₁ /ПН ₂	(К ₁) 33 ₁ /ПН ₁	(СП ₁) 33 ₅ /ПН _{10,11}	(СП ₁) 33 ₄ /ПН ₇ (СП ₃) 33 ₅ /ПН _{10,11}
[40;60]	(ФП ₂) 33 ₂ /ПН ₂ (ФП ₂) 33 ₃ /ПН ₃	(К ₃) 33 ₁ /ПН ₁ (ФП ₁) 33 ₂ /ПН ₂		(ФП ₃) 33 ₃ /ПН ₄	
[20;40]	(ФП ₂) 33 ₆ /ПН _{1,2}	(ФП ₁) 33 ₂ /ПН ₂ (ФП ₁) 33 ₆ /ПН _{1,2}	(ФП ₃) 33 ₆ /ПН _{1,2}		
[0;20]		(ФП ₁) 33 ₃ /ПН ₃ (К ₁) 33 ₁ /ПН _{1,3}	(К ₂) 33 ₁ /ПН ₁		
Вплив Ймовірність	[0;20]	[20;40]	[40;60]	[60;80]	[80; 100]

Рисунок 3 – Матриця ризиків безвідмовного навантаження для відповідних зон зберігання та постів навантаження готової продукції у транспортно-логістичному терміналі підприємства ПАТ «КІРОВОГРАДГРАНІТ»

Джерело: розроблено авторами

Таким чином, в результаті проведених досліджень техніко-технологічних показників зон зберігання та пунктів навантаження готової продукції транспортно-логістичного терміналу підприємства методом найменших квадратів були визначені для кожної зони взаємозв'язку часу завантаження одного ТЗ від швидкості завантаження, що дозволили реалізувати на постах навантаження ефективно та неефективно завантаження продукції у ТЗ.

Висновки.

1. Визначено номенклатуру готової продукції підприємства, з відповідними зонами зберігання, відвантаження якої здійснюється навалом і в м'якому контейнері у пунктах навантаження. Враховано технологічні властивості та специфіку даних

вантажів, а також способи відвантаження з метою ефективної роботи транспортно-логістичного терміналу.

2. На основі статистичного аналізу бази даних визначено закони розподілу щільності ймовірностей безвідмовної роботи буферних ємностей зони зберігання готової продукції підприємства.

3. Дано теоретичне обґрунтування ризику безвідмовного навантаження та його складових, використовуючи теорію масового обслуговування, а саме: $R_{\delta c}$ – ризик безвідмовної роботи буферної ємності пункту навантаження готової продукції терміналу підприємства; R_{nc} – ризик переповнення складу через відсутність місця зберігання; R_{ntz} – ризик простою транспортного засобу через відсутність готової продукції; R_{npc} – ризик простою системи поста навантаження терміналу за відсутності транспортного засобу під завантаження; R_{rs} – ризик відмови у завантаженні (зайнятість транспортних засобів всіх постів навантаження терміналу).

4. Визначено величину ризику безвідмовного навантаження готової продукції на постах навантаження транспортно-логістичного терміналу підприємства, враховуючи тип продукції, фракційність, спосіб відвантаження, різні зони зберігання і пости навантаження.

5. Проведено ранжування величини ризику безвідмовного навантаження для відповідних зон зберігання та постів навантаження готової продукції у транспортно-логістичному терміналі з визначенням областей малих, середніх та великих ризиків.

6. Побудовано матрицю ризиків безвідмовного навантаження для всієї номенклатури виробленої продукції у розрізі відповідних зон зберігання та постів навантаження транспортно-логістичного терміналу підприємства.

Список літератури

1. Цимбал С. В. Мельник Р. В. Логістика терміналів (терміналістика) як один з перспективних напрямів розвитку логістики. *Вісник ВПІ*. 2024. Вип. 5 (176). С. 84–91. DOI: 10.31649/1997-9266-2024-176-5-84-91.
2. Харченко М.В. Транспортно-логістична інфраструктура та її місце в соціально-економічній системі підприємств України. *Економічний простір*. 2020. № 153. С. 83-88. DOI: 10.32782/2224-6282/153-15.
3. Решетнікова О. В., Даниленко В. І., Боровик Т. В. Роль логістичного менеджменту та маркетингу у сфері надання логістичних послуг. *Економічний простір*. 2020. Вип. 156. С. 151-154. DOI: 10.32782/2224-6282/156-27.
4. Пасічник А.М. Алгоритм побудови та оптимізації регіональної мережі транспортно-логістичних комплексів. *Математичне моделювання*. 2023. № 2(49). С. 156-164. DOI: 10.31319/2519-8106.2(49)2023.293184.
5. Савицький Е.Е. Вплив оптимізації логістичних процесів на ефективність комерційної діяльності підприємства. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 52. С. 125-131. DOI: 10.32782/2524-0072/2023-52-47.
6. Аулін В.В., Тищенко С.Ю., Гриньків А.В. Інноваційні рішення в складській логістиці. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 10(41), ч. I. 2024. С. 270-285.
7. Головіна О. Сучасні технології в управлінні транспортною логістикою. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*. 2023. Vol. 2, No. 3. P. 35-42. doi: 10.46299/ij.isjmfef.202302023.04
8. Albrecht T., Baier M.-S., Gimpel H., Meierhöfer S., Röglinger M., Schlüchtermann J., Will L. Leveraging Digital Technologies in Logistics 4.0: Insights on Affordances from Intralogistics Processes. *Information Systems Frontiers*. 2024. Volume 26. P. 755–774. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10796-023-10394-6>
9. Singhal P., Agarwal G., Mittal M. L. Supply Chain Risk Management: Review, Classification and Future Research Directions. *Int. Journal of Business Science and Applied Management*. 2011. Volume 6, Issue 3. P. 14-42.
10. Аулін В.В., Кульова Д.О., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Оцінювання ризиків несхоронних перевезень нафтопродуктів автомобільним транспортом. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 10(41), ч. II, С. 205-213. DOI: 10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.205-213.
11. Кульова Д.О. Застосування концептуального підходу ризик-менеджменту в сфері безпеки руху на транспорті. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 10(41), ч. I. С. 261-269. DOI: 10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.261-269.
12. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем: монографія / під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. 503 с.
13. Янчук М. Б., Пронь С. В., Федина В. П., Чередищенко К. В. Науково-методичні підходи до управління транспортними ризиками мультимодальних вантажних перевезень. *БізнесІнформ*. 2021. №2. С. 200-209.
14. Науково-технічні дослідження у галузі транспорту: колективна монографія / за заг. ред. Д.В. Ломотька. Академія технічних наук України. Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. 2022. Т2. 216 с.
15. Лыченко Н.Б. Логістичні стратегії в торгівлі : монографія. К. : Київ. нац. торг. екон. ун-т. 2016. 432 с.
16. Zhenyu G. Queuing Theory in Modern Technology, Areas Covered, and Challenges. *Highlights in Science*,

References

1. Tsymbal, S. V., & Melnyk, R. V. (2024). Logistics of terminals (terminalistics) as one of the promising directions of logistics development. *Visnyk VPI*, 5(176), 84–91. 10.31649/1997-9266-2024-176-5-84-91. [in Ukrainian].
2. Kharchenko, M. V. (2020). Transport and logistics infrastructure and its place in the socio-economic system of enterprises in Ukraine. *Economic Space*, 153, 83–88. doi.org/10.32782/2224-6282/153-15. [in Ukrainian].
3. Reshetnikova, O. V., Danylenko, V. I., & Borovyk, T. V. (2020). The role of logistics management and marketing in the provision of logistics services. *Economic Space*, 156, 151–154. 10.32782/2224-6282/156-27. [in Ukrainian].
4. Pasichnyk, A. M. (2023). Algorithm for building and optimizing the regional network of transport and logistics complexes. *Mathematical Modeling*, 2(49), 156–164. 10.31319/2519-8106.2(49)2023.293184. [in Ukrainian].
5. Savytskyi, E. E. (2023). The impact of optimizing logistics processes on the efficiency of a company's commercial activities. *Economy and Society*, 52, 125–131. 10.32782/2524-0072/2023-52-47. [in Ukrainian].
6. Aulin, V. V., Tyshchenko, S. Yu., & Hrynykiv, A. V. (2024). Innovative solutions in warehouse logistics. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 10(41), Part I, 270–285. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.270-285. [in Ukrainian].
7. Holovina, O. (2023). Modern technologies in transport logistics management. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*, 2(3), 35–42. 10.46299/j.isjmef.202302023.04. [in Ukrainian].
8. Albrecht, T., Baier, M.-S., Gimpel, H., Meierhöfer, S., Röglinger, M., Schlüchtermann, J., & Will, L. (2024). Leveraging digital technologies in logistics 4.0: Insights on affordances from intralogistics processes. *Information Systems Frontiers*, 26, 755–774. https://doi.org/10.1007/s10796-023-10394-6.
9. Singhal, P., Agarwal, G., & Mittal, M. L. (2011). Supply chain risk management: Review, classification and future research directions. *International Journal of Business Science and Applied Management*, 6(3), 14–42.
10. Aulin, V. V., Kulova, D. O., Hrynykiv, A. V., & Lysenko, S. V. (2024). Risk assessment of unsecured transportation of petroleum products by road. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 10(41), Part II, 205–213. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.205-213. [in Ukrainian].
11. Kulova, D. O. (2024). Application of the conceptual risk management approach in the field of transport safety. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 10(41), Part I, 261–269. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.261-269. [in Ukrainian].
12. Aulin, V. V. (Ed.). (2021). *Theoretical and methodological foundations of logistics of transport and production systems*. Kropyvnytskyi: Publisher Lysenko V. F. [in Ukrainian].
13. Yanchuk, M. B., Pron, S. V., Fedyna, V. P., & Cherednichenko, K. V. (2021). Scientific and methodological approaches to transport risk management in multimodal freight transport. *Business Inform*, 2, 200–209. [in Ukrainian].
14. Lomotko, D. V. (Ed.). (2022). *Scientific and technical research in the field of transport (Vol. 2)*. Ivano-Frankivsk: Academy of Technical Sciences of Ukraine. [in Ukrainian].
15. Ilchenko, N. B. (2016). *Logistics strategies in trade*. Kyiv: KNU of Trade and Economics. [in Ukrainian].
16. Zhenyu, G. (2024). Queuing theory in modern technology, areas covered, and challenges. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 120, 26–34.

Viktor Aulin¹, Prof., Dr. tech. sci., **Daria Kulova**¹, Ph.D tech. sci., **Valerii Varvarov**², PhD tech. sci.

¹*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

²*Kharkiv National Ivan Kozhedub Air Force University, Kharkiv, Ukraine*

Identification, Analysis, and Forecasting of Failure-Free Loading Risk Parameters for Finished Products at a Transport and Logistics Terminal

The study is focused on summarizing and analyzing the results obtained in the assessment of failure-free loading risks of finished products at the loading points of a transport and logistics terminal. The nomenclature of finished products and their corresponding storage zones was identified, considering the technological properties and specific characteristics of these cargoes to enhance the efficiency of terminal operations.

The research established probability density distribution laws for the reliable operation of buffer storage tanks based on statistical analysis. A theoretical justification for failure-free loading risks and their components was developed using queuing theory. The main risks identified include the failure-free operation risk of buffer storage tanks, warehouse overflow due to the lack of storage space, vehicle downtime due to product unavailability, loading post system downtime due to the absence of a vehicle, and refusal to load due to full capacity at all terminal loading points.

To quantify failure-free loading risks, factors such as product type, fractionality, loading method, and storage zones were considered. A ranking of risk levels was conducted, classifying loading risks into low, medium, and high categories. Based on these findings, a risk matrix was developed for the entire range of finished products, segmented by storage zones and loading points within the transport and logistics terminal. The study provides a systematic approach to assessing and classifying failure-free loading risks, allowing for the identification of critical areas that require optimization. The developed risk matrix enables effective decision-making for optimizing loading processes, reducing downtime, and enhancing the stability of logistics operations.

transport and logistics terminal, storage zone, loading post, risk, logistics process, finished products of the enterprise

Одержано (Received) 14.03.2025

Прорецензовано (Reviewed) 18.03.2025

Прийнято до друку (Approved) 21.03.2025