

УДК 656.073.7

О. В. ЗАРУБА^{1*}, А. М. ОКороков^{2*}

^{1*} Каф. «Транспортні системи та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373-15-70, ел. пошта zarukr@ukr.net, ORCID 0009-0004-5129-9660

^{2*} Каф. «Транспортні системи та логістика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373-15-70, ел. пошта a.m.okorokov@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-3111-5519

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МАРШРУТАМИ

Мета. В умовах повномасштабної війни забезпечення стабільного функціонування національної економіки є однією із стратегічних задач. Функціонування промислового комплексу, наявність робочих місць та сплата податків до державного бюджету є, в тому числі, часткою забезпечення обороноздатності країни. Однією з основних галузей економіки України є металургійна промисловість, отже вона потребує впровадження заходів із забезпечення надійної та стабільної роботи навіть в умовах військової агресії, постійних ризиків нанесення повітряних ударів та пошкодження інфраструктури. Відповідно до цього, метою дослідження є проведення аналізу та визначення структури вантажопотоків технологічних маршрутів транспортного обслуговування металургійного виробництва (на прикладі ПАО «Запоріжсталь»). Досліджено динаміку обсягів перевезення залізної руди (залізорудного концентрату) та коксівного вугілля (коксу) за видами транспорту. Досліджено нерівномірність та виконати описову статистику добових обсягів перевезення залізної руди (залізорудного концентрату) та коксівного вугілля (коксу) для металургійного виробництва (на прикладі ПАО «Запоріжсталь»). **Методи.** Проведено аналіз нерівномірності добових обсягів надходження вантажів на потреби металургійного підприємства (на прикладі ПАО «Запоріжсталь») технологічними маршрутами залізничного транспорту. Використано методи математичної статистики, теорії імовірності, теорії транспортних процесів та систем. В результаті проведеного аналізу вантажопотоків, що надходять на підприємство встановлено, що розподіл добового обсягу прибуття залізної руди до станції Запоріжжя Лівє підпорядковано симетричним законам розподілу із відносно низькою варіацією 18,4 %. Розподіл випадкової величини добових обсягів надходження коксу також вказує на певну симетричність з достатньо високою імовірністю (59%), і апроксимується нормальним розподілом. **Наукова новизна.** В результаті проведених досліджень було встановлено, що апроксимована щільність розподілу обсягів надходження залізної руди (залізорудного концентрату) та коксівного вугілля (коксу) до металургійного виробництва (на прикладі ПАО «Запоріжсталь» за 2022 рік). **Практична значимість.** Встановлені математичне сподівання та рівень кореляції обсягів надходження залізної руди (залізорудного концентрату) та коксівного вугілля (коксу) до металургійного виробництва (на прикладі ПАО «Запоріжсталь» за 2022 рік). В подальшому одержані результати планується використати в якості вихідних даних до імітаційної моделі функціонування системи транспортного забезпечення промислового підприємства.

Ключові слова: технологічні маршрути, металургійне виробництво, перевезення залізної руди, перевезення вугілля, щільність розподілу імовірності.

Вступ

На сьогодні металургійна промисловість України є однією з економікоутворюючих галузей. Металургія України складає 35,1 % у структурі промислового виробництва України і має безпосередній вплив майже на 34,3 % промисловості світу.

Станом на кінець 2021 року на частку металургійної промисловості в Україні припадало більше 38 % ВВП країни, промислового виробництва металопрокату та виробів з металів – 27,3 %. Частка експорту гірничо-видобувної та переробної промисловості чорних металів становила – 34,2 %.

Україна входить до одинадцяти країн світу, що мають підтверджені запаси більше 3 млрд тонн руди чорних металів. За даними звіту 2020 року Геологічної служби США (USGS) Україна посідає 5-е місце в світі за покладами залізних руд та 7-е місце за обсягами їх видобутку [1].

На сьогодні головними пунктами зародження вантажної маси залізної руди та похідних від цієї корисної копалини є регіон Криворізького та Горішне-Плавнинського залізорудних басейнів. За даними АТ «Укрзалізниця» найбільше відвантаження залізної руди припадає саме на Придніпровську та Південну залізницю, які у більшості й обслуговують зазначений вантажопотік.

Мета дослідження

Метою дослідження є проведення аналізу та визначення структури вантажопотоків технологічних маршрутів транспортного обслуговування металургійного виробництва (на прикладі ПАО «Запоріжсталь»). Для досягнення мети необхідно:

1. Дослідити динаміку обсягів перевезення залізної руди (залізородного концентрату) та коксівного вугілля (коксу) за видами транспорту.
2. Дослідити нерівномірність та виконати описову статистику добових обсягів перевезення залізної руди (залізородного концентрату) та коксівного вугілля (коксу) для металургійного виробництва (на прикладі ПАО «Запоріжсталь»).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання маршрутизації перевезень на залізничному транспорті має глибоку історію, цьому питанню присвячені праці багатьох видатних вчених як в Україні, так і за кордоном [2, 3].

Так М. Копилов, у своїй праці [4], виділив поняття маршрутизації як синонім оптимальності, зазначаючи, що це є найбільш ефективною як з економічної, так і технологічної точки зору технологією організації перевезення вагонопотоків залізничним транспортом.

У дослідженні [5], авторами було визначено, що одним із ефективних напрямків розвитку АТ «Укрзалізниця», що сприяє її інвестиційній привабливості, є маршрутизація перевезень. Відмічено, що маршрутизація широко використовується як у нашій країні, так і за кордоном, та підвищує ефективність роботи залізничного транспорту, зокрема через зменшення експлуатаційних витрат. Проте, слід зазначити, що автори розглянули виключно економічний аспект функціонування залізничного транспорту при організації маршрутних перевезень, й не надали належної уваги технологічній складовій та ряду проблемних питань, що заважають реалізації маршрутизації, зокрема таким, як нестача тягового рухомого складу.

В роботі [6] виконано дослідження проблем функціонування залізничних під'їзних колій України в сучасних умовах, де відзначено, що наявна система організації постачання сировини та взаємодії між магістральним транспортом та під'їзними коліями негативно відбивається на ефективності функціонування останніх. Однак, в даному дослідженні автор був зосереджений на питаннях проблематики функціонування під'їзних колій, та не взяв до уваги технологію

підведення вантажів до під'їзної колії – маршрутами чи у вигляді окремих передач, що також впливає на роботу під'їзної колії.

У [7] автори розглянули питання організації технологічних маршрутів для перевезення трубої заготовки між підприємствами циклу виготовлення труб. Було розглянуто систему організації перевізного процесу, тарифікацію перевезення та розрахунок потрібної кількості рухомого складу для організації перевезення. Автори довели, що застосування технологічних маршрутів замість групових відправок дає можливість скоротити оберти вагону та обсяги маневрової роботи на під'їзних коліях. Проте, дослідження авторів не враховує технологічних аспектів організації технологічного маршруту, а крім того, натепер вже відсутнє тарифне стимулювання маршрутизації.

О. Науменко у [8] запропонував з метою підвищення ефективності перевезення маршрутів з вугіллям організувати роботу власного перевізника, який би задовольняв потреби в перевезеннях всередині вугільно-паливного комплексу.

Таким чином, виходячи із зазначеного, можна зробити висновок, що питання організації маршрутизації, зокрема і технологічних маршрутів було і залишається актуальним.

Основний матеріал дослідження

За прогнозними даними найбільшого виробника та експортера окатишів компанії Fergexro обсяг виробництва залізородного концентрату збільшиться до 2030 року до 20 млн тонн на рік. За іншими даними іноземні компанії активно шукають шляхи розвитку видобувної та збагачувальної галузей промисловості із залученням мільярдних інвестицій у вітчизняну промисловість. Розглядаються навіть проекти відбудови спеціалізованих залізничних ліній, сполученням із морськими торговельними портами «Великої Одеси».

За офіційними даними державної служби статистики України [9] саме на залізничний транспорт припадає більший обсяг перевезених вантажів металургійної промисловості (рис. 1).

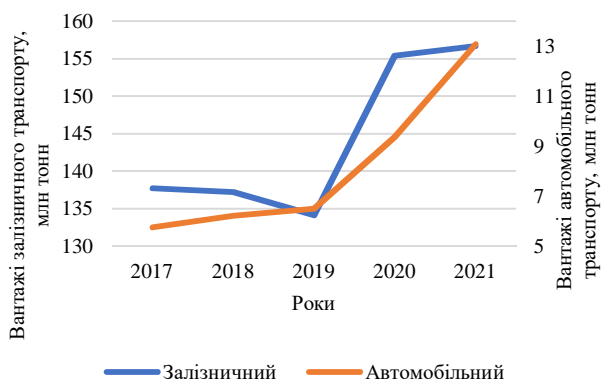


Рис. 1. Динаміка обсягу перевезення вантажів металургійної промисловості залізничного та автомобільного транспорту

В структурі залізничних вантажних перевезень частка вантажів металургійної та видобувної галузей промисловості продовжує займати ключові місця. За статистичними даними станом на початок 2022 року обсяг зазначених вантажів у загальному обсязі перевезення становив відповідно (рис. 2, 3):

- вугілля, кокс – 55,2 млн тонн;
- руди залізної і марганцевої – 77,6 млн тонн;
- чорний метал, брухт чорних металів – 23,9 млн тонн,
- що в загальній структурі становило близько 50% від перевезених вантажів по залізниці.

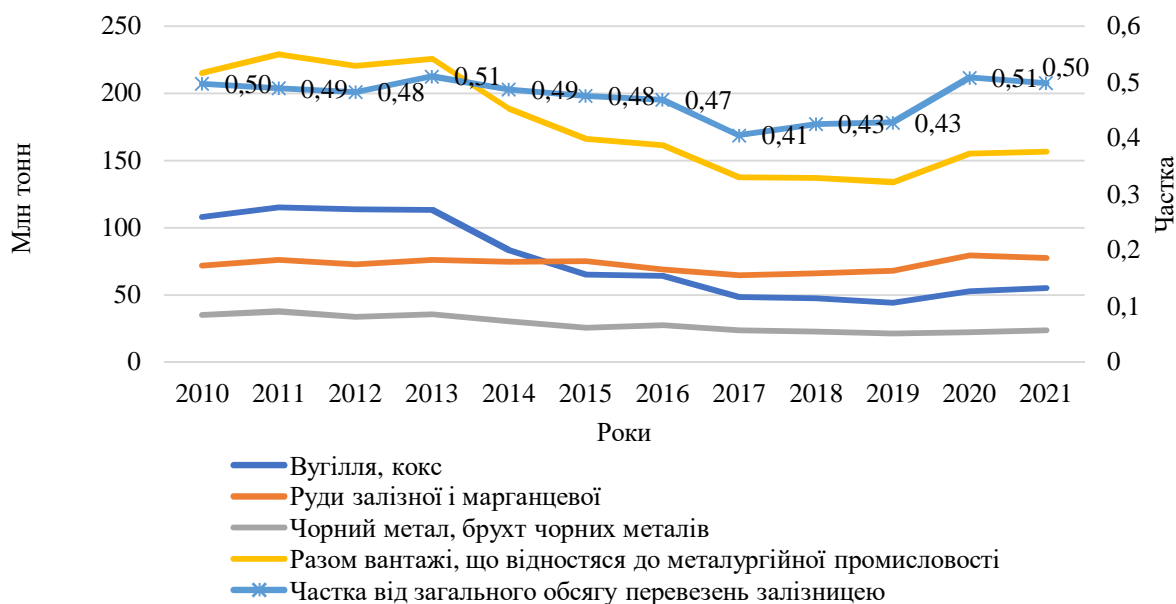


Рис. 2. Динаміка основних груп вантажних перевезень залізничним транспортом по роках за 2010 – 2021 роки, млн тонн

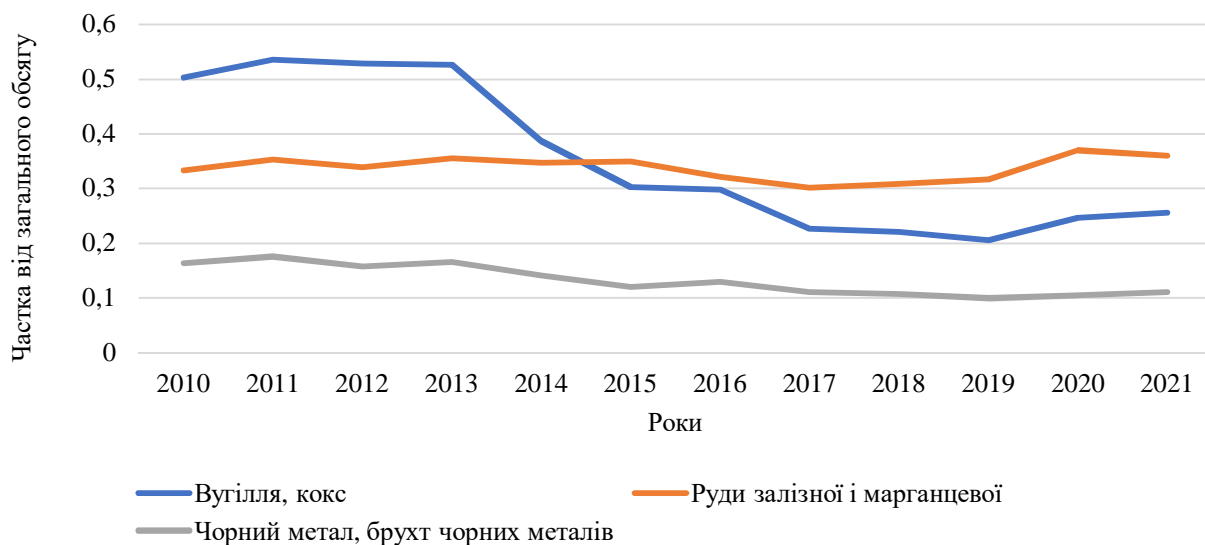


Рис. 3. Частки основних груп вантажних перевезень залізничним транспортом по роках за 2010 – 2021 роки.

З іншого боку, кореляційний аналіз динаміки обсягів виготовлення чавуну та видобутку вугілля із виробництвом коксу демонструє дуже щільну лінійну й пряму кореляційну залежності (табл. 1).

Разом з тим регресійний аналіз вказує на щільну, пряму ступеневу (зростаючу) залежність обсягів виробництва чавуну від частки перевезення вугілля та коксу в загальній структурі

вантажопотоку на залізниці, що також підтверджує критичну залежність виготовлення чавуну саме від доставки коксованого вугілля за звітний період (рис. 4).

Коефіцієнт лінійної кореляції становить:

$$k_{\text{кор}} = \frac{75020737 \cdot 0,084078}{\sqrt{6307598,52}} = 0,9804, \quad (1)$$

Таблиця 1

Розрахункові дані лінійної кореляції між зміною обсягів виробництва чавуну та видобутку вугілля (із виробництвом коксу) за 2013 – 2021 роки

Розрахунковий показник кореляції	Рік									Сума
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Чавун переробний і дзеркальний у чушках, болванках чи формах первинних інших, X_i	29088,7	24800,9	21862,8	23560,0	19797,9	20531,2	20055,9	20238,0	20808,6	200744,0
Вугілля, кокс, Y_i	0,527	0,387	0,303	0,299	0,227	0,221	0,206	0,247	0,256	3,0
$X_i - M(x)$	6784	2496	-442	1255	-2507	-1774	-2249	-2067	-1496	$-1 \cdot 10^{-11}$
$Y_i - M(y)$	0,230	0,090	0,006	0,002	-0,070	-0,076	-0,091	-0,050	-0,041	$-4 \cdot 10^{-16}$
$(X_i - M(x)) \cdot (Y_i - M(y))$	1558	226	-3	2	175	135	205	103	61	2462
$(X_i - M(x))^2$	46020093	6230071	195443	1575304	6284993	3145972	5057951	4272030	2238880	75020738
$(Y_i - M(y))^2$	0,053	0,008	0,000	0,000	0,005	0,006	0,008	0,002	0,002	0,08

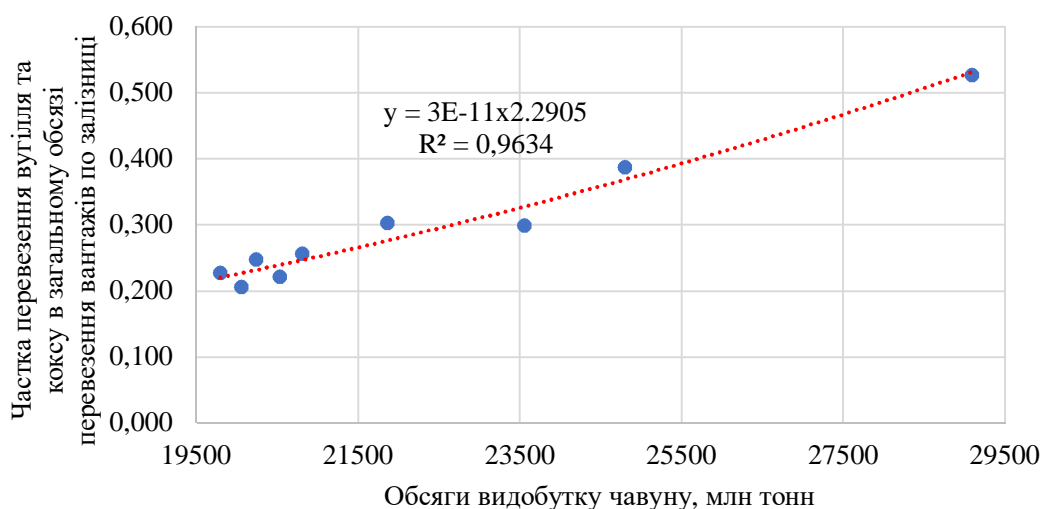


Рис. 4. Розрахунок кореляційної залежності між зміною обсягів виробництва чавуну та видобутку вугілля (із виробництвом коксу)

Продукція чорної металургії, так як і сировинна база цієї галузі, відноситься до масових, генеральних вантажів з невисокою вартісною складовою, що робить залізничний транспорт найбільш зручним та доцільним при виборі способу транспортного забезпечення металургійних підприємств [10]. Власне перші варіанти за-

лізничного транспорту і знайшли своє застосування якраз у металургійній та гірничодобувній галузі ще у 17 – 18 столітті. На сьогодні всі металургійні підприємства також залежать від магістрального залізничного транспорту. Проте не рідкісні випадки переведення частини перевезень на інші види транспорту, наприклад автомобільний [11].

У результаті дослідження вихідних вагонопотоків було проаналізовано масив вибірки даних за 2018-2021 роки у обсязі близько 25 тисяч значень. Оскільки всі масиви даних є результатом імовірнісних процесів, було проведено аналіз розподілу випадкових величин на відповідність теоретичним законам розподілу, встановлені статистичні показники вибірок.

При дослідженні розподілу сукупних добових обсягів прибуття залізної руди до станції Запоріжжя Лівє встановлено, що найщільніша апроксимація спостерігається із нормальним, та іншими симетричними, законами розподілу (рис. 5, табл. 2).

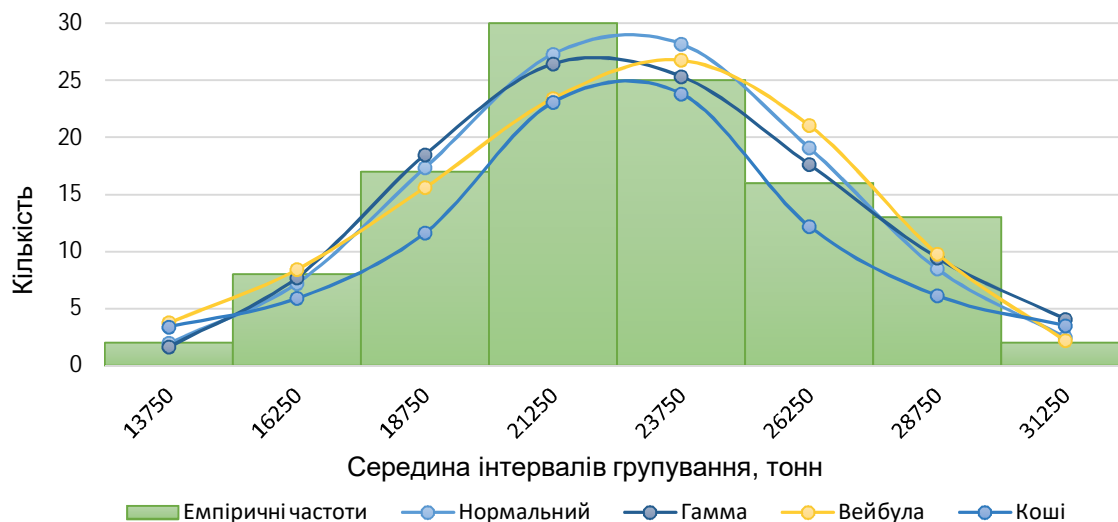


Рис. 5. Апроксимація інтервального ряду розподілу випадкової величини добового обсягу надходження залізної руди до станції Запоріжжя Лівє протягом 2021 року

Таблиця 2

Показники описової статистики випадкової величини добового обсягу надходження залізної руди (тонн) до станції Запоріжжя Лівє протягом 2021 року

Показник статистики	Значення
Середнє	20412,29
Стандартна похибка	390,4593
Медіана	20368
Мода	22004
Стандартне відхилення	3765,454
Дисперсія вибірки	14178641
Експес	-0,17891
Асиметричність	-0,00487
Інтервал	18090
Мінімум	11320
Максимум	29410
Сума	1898343
Рахунок	93
Рівень надійності (95,0%)	775,486

При дослідженні розподілу сукупних добових обсягів прибуття коксу до станції Запоріжжя Лівє встановлено, що найщільніша апроксимація спостерігається також із нормальним, та іншими симетричними, законами розподілу (рис. 6, табл. 3).

Таблиця 3

Показники описової статистики випадкової величини добового обсягу надходження коксу (тонн) до станції Запоріжжя Лівє протягом 2021 року

Показник статистики	Значення
Середнє	1837,947
Стандартна похибка	109,9078
Медіана	2331,5
Мода	42
Стандартне відхилення	1506,979
Дисперсія вибірки	2270986
Експес	0,746168
Асиметричність	0,7517
Інтервал	7330
Мінімум	36
Максимум	7366
Сума	345534
Рахунок	188
Рівень надійності (95,0%)	216,8184

Варіація обсягів надходження руди до станції Запоріжжя Лівє з усіх напрямків становить:

$$v(x) = \frac{2993,376}{4793,795} = 0,62, \quad (2)$$

і є набагато меншою, ніж варіація надходження коксу:

$$v(x) = \frac{1506,979}{1837,947} = 0,82, \quad (3)$$

що свідчить про неузгодженість у поставках цих двох основних компонентів у роботі металургійного підприємства. Саме значна варіація в добових розмірах постачання коксу передбачатиме більші необхідні страхові запаси на випадок виникнення збоїв у постачанні.

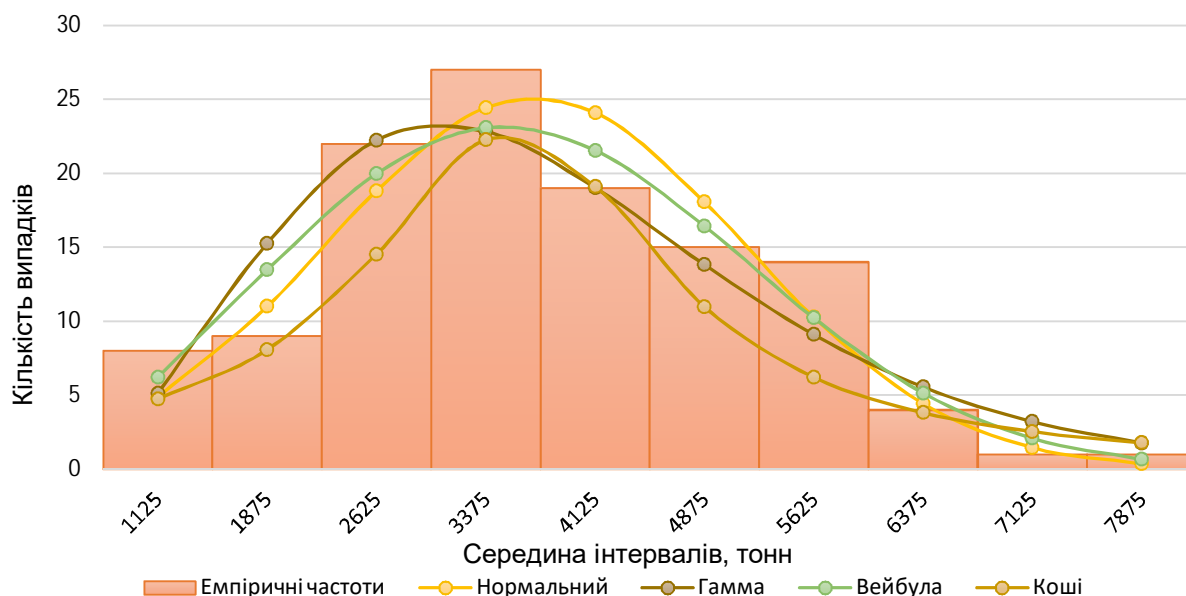


Рис. 6. Апроксимація інтервального ряду розподілу випадкової величини добового обсягу надходження коксу до станції Запоріжжя Лівє протягом 2021 року

Висновки

Металургійна промисловість України, станом на кінець 2021 року, складала 35,1 % у структурі промислового виробництва країни і здійснювала безпосередній вплив майже на 34,3 % промислового виробництва світу. На долю металургійної промисловості в Україні припадало більше 38 % ВВП країни, промислового виробництва металопрокату та виробів з металів – 27,3 %. В частині експорту гірська та переробна промисловість чорних металів становила – 34,2%.

Дослідження вантажопотоків залізної руди, на прикладі ПАО «Запоріжсталь», вказує на значну кількість постачальників, однак приблизно 87 % загального обсягу прибуває із п'яти станцій Терни, Дніпрорудний, Рядова, Інгулець, Кривий Ріг. Варіація обсягу прибуття з кожної із зазначених станцій є найнижчою серед всіх пунктів відправлення, і коливається в межах 0,203...0,410.

Детальний аналіз випадкової величини добових обсягів прибуття вантажу до станції Запорі-

жжя Лівє вказує на високу імовірність апроксимації щільності розподілу нормальним та іншими симетричними законами. Середнє значення добового обсягу прибуття залізної руди до станції Запоріжжя Лівє становило 20412 тонн при стандартному відхиленні 3765 і коефіцієнті варіації 18,4 %. Низка варіація вказує на достатньо стабільний процес постачання залізної руди, не зважаючи на те, що процес охоплює значну кількість постачальників на мережі. Розподіл випадкової величини добових обсягів коксу до ПАО «Запоріжсталь» також вказує на певну симетричність і з достатньо високою імовірністю (59 %) апроксимується нормальним розподілом.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Офіційний сайт Геологічної служба США. *United States Geological Survey, USGS*. URL: <https://www.usgs.gov/>
2. Козаченко Д. М. Проблеми стимулювання відправницької маршрутизації на залізничному транспорті. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. – 2013. – № 3(192). – С. 207-211.
3. Forkenbrock D. J. Comparison of external costs of rail and truck freight transportation. *Transportation*

Research Part A: Policy and Practice. – 2001. – Vol. 35. – Iss. 4. –P. 321–337.

4. Копилов М. Маршрутизація – синонім оптимальності. *Магістраль*, 2011. (26 січня– 1 лютого), № 5 (1588). С. 4

5. Миронович А., Ейтутіс Г., Крищенко Г. Маршрутизація перевезень як фактор підвищення інвестиційної привабливості АТ «Укрзалізниця». *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Економіка і управління»*. 2020. Вип. 48. С. 31-37

6. Вернигора Р. В. Проблеми функціонування залізничних під'їзних колій України в сучасних умовах. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2012. № 4/3(58). С. 64-68.

7. Березовий М. І., Вернигора Р. В., Малашкін В.В. Організація взаємодії промислових підприємств при перевезенні металургійної продукції *Праці Ростовського держ. ун-ту шляхів сполучення*. 2013. Вип. 2(23). С.12-17. (рос)

8. Науменко О. Удосконалення роботи транспортної системи вугільно-енергетичного комплексу. *Engineering mechanic&transport 2013 (EMT-2013)*. Львів. С. 72-73

9. *Державна служба статистики: офіційний сайт*. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>

10. Шульга І. В. Отримання відновників для виплавки заліза з руди (до середини XIX ст.). *Electronic National Technical University " Kharkiv Polytechnic Institute" Institutional Repository (eNTUKhPIIR)*. НТУ «ХП». С.177 – 189. URL: <https://core.ac.uk/reader/50579827>.

11. Osborne D., Dempsey F. Supply chain management for bulk materials in the coal industry. *The Coal Handbook: Volume 1: Towards Cleaner Coal Supply Chains, Second Edition* (2023). № 1. P.619-664.

Надійшла до редколегії 26.10.2023.

Прийнята до друку 04.11.2023.

O. ZARUBA, A. OKOROKOV

RESEARCH OF TRANSPORT SUPPLY OF METALLURGICAL INDUSTRY BY RAILWAY TECHNOLOGICAL ROUTES

Purpose. In the conditions of a full-scale war, ensuring the stable functioning of the national economy is one of the strategic tasks. The functioning of the industrial complex, the availability of jobs and the payment of taxes to the state budget are, among other things, part of ensuring the country's defense capability. One of the main branches of Ukraine's economy is the metallurgical industry, so it needs the implementation of measures to ensure reliable and stable work even in conditions of military aggression, constant risks of air strikes and infrastructure damage. In accordance with this, the purpose of the study is to analyze and determine the structure of cargo flows of technological routes of transport service of metallurgical production (on the example of PJSC «Zaporizhstal»). The dynamics of iron ore (iron ore concentrate) and coking coal (coke) transportation volumes by means of transport were studied. Irregularity was investigated and descriptive statistics of daily volumes of transportation of iron ore (iron ore concentrate) and coking coal (coke) for metallurgical production were performed (on the example of PJSC «Zaporizhstal»).

Methods. An analysis of the unevenness of the daily volume of goods received for the needs of a metallurgical enterprise (on the example of PJSC «Zaporizhstal») by technological routes of railway transport was carried out. Methods of mathematical statistics, probability theory, theory of transport processes and systems were used. As a result of the analysis of cargo flows arriving at the enterprise, it was established that the distribution of the daily volume of iron ore arriving at the Zaporizhzhia Live station is subject to symmetrical distribution laws with a relatively low variation of 18.4%. The distribution of the random value of the daily volume of coke intake also indicates a certain symmetry with a fairly high probability (59%), and is approximated by a normal distribution. **Scientific novelty.** As a result of the conducted research, it was established that the approximate density of the distribution of volumes of iron ore (salt-ore concentrate) and coking coal (coke) for metallurgical production (on the example of PJSC «Zaporizhstal» for 2022). **Practical significance.** The mathematical expectation and the level of correlation of the volumes of iron ore (iron ore concentrate) and coking coal (coke) supply to metallurgical production are established (on the example of PJSC «Zaporizhstal» for 2022). In the future, the obtained results are planned to be used as input data for a simulation model of the functioning of the transport support system of an industrial enterprise.

Keywords: technological routes, metallurgical production, transportation of iron ore, transportation of coal, density of probability distribution.