

УДК 629.4.014.3

*Сергій Турпак, д.т.н., професор
(завідувач кафедри транспортних технологій, Запорізький
національний технічний університет)*

*Юлія Завальна
(інженер-математик відділу АСУ ТП)*

*Сергій Грицай
(старший викладач кафедри транспортних технологій, Запорізький
національний технічний університет)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА АГЛОМЕРАТУ НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Виконані дослідження впливу процесів виробництва агломерату на показники роботи залізничного транспорту. Встановлені особливості організації технологічних перевезень продукції агломераційного цеху. Поставлена задача розробки методології врахування фактору планових та непланових ремонтів агломераційних машин у плануванні витрат на перевезення гарячого агломерату.

***Ключові слова:** агломераційна машина, планування, спостереження, експоненціальний розподіл, теорія масового обслуговування, інтенсивність потоку, ремонт.*

Вступ. Надходження готової шихти до доменного цеху для подальшої переробки у чавун здійснюється за допомогою залізничного транспорту. Процес цей характеризується тривалістю обороту составів, та кількістю матеріалу, який транспортується в составах. Характерною особливістю цього процесу є досить часте проведення планових та позапланових ремонтних робіт, як в агломераційному, так і в доменному цеху, тому існує необхідність розглянути характер зупинок агломашин та їх вплив на рух залізничних составів між переділами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Запорукою ефективного функціонування металургійного підприємства є узгоджена робота агломераційного та доменного цеху [1-2]. Вона характеризується вчасним та безперебійним надходженням агломерату до доменних печей, що задовольняє умовам безперервного процесу виробництва чавуну відповідно до виробничих планів [3-4].

Через значну потужність матеріалопотоків між агломераційним та доменним цехами, їх розташовують поряд один з одним, для виконання процесів доставки вантажів використовують найбільш продуктивні види транспорту – конвеєрний та залізничний [5-6].

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-4

До основних факторів, що впливають на виконання плану робіт доменного цеху відносять коливання часу вивантаження шихтового матеріалу з бункерів до вагонів, їх накопичення під час вивантаження у доменному цеху, можливі ремонтні роботи з вилученням вагонів з складу та ін. [7].

Однак, окрім наведених вище причин збою в транспортно-технологічному циклі перевезення вантажу між двома цехами, необхідно враховувати можливість простою бункерів, у разі проведення робіт на обладнанні агломашин.

Мета і завдання дослідження – визначення характеру впливу технологічних процесів агломераційного виробництва на показники роботи залізничного транспорту при доставці гарячого агломерату в доменний цех.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі підзадачі:

1. Провести аналіз основних параметрів роботи агрегатів агломераційного виробництва та встановити закони розподілу випадкової величини інтервалів часу між позаплановими зупинками агломашин.

2. Виконати аналіз тривалості ремонтів агломашин та визначити ймовірність їх аварійних зупинок.

3. Виконати попередню оцінку впливу роботи агломашин на ефективність функціонування транспортної системи доставки агломерату та визначити необхідність подальших досліджень в цьому напрямку.

Матеріали та методи дослідження. Початок виробничого процесу на сучасних металургійних підприємствах характеризується надходженням замовлення на виробництво тієї чи іншої продукції. Після чого слідує етапи планування основних кроків виробничого процесу [8].

Структурно сучасне металургійне підприємство (рис.1) містить відділи, що відповідають за отримання замовлення на продукцію, його оформлення, контроль наявності необхідних матеріалів, контроль за робочим станом необхідного обладнання, виробничих цехів та відділів, що відповідають за відвантаження продукції та ін.



Рис. 1. Організаційна структура підприємства

Після отримання підприємством замовлення на продукцію (робота відділу продажів), розробляється довгостроковий план роботи (плановим відділом) (рис.2). Визначається наявність необхідної сировини в якості запасів на складах (відділ постачання), виробляються закупівлі відсутніх матеріалів (відділ закупівель), формуються маршрути пересування матеріалів в залежності від етапів виробництва. Розробляється план, відповідно до технологічних карт роботи

виробничого устаткування, формуються поточні плани роботи з встановленням термінів їх виконання. Після закінчення виробничого етапу, розробляються плани з відвантаження готової продукції (відділом логістики та збуту) або зберігання .

В якості довгострокового плану, формуються основні економічні стратегії підприємства на тривалий період. На основі довгострокового плану встановлюються терміни для поточного і оперативного планів [9].

У процесі планування береться до уваги й поточний стан технологічного обладнання та графік його зупинок і ремонту.

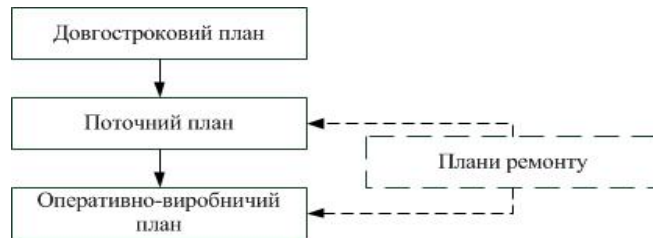


Рис. 2. Структурна схема етапів планування виробничого процесу

Отримавши поточний план робіт, виробничий персонал починає його розподілення між структурними підрозділами та виконання. Однак, в ході технологічного процесу існує можливість позапланових (непередбачених) зупинок устаткування, що характеризуються передчасним виходом з ладу обладнання. В такому випадку, структурна схема, представлена на рис.2 буде мати наступний вигляд (рис. 3.)



Рис.3. Структурна схема етапів планування виробничого процесу у реальних умовах

Оскільки порушення ходу технологічного процесу, представленого у вигляді зупинок основного обладнання з технічних причин, не дає можливості виконати поточний план в задані терміни, існує необхідність розглянути характер даних зупинок більш докладно.

Розглянемо явище зупинок технологічного обладнання на прикладі агломераційної фабрики металургійного підприємства, що характеризується роботою шести агломераційних машин.

Відповідно до загальної схеми перевірки узгодженості теоретичного та емпіричного розподілу, маючи вибірку спостережень часу простоїв агломашин, було визначено кількість k інтервалів для кожної машини за формулою Стерджеса. Подальший аналіз проводився за допомогою ЕОМ, а саме інтегрованою системою статистичного аналізу

STATISTICA [10]. З отриманих результатів (рис.4), порівнюючи діаграму емпіричного розподілу з теоретичною кривою, приймаємо, що емпіричні дані підпорядковуються експоненціальному розподілу випадкової величини.

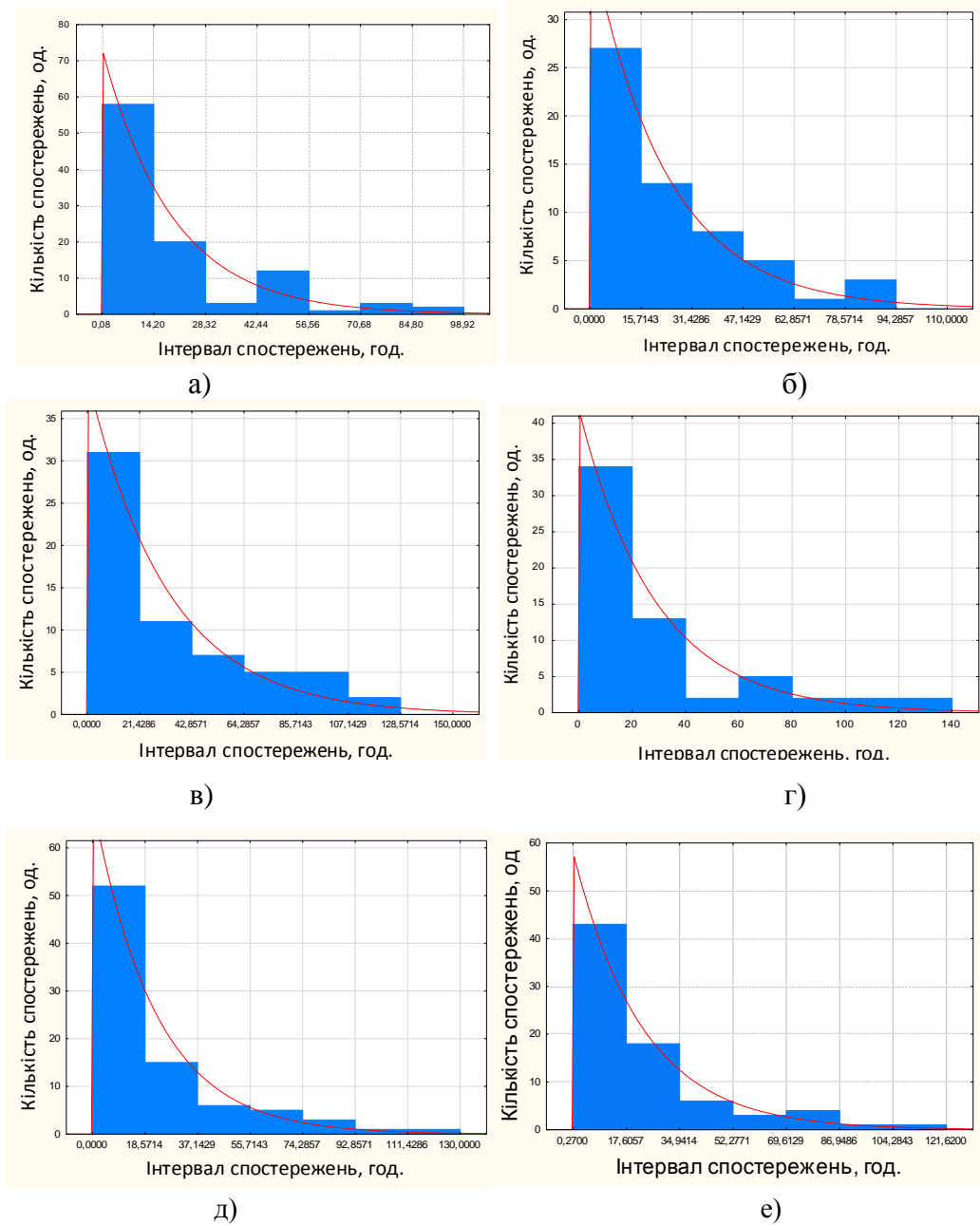


Рис. 4. Схема експоненціального розподілу часу простоювання обладнання агломашина:

*а – агломашина 1, б – агломашина 2, в – агломашина 3, г – агломашина 4,
д – агломашина 5, е – агломашина 6*

Для порівняння теоретичної щільності розподілу з емпіричною гістограмою використовувався критерій Пірсона, який, завдяки своїй універсальності, використовується для будь-якого розподілу [11]. Значення χ^2 , отримані в ході побудови розподілу наведені в табл.1. Для проведення порівняння необхідно отримати розрахункове значення критерію Пірсона. Для цього використовуємо визначення критерію узгодженості [11]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - \tilde{m}_i)^2}{\tilde{m}_i}, \quad (1)$$

k – кількість інтервалів (1),

m_i – емпірична частота,

\tilde{m}_i – теоретична частота.

За таблицею розрахункових значень критерію Пірсона, яка заснована на залежності χ^2 від рівня значимості (α) і кількості ступенів свободи (k), для $\alpha = 0,05$ і $k = 5$ значення критерію Пірсона $\chi^2_{\text{табл}} = 11,07$.

Таблиця 1. Отримані значення критичного розподілу χ^2

	AM ₁	AM ₂	AM ₃	AM ₄	AM ₅	AM ₆
χ^2	0,36887	0,49251	2,76473	6,51567	4,44755	3,15565

Для всіх значень таблиці 1 $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, теоретичний закон експоненціального розподілу узгоджується з емпіричним.

Оскільки в процесі функціонування агломераційного цеху частина агломашин періодично зупиняються на плановий і позаплановий ремонт, необхідно знати середній час, витрачений на проведення ремонтних робіт для кожної машини.

Аналіз характеристик процесу може розглядатися як одне із завдань теорії масового обслуговування (теорія черг) [12], для вирішення якого в умовах агломераційного виробництва, підходять системи масового обслуговування з відмовами [13].

Як показники розглянутих прикладів роботи агломашин, визначимо інтенсивність потоку, взявши інтервал часу – добу [13]:

$$\lambda_n = \frac{z}{t}, \quad (2)$$

де z – кількість зупинок технологічного обладнання, од.;

t – середнє тривалість зупинок, годин;

n – номер агрегату.

З урахуванням даних, які використовуються в дослідженнях вище і формули (2), маємо такі результати: $\lambda_1 = 0,16$; $\lambda_2 = 0,08$; $\lambda_3 = 0,19$; $\lambda_4 = 0,01$; $\lambda_5 = 0,19$; $\lambda_6 = 0,17$;

Інтенсивність вихідного потоку інформації (часу, що витрачається на ремонтні роботи) – μ , визначається середньою кількістю проведення ремонтних робіт в одиницю часу [13]:

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{рем}}}, \quad (3)$$

де $t_{\text{рем}}$ – середня тривалість ремонтних робіт.

Використовуючи (3), отримуємо $\mu_1 = 0,04$; $\mu_2 = 0,01$; $\mu_3 = 0,04$; $\mu_4 = 0,005$; $\mu_5 = 0,04$; $\mu_6 = 0,04$.

Маючи дані про інтенсивність вхідного і вихідного потоків інформації, можемо зробити висновок щодо ймовірності відмови працездатності окремих елементів системи за добу [13]:

$$P_{\text{відм}} = 1 - \frac{\lambda}{\lambda + \mu}. \quad (4)$$

Використовуючи формули (2-4), отримаємо ймовірність повної систематичної відмови в роботі окремих агломашин: $P_{\text{відм1}} = 0,2$; $P_{\text{відм2}} = 0,11$; $P_{\text{відм3}} = 0,18$; $P_{\text{відм4}} = 0,33$; $P_{\text{відм5}} = 0,18$; $P_{\text{відм6}} = 0,19$, що свідчить про необхідність подальшого дослідження впливу цього фактору на транспортну систему доставки агломерату.

Доставка агломерату від агломераційних машин до приймальних бункерів доменного цеху здійснюється, зазвичай, промисловим залізничним транспортом у спеціалізованих вагонах [14-15].

Особливістю перевезень є неможливість зменшення розміру залізничного составу, що обертається між вантажними пунктами (маневрова робота з розчепленням вагонів в зоні навантаження з технологічних обставин неможлива).

Тому, внаслідок наявності в навантаженому составі порожніх вагонів (через зупинку окремих агломашин), при незмінній потребі доменного цеху в агломераті збільшується кількість оборотів та зменшується продуктивність роботи транспорту.

Тому необхідна розробка методології врахування фактору планових та непланових ремонтів агломераційних машин у плануванні витрат на перевезення гарячого агломерату.

Висновки. В роботі досліджено характер впливу технологічних процесів агломераційного виробництва на показники роботи залізничного транспорту при доставці гарячого агломерату в доменний цех шляхом вирішення наступних задач.

1. Проведений аналіз основних параметрів роботи агрегатів агломераційного виробництва показав, що інтервали часу між позаплановими зупинками агломашин підпорядковуються експоненціальному розподілу випадкової величини.

2. Аналіз даних проведення ремонтів показав високу ймовірність повної систематичної відмови в роботі окремих агломашин, яка становить від 0,11 до 0,33.

3. Встановлено, що внаслідок наявності в навантаженому составі порожніх вагонів, при незмінній потребі доменного цеху в агломераті збільшується кількість оборотів та зменшується продуктивність роботи транспорту. Це обумовлює необхідність розробки методології врахування фактору планових та непланових ремонтів агломераційних машин та його випадкового характеру у плануванні витрат на доставку гарячого агломерату залізничним транспортом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бабушкін, Г. Ф., Турпак С. М., Грицай С. В. Удосконалення логістичної системи забезпечення паливом агломераційного виробництва металургійного підприємства. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2011. Вип. 12 (1). С. 19–22.

2. Турпак, С. М., Грицай С. В., Віговська О. О. Удосконалення мікрологістичної системи транспортування агломерату на металургійних підприємствах. Східно-Європейський журнал передових технологій, 2011. Вип. 5 (3). С. 31–33.

3. Визначення головних експлуатаційних показників використання вагонів для перевезення гарячого агломерату / С. М. Турпак та ін. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2012. Вип. 6 (1). С. 150–154.

4. Удосконалення процесів доставки та вантажопереробки палива в умовах агломераційного виробництва / Г. Ф. Бабушкін та ін. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, 2012. Вип. 1. С. 144–146.

5. Турпак, С. М., Величко О. О., Грицай С. В. Дослідження транспортно-технологічного процесу забезпечення металургійного підприємства агломератом власного виробництва. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2014. Вип. 4 (1). С. 27–31.

6. Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations / S. Gritcay and others. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. No. 3 (85). P. 33–39.

7. Воропай, В. С. Аналіз транспортно-технологічного цикла перевезення агломерата. Наука та виробництво: зб. наукових праць ДВНЗ «ПДТУ», 2017. Вип. 17. С. 82–88.

8. Понкрашов Р. И., Пчелинцева И. Н. Организационная структура логистического управления торговим предприятием. Вестник Саратовского гос.тех. университета, 2006. Вип. 1. Т. 4. С. 156–160.

9. Єгупов Ю. А. Система планів сучасного промислового підприємства. Економіст, 2017. Вип. 5. – С. 13–21. URL: <http://nbuv.gov.ua/UJRN/econ2017512>.

10. Гржибовский А. М., Иванов С. В., Горбатова М. А. Однофакторный линейный регрессионный анализ с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS. Наука и здравоохранение, 2017. Вип. 2. С. 5–33.

11. Гафарова, Л. М., Завьялова И. Г., Мустафин Н. Н. Об особенностях применения критерия согласия Пирсона χ^2 . Экономические и социально-гуманитарные исследования, 2015. Вип. 4 (8). С. 63–67.

12. Кирпичников А.П., Валеев И.Н. Многоканальные системы массового обслуживания с отказами. Вестник Казан. технол. ун-та, 2006. Вип. №4. С. 66–71.

13. Шулешко А. А. Определение показателей качества многоканальных систем массового обслуживания с использованием методов математического моделирования. Вестник ИрГТУ, 2015. Вип.1. С. 187–189.

14. Фомін О. В., Гостра А. В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів [Текст] / О.В. Фомін, // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології», 2015. Вип. 26-27. С. 137–147.

15. Фомін О. В. Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ», 2012. Вип. 1. С. 29–33.

REFERENCES

1. Babushkin, H. F. , Turpak, S. M., Hrytsai, S. V. (2011). Udokonalennia lohistychnoi systemy zabezpechennia palyvom ahlomeratsiinoho vy-robnnytstva metalurhiinoho pidprijemstva [Improvement of the logistic system providing fuel for the agglomeration production of the metallurgical enterprise]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnogo universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 12 (1), 19–22. [in Ukrainian].
2. Turpak, S. M., Hrytsai, S. V., Vihovska, O. O. (2011). Udokonalennia mikrolohistychnoi systemy transportuvannia ahlomeratu na metalur-hiinykh pidprijemstvakh [Improvement of the micro-logistic system of agglomeration transport at metallurgical enterprises]. *Skhidno-Ievropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*, 5 (3), 31–33. [in Ukrainian].
3. Turpak, S. M., Hrytsai, S. V., Vihovska, O. O., Vasylieva, L. O., Lebid, H. O. (2012). Vyznachennia holovnykh ekspluatatsiinykh pokaznykiv vykorystannia vahoniv dlia perevezennia hariachoho ahlomeratu [Determination of the main operational parameters of the cars use for the carriage of hot agglomerate]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnogo universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 6 (1), 150–154. [in Ukrainian].
4. Babushkin, H. F., Turpak, S. M., Hrytsai, S. V., Veremeienko, L. A. (2012). Udokonalennia protsesiv dostavky ta vantazhopererobky palyva v umovakh ahlomeratsiinoho vyrob-nytstva [Improvement of the processes of fuel delivery and cargo processing in the conditions of agglomerate production]. *Novi materialy i tekhnolohii v metalurhii ta mashynobuduvanni*, 1, 144–146. [in Ukrainian].
5. Turpak, S. M., Velychko, O. O., Hrytsai, S. V. (2014). Doslidzhennia transportno-tekhnolohichnogo protsesu zabezpechennia metalurhiinoho pidprijemstva ahlomeratom vlasnogo vyrobnytstva [Investigation of the transport and technological process of providing the metallurgical enterprise with an agglomerate of their own production]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnogo universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 4 (1), 27–31. [in Ukrainian].
6. Gritcay, S., Lashenyh, A., Turpak, S., Ostrohlyad, E., Kharchenko, T. (2017). Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (85), 33–39.
7. Voropaj, V. S. (2017). Analiz transportno-tehnologicheskogo cikla perevozki aglomerata [Analysis of transport and technological cycle of transportation of agglomerate], *Nauka ta virobnytstvo: zb. naukovih prac' DVNZ «PDTU»*, 17, 82-88. [in Russian].
8. Ponkrashov, R.I., Pchelinceva, I.N. (2006). Organizacionnaja struktura logisticheskogo upravlenija trgovim predprijatiem [Organizational structure of logistic management by a trade enterprise], *Vesnik Saratovskogo gos.teh.universiteta*, 1, 4, 156–160. [in Russian].
9. Yehupov Yu.A. (2017). Systema planiv suchasnoho promyslovoho pidprijemstva [The system of plans for a modern industrial enterprise], *Ekonomist*, 5, 13–21. Retrieved from <http://nbuv.gov.ua/UJRN/econ2017512>. [in Ukrainian].
10. Grzhibovskij, A.M., Ivanov, S.V., Gorbatova, M.A. (2017). Odnofaktornyj linejnyj regressiionnyj analiz s ispol'zovaniem pro-grammnogo obespechenija Statistica i SRSS [Single-factor linear regression analysis using Statistica and SPSS software], *Nauka i zdruvoohranenie*, 2, 5–33. [in Russian].
11. Gafarova, L.M., Zav'jalova, I.G., Mustafin, N.N. (2015). Ob osobennostjah primenenija kriterija soglasija Pirsona χ^2 [On the peculiarities of using Pearson's criterion of agreement χ^2]. *Jekonomicheskie i social'no-gumaniturnye issledovanija*, 4 (8), 63–67. [in Russian].
12. Kirpichnikov, A.P., Valeev, I.N. (2006). Mnogokanal'nye sistemy massovogo obsluzhivaniya s otkazami [Multi-channel mass service systems with failures]. *Vesnik Kazan. tehnol. un-ta*, 4, 66–71. [in Russian].
13. Shuleshko A.A. (2015). Opredelenie pokazatelej kachestva mnogokanal'nyh sistem massovogo obsluzhivaniya s ispol'zovaniem metodov matematicheskogo modelirovaniya [Determination of quality indicators of multichannel mass service systems using mathematical modeling methods]. *Vestnik IrGTU*, 1, 187–189. [in Russian].
14. Fomin, O.V., Hostra, A.V. (2015). Variatsiine opysannia konstruktivnykh vykonan vantazhnykh vahoniv [Variational description of constructive performances of freight cars]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnogo ekonomiko-tekhnolohichnogo universytetu transportu Ministerstva osvity i nauky Ukrainy: Serii «Transportni systemy i tekhnolohii»*, 26-27, 137–147. [in Ukrainian].
15. Fomin, O.V. (2012). Rozrobka metodyky vprovadzhennia riznykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv ne-suchykh system vantazhnykh vahoniv [Development of the method of introduction of various profiles as components of freight cars bearing systems]. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «KhPI»*, 1, 29–33. [in Ukrainian].

*Сергей Турпак, д.т.н., профессор
(заведующий кафедры транспортных технологий, Запорожский
национальный технический университет)*

*Юлия Завальная
(инженер-математик отдела АСУ ТП)*

*Сергей Грицай
(старший преподаватель кафедры транспортных технологий, Запорожский
национальный технический университет)*

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Выполнены исследования влияния процессов производства агломерата на показатели работы железнодорожного транспорта. Установлены особенности организации технологических перевозок продукции агломерационного цеха. Поставлена задача разработки методологии учета фактора плановых и неплановых ремонтов агломерационных машин в планировании расходов на перевозку горячего агломерата.

***Ключевые слова:** агломерационная машина, планирование, наблюдения, экспоненциальное распределение, теория массового обслуживания, интенсивность потока, ремонт.*

*Serhii Turpak, Doctor of Science (Engineering), Professor
(Head of the Department of Transportation technology, Zaporizhzhya National
Technical University)*

*Yuliia Zavalna
(Mathematician-engineer, Department of OSASP)*

*Sergey Gritcay
(Senior Lecturer of the Department of Transportation technology, Zaporizhzhya
National Technical University)*

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF SINTER PRODUCTION PROCESSES ON RAIL TRANSPORT PERFORMANCE

At modern metallurgical enterprises, as a rule, railroad trains are used as the main technological transport. With their help, the movement of raw materials between the workshops is ensured, which ensures the continuity of the technological process.

The article deals with the stages of work of metallurgical enterprises from the receipt of orders to the development of production plans. Blast furnaces and sinter plants have been selected as research sites.

The factors influencing the production of pig iron in the domain shop are presented. The influence of stops of agglomeration equipment on the work of transport moving between the sections is highlighted.

The STATISTICA software product was selected as the medium for analyzing the idle time of the agglomeration equipment, using the comparison between the empirical and theoretical distribution using the Pearson criterion. A conclusion was made on the consistency of their distribution.

The analysis of the characteristics of the sintering machines as one of the tasks of the theory of mass service is carried out. Conclusions are made regarding the time spent on repairs and the possible refusal of each car in the prescribed period.

The necessity of taking into account scheduled and extraordinary repair works at the sinter plant and their influence on the transportation of the finished sinter to the blast-furnace shop was determined.

Keywords: *agglomeration machine, planning, observation, exponential distribution, mass service theory, flow intensity, repair.*