

УДК 656.135.8:656.3

А. С. ДОРОШ^{1*}, Є. Б. ДЕМЧЕНКО^{2*}, Д. В. ХИЛЬКЕВИЧ^{3*}, Н. Ю. БЕРУН^{4*}

^{1*}Каф. «Транспортні вузли», ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 927 84 62, ел. пошта: a.s.dorosh@ust.edu.ua, ORCID-0000-0002-5393-0004

^{2*}Каф. «Транспортні вузли», ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 799 16 75, ел. пошта: e.b.demchenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-1411-6744

^{3*}ТОВ «Метінвест Січсталь», Південне шосе, 74, Запоріжжя, Україна, 69008, тел. +38 (067) 633 68 74, ел. пошта: dmitriy.khilkevich@metinvestholding.com, ORCID 0009-0006-5738-7041

^{4*}ТОВ «ЮНАЙТЕД ГЛОБАЛ ЛОДЖИСТИК», вул. Радистів, 5, Дніпро, Україна, 49023, тел. +38 (050) 361 20 45, ел. пошта: n.berun@ugl.com.ua, ORCID 0009-0001-9169-8920

ТРАНСПОРТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЦИКЛІНГУ ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета. Одним з можливих шляхів підвищення ефективності та екологічності металургії є переробка та повторне використання у виробництві у якості сировини залізовмісних пиловидних відходів. При цьому невід'ємною складовою такого рециклінгу відходів є транспортування залізовмісного пилу від джерел утворення до ділянок гранулювання, де здійснюється його переробка. В той же час існуючі технологічні рішення з транспортування пилу характеризуються значним пилоутворенням як під час виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, так і в процесі перевезення. В цьому зв'язку в роботі розглянуто технологічні схеми безпилового транспортування пиловидних відходів з використанням танк-контейнерів. **Методика.** Під час виконання дослідження використані методи геопросторового аналізу маршрутів перевезення з урахуванням габаритно-вагових обмежень, методи планування роботи автотранспорту на маршрутах, методи теорії маневрової роботи на залізничному транспорті. **Результати.** В роботі на прикладні одного з металургійних підприємств представлено методику визначення потрібного парку транспортних засобів та основних техніко-технологічних параметрів схем доставки залізовмісного пилу в танк-контейнерах автомобільним та залізничним транспортом. **Наукова новизна.** Отримані результати досліджень параметрів транспортного процесу дозволяють виконати наукове та економічне обґрунтування вибору технологічної схеми перевезень пиловидних відходів. **Практична значимість.** Представлені технологічні схеми можуть бути використані в якості рішень з транспортного забезпечення рециклінгу залізовмісних пиловидних відходів металургійного виробництва.

Ключові слова: рециклінг, залізовмісні відходи, промисловий транспорт, танк-контейнер

Вступ

Інтеграція України у світову економіку нерозривно пов'язана з модернізацією її промисловості з метою приведення показників виробництва до міжнародних вимог [1]. Для вирішення вказаної проблеми більшість металургійних підприємств України розпочали роботи з встановлення (модернізації) систем фільтрації та очистки газів, що дозволить підвищити ефективність вловлювання залізовмісного пилу та забезпечити його рециклінг [2].

Головними джерелами викидів залізовмісного пилу є агломераційні машини, доменні та сталеплавильні печі. Після вловлювання фільтрами пилоподібні залізовмісні відходи (ЗВВ) накопичується в бункерах, звідки виконується їх доставка на ділянку гранулювання (ДГ) для подальшої переробки.

Як показав аналіз, в теперішній час транспортування ЗВВ відбувається, головним чином,

вагонами-хоперами або автомобілями-самоскидами; при цьому процес навантаження-вивантаження пилу з вказаного рухомого складу також характеризується значним пилоутворенням, що знижує ефективність рециклінгу та негативно впливає на екологічний стан.

Постановка задачі

Одним з можливих шляхів вирішення проблеми безпилового транспортування ЗВВ є використання герметичних танк-контейнерів (ТК). При цьому вказана транспортна одиниця є універсальною та дозволяє в залежності від місцевих умов обирати схему перевезення ЗВВ з використанням як залізничних платформ, так і автомобілів. Для оцінки ефективності такої технології в роботі на прикладі одного з металургійних підприємств України виконані дослідження основних параметрів процесу доставки ЗВВ у ТК залізничним та автомобільним транспортом.

Характеристика об'єкта обслуговування

Вловлювання і накопичення ЗВВ відбувається в 27 джерелах, які територіально сконцентровані в чотирьох різних районах досліджуваного металургійного підприємства, а ДГ розташовується поруч з районом № 1. При цьому існуюча виробнича і транспортна інфраструктура підприємства дозволяє здійснювати перевезення ЗВВ від всіх джерел районів №№ 1-3 виключно автомобільним транспортом, а перевезення відходів з району № 4 передбачає комбіноване залізнично-автомобільне сполучення (див. рис. 1).

Визначення параметрів автомобільної доставки

Автомобільна доставка ЗВВ здійснюється з використанням найманих автотранспортних засобів (АТЗ) у складі двовісного сидельного тягача і напівпричепа-контейнеровоза. При цьому передбачається, що рух завантажених АТЗ буде здійснюватися не лише внутрішніми дорогами підприємства, а і вулично-дорожньою мережею міста. Тому при розробці маршрутів руху АТЗ було враховано обмеження, введені місцевою владою, вагові обмеження на рух через штучні споруди (мости, шляхопроводи), а для виявлення забороняючих дорожніх знаків були використані відкриті геоінформаційні системи. В результаті розробки маршрутів були визначені відстані перевезення з кожного району навантаження до ДГ (див. табл. 1).

Потрібний робочий парк АТЗ для забезпечення перевезення добових обсягів ЗВВ від i -го джерела може бути визначено як

$$A_p = \frac{Q_i^A}{W_i} \quad (1)$$

де Q_i^A – добовий обсяг перевезень відходів, т;
 W_i – добова продуктивність АТЗ під час перевезення ЗВВ від i -го джерела, т.

Слід відмітити, що при перевезенні ЗВВ вантажні автомобілі працюють без відчеплення напівпричепа, в такому випадку їх добова продуктивність може бути визначена за формулою

$$W_i = N_{із} Q_H^{авт} \quad (2)$$

де $N_{із}$ – кількість їздок АТЗ за добу;
 $Q_H^{авт}$ – маса нетто вантажу, що перевозиться АТЗ за одну їзду, т.

Кількість їздок АТЗ може бути визначена за формулою:

$$N_{із} = \frac{TK_B}{\theta_{атз} K_H} \quad (3)$$

де T – добовий фонд робочого часу. Прийнято рівним $T = 24$ год;

K_B – коефіцієнт використання АТЗ на лінії, що враховує нульові пробіги, регламентовані перерви, втрати часу з організаційних причин, простої в черзі на розвантаження. Прийнято рівним $K = 0,7$ [3];

$\theta_{атз}$ – оборот АТЗ, год;

K_H – коефіцієнт нерівномірності перевезень, що враховує подовження часу їздки з вантажем (нічні зміни, періоди інтенсивного руху). Прийнято рівним $K_H = 1,2$ [3].

Оборотом АТЗ є проміжок часу від моменту початку одного навантаження до моменту початку наступного навантаження. Таким чином, тривалість обороту може бути визначена як:

$$\theta_{атз} = t_n + \frac{2l}{V} + t_B \quad (4)$$

де t_n – тривалість навантаження танк-контейнера, год;

l – відстань від пункту навантаження до пункту вивантаження, км;

V – середня технічна швидкість на маршруті, км/год. Прийнята рівною $V = 20$ км/год [3];

t_B – тривалість вивантаження танк-контейнера, год.

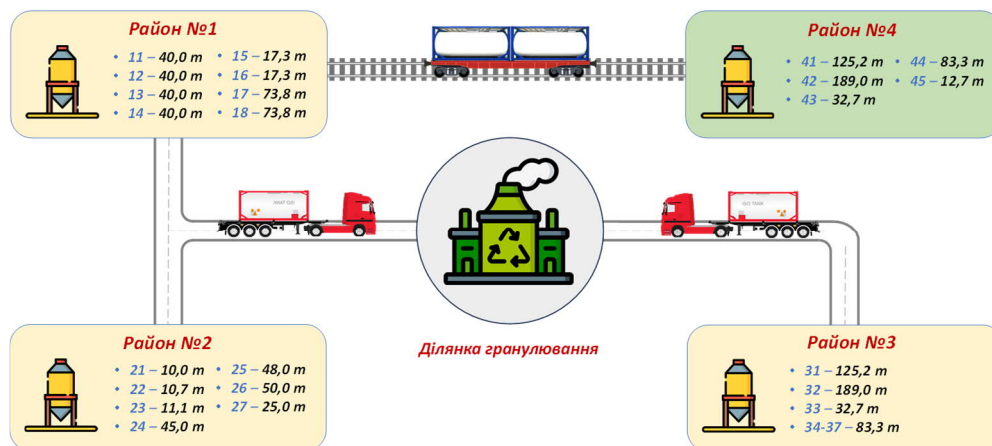


Рис. 1. Схема обслуговування районів підприємства та добові обсяги навантаження ЗВВ

Тривалість навантаження танк-контейнера визначається за формулою

$$t_H = \frac{Q_B}{\alpha V_H} \quad (5)$$

де V_H – швидкість навантаження з бункера, м³/год.

Вивантаження танк-контейнера здійснюється за допомогою пневматичної установки, а її тривалість прийнята рівною $t_B = 0,33$ год.

Маса нетто вантажу, що перевозиться за одну їздку, визначається з урахуванням габаритно-вагових норм (ГВН), що встановлені Правилами дорожнього руху України [4], та місткості ТК

$$Q_H^{авт} = \min(Q_{бр}^{ГВН} - q_{ТК}; Q_B^{міст}) \quad (6)$$

де $Q_{бр}^{ГВН}$ – маса бруто ТК за умови додержання ГВН, т;

$q_{ТК}$ – маса тари ТК, т;

$Q_B^{міст}$ – маса нетто вантажу за умови використання корисного об'єму ТК, т

$$Q_B^{міст} = \alpha V_{ТК}^{max} f 10^{-3} \quad (7)$$

де α – об'ємна маса ЗВВ, т/м³;

$V_{ТК}^{max}$ – максимальна місткість цистерни ТК, $V_{ТК}^{max} = 21\ 000$ л;

f – ступінь заповнення ТК. Згідно з [5] прийнято $f = 95\ %$.

Оскільки об'ємна маса ЗВВ для деяких джерел відрізняється, то маса вантажу $Q_B^{міст}$ буде розрахована для кожного з них.

Відомо, що рух АТЗ дозволяється у разі, коли їх зовнішні габарити, фактична маса та навантаження на осі не перевищують значень, встановлених в [4]. Таким чином, маса бруто ТК з урахуванням цих обмежень може бути визначена як

$$Q_{бр}^{ГВН} = \min(Q_{фм}^{атз}, Q_{вісь}^T, Q_{вісь}^{нп}) \quad (8)$$

де $Q_{фм}^{атз}$ – маса вантажу, що обмежується допустимою фактичною масою АТЗ, т;

$Q_{вісь}^T$ – маса вантажу, що обмежується допустимим навантаженням на задню (тягову) вісь автомобільного тягача, т;

$Q_{вісь}^{нп}$ – маса вантажу, що обмежується допустимим навантаженням на вісь напівпричепи, т.

Враховуючи структуру АТЗ, що використовується для перевезення ЗВВ, та вимоги [4, п. 22.5] для розрахунку маси вантажу $Q_B^{ГВН}$ було прийнято такі вагові обмеження:

- дозволена фактична маса АТЗ $G_{атз} = 44,0$ т;

- допустиме навантаження на одиночну вісь АТЗ $P_2 = 11,5$ т;

- допустиме навантаження на строєну вісь АТЗ $P_3 = 24,0$ т.

Маса вантажу бруто з урахуванням

обмежень допустимої фактичної маси АТЗ визначається як

$$Q_{фм}^{атз} = G_{атз} - m_1 - m_2 - m_3 - m_c \quad (9)$$

де m_1, m_2 – маса спорядженого тягача, що припадає на його передню та задню (тягову) осі відповідно, т. Фактично сума m_1 та m_2 дорівнює спорядженій масі тягача G_T .

m_3, m_c – маса порожнього напівпричепи, що приходить на його строєну вісь та сидельно-зчпний пристрій (СЗП) тягача відповідно, т. Аналогічно, сума m_3 та m_c дорівнює масі тари порожнього напівпричепи $G_{нп}$.

Таким чином, маса вантажу з урахуванням дозволеної фактичної маси АТЗ може бути визначена як

$$Q_{фм}^{атз} = G_{атз} - G_T - G_{нп} \quad (10)$$

Маса вантажу, з урахуванням обмеження навантаження на задню (тягову) вісь тягача визначається як [6]

$$Q_{вісь}^T = \left(\frac{(P_2 - m_2)L}{h} - m_c \right) \frac{s}{s - z} \quad (11)$$

де L – колісна база сидельного тягача, мм;

h – відстань від передньої осі тягача до СЗП, мм;

S – відстань від СЗП до середини візка напівпричепи, мм;

Z – відстань від СЗП до центру тяжіння вантажу в напівпричепі, мм.

Маса вантажу, з урахуванням обмеження навантаження на строєну вісь напівпричепи визначається за формулою [6]

$$Q_{вісь}^{нп} = \frac{(P_3 - m_3)S}{z} \quad (12)$$

Використовуючи формули (10)-(12), технічні характеристики автомобільного тягача та напівпричепи визначено масу вантажу за кожним із обмежень, а схема і результати розрахунку наведені на рисунку 2.

Отже, маса вантажу бруто (включаючи масу тари ТК), що може бути перевезена автомобільним транспортом з додержанням вимог ГВН, становить

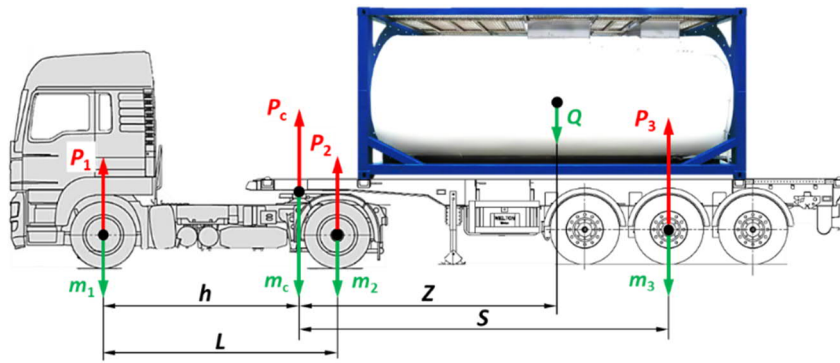
$$Q_{бр}^{ГВН} = \min(31,6; 30,52; 29,87) = 29,87 \text{ т}$$

і обмежується навантаженням на строєну вісь напівпричепи P_3 .

Загальний робочий парк АТЗ в районах №№ 2-3 визначається як сума їх кількості за маршрутами перевезення:

$$A_p = \sum_{i=1}^n A_{pi} \quad (13)$$

де n – кількість джерел навантаження району.



$$Q_{\text{фм}}^{\text{АТЗ}} = 44 - 7,7 - 4,7 = 31,6 \text{ т}, \quad Q_{\text{вісь}}^{\text{Т}} = \left(\frac{(11,5 - 2,47) \cdot 3600}{3015} - 0,94 \right) \cdot \frac{5750}{5750 - 3896} = 30,52 \text{ т}, \quad Q_{\text{вісь}}^{\text{НП}} = \frac{(24 - 3,76) \cdot 5750}{3896} = 29,87 \text{ т}$$

Рис. 2. Схема розрахунку маси вантажу

Враховуючи, що вантажні автомобілі району № 1, окрім обслуговування джерел цього району, здійснюють ще і перевезення ТК від пункту перестановки до ДГ за змішаною залізнично-автомобільною схемою, то їх робочий парк визначається як

$$A_p = \sum_{i=1}^n A_{p_i} + A_p^{\text{ЗМ}} \quad (14)$$

де $A_p^{\text{ЗМ}}$ – робочий парк АТЗ за змішаною схемою, од.

Інвентарний робочий парк транспортних або оборотних вантажних засобів (танк-контейнерів), враховує парк засобів, що перебувають на технічному обслуговуванні та в ремонті, і визначається за формулою

$$N_{\text{інв}} = K_{\text{ТГ}} N_p \quad (15)$$

де $K_{\text{ТГ}}$ – коефіцієнт технічної готовності парку. Приймається згідно з [3].

Оскільки автомобільні перевезення ЗВВ виконуються на умовах аутсорсингу, то інвентарний парк вантажних автомобілів не визначається. Результати розрахунку робочого парку АТЗ представлені в табл. 1.

Визначення параметрів залізничної доставки

Перевезення ЗВВ від джерел 41-45, розташованих в районі № 4, виконується в декілька етапів внутрішнім залізничним транспортом підприємства та найманими АТЗ за наступною схемою. ТК встановлюються на залізничні фітингові платформи, що подаються під навантаження ЗВВ. Після завантаження ТК фітингові платформи переставляються на станцію відправлення і причіплюються окремою групою до складу порожньої агловертушки. Далі у складі вертушки платформи слідує до пункту перестановки (ПП), розташованого в районі № 1. В ПП контейнери перевантажуються з вагонів на АТЗ, що

здійснюють їх подальшу доставку до ДГ. Вивантаження ТК здійснюється без їх знімання з автомобільних напівпричепів, після чого порожні ТК повертаються автомобільним транспортом до ПП, де вони переставляються на фітингові платформи. Фітингові платформи з порожніми ТК причіплюються окремою групою до завантаженої агловертушки, в складі якої вони прямують в район № 4.

Добова кількість ТК, що завантажуються в районі № 4, може бути визначена за формулою

$$U = \left[\frac{Q_{\text{н}}^{\text{А}}}{Q_{\text{н}}^{\text{зал}}} \right] \quad (16)$$

де $Q_{\text{н}}^{\text{зал}}$ – маса нетто вантажу, що перевозиться залізничним транспортом в одному ТК, т.

У випадку комбінованого залізнично-автомобільного перевезення ЗВВ маса вантажу в ТК обмежується його місткістю, вантажопідйомністю залізничної фітингової платформи та ваговими нормами для АТЗ

$$Q_{\text{н}}^{\text{зал}} = \min(Q_{\text{бр}}^{\text{фп}} - q_{\text{ТК}}; Q_{\text{н}}^{\text{авт}}; Q_{\text{в}}^{\text{міст}}) \quad (17)$$

де $Q_{\text{бр}}^{\text{фп}}$ – маса бруто ТК за умови повного використання вантажопідйомності фітингової платформи, т.

Оскільки конструкція залізничної фітингової платформи передбачає установку на ній кількох ТК, то $Q_{\text{бр}}^{\text{фп}}$ може бути визначена як

$$Q_{\text{бр}}^{\text{фп}} = \frac{G_{\text{фп}}}{m_{\text{ТК}}} \quad (18)$$

де $G_{\text{фп}}$ – вантажопідйомність фітингової платформи, т. Згідно з [7] для платформи моделі 13-7133 $G_{\text{фп}} = 73,6$ т;

$m_{\text{ТК}}$ – кількість танк-контейнерів, що можуть бути одночасно встановлені на одну фітингову платформу. При перевезенні 20-футових ТК згідно з [7] $m_{\text{ТК}} = 2$ од.

Таблиця 1

Розрахунок парку автомобільних транспортних засобів

Район	№ джерела	Добовий обсяг, т	Об'ємна маса, т/м ³	Маса нетто, т			Робота АТЗ						Коефіцієнт використання АТЗ	Коефіцієнт нерівномірності	Кількість іздок	Робочий парк, од			
				по ГВН	за об'ємом кузова	Приннято за 1 іздку	Відстань від джерела до ДД, км	Середня технічна швидкість, км/год	Швидкість навантаження, м ³ /год	навантаження	вивантаження	Тривалість, год				оборот АТЗ	джерела	району (розрахунковий)	району (принятий)
№1	11	40	0,90	17,96	17,96	17,96	0,7	20	25	0,80	0,33	1,92	0,7	1,2	11	0,20	1,62	Визначається в табл. 3	
	12	40					0,7												
	13	40					1,2												1,25
	14	40					1,2												1,25
	15	17,3	1,13	22,54	22,54	22,54	1,8	20	25	0,80	0,33	1,92	0,7	1,2	7	0,06	1,36	2	
	16	17,3					1,8												
	17	73,8					1,8												1,31
	18	73,8					1,8												1,31
№2	21	10	1,13	22,54	22,54	22,54	7,9	20	25	0,80	0,33	1,92	0,7	1,2	7	0,07	1,36	2	
	22	10,7					7,9												
	23	11,1					7,9												2,11
	24	45					9,8												2,11
	25	48					9,8												2,11
	26	50					9,8												2,11
	27	25					6,4												1,47
	31	125,2					22,3												3,16
№3	32	189	1,02	20,35	20,35	20,35	22,5	60	0,33	0,8	3,02	0,8	1,2	5	0,99	4,49	5		
	33	32,7					22,5												
	34	20,825					22,5											6,81	
	35	20,825					22,5											6,81	
	36	20,825					22,5											6,81	
	37	20,825					22,5											6,81	

Розрахунок кількості танк-контейнерів

Район	№ джерела	Добовий обсяг, т	Об'ємна маса, т/м ³	Максимальна маса нетто, т		Маса вантажу нетто за 1 їздки, т	Розрахункова кількість ТК, од
				по ГВН	за об'ємом кузова		
№ 4	41	10,5	1,22	25,37	24,34	24,34	0,43
	42	50,8	1,22	25,37	24,34	24,34	2,09
	43	69,2	1,22	25,37	24,34	24,34	2,84
	44	17,3	1,22	25,37	24,34	24,34	0,71
	45	12,7	1,22	25,37	24,34	24,34	0,52
Разом							6,59

Слід відмітити, що об'ємна маса ЗВВ в дже-релах району № 4 однакова і становить 1,22 т/м³, тому $Q_B^{\text{міст}}$ для цих джерел однакова і становить

$$Q_B^{\text{міст}} = 1,22 \cdot 21000 \cdot 0,95 \cdot 10^{-3} = 24,34 \text{ т}$$

Отже, при перевезенні за даною технологічною схемою маса нетто ЗВВ у ТК становить

$$Q_H^{\text{зал}} = \min\left(\frac{73,6}{2} - 4,5; 25,37; 24,34\right) = 24,34 \text{ т}$$

Розрахунок необхідної добової кількості ТК для організації перевезення ЗВВ за комбінованою схемою виконаний в табл. 2. Як видно з таблиці, добова кількість завантажених ТК для району № 4 становить $U = 7$ од.

В районі № 1 вантажні автомобілі використовуються для прямого варіанту доставки ЗВВ від джерел 11-18 до ДГ, при цьому їх робочий парк становить 1,62 авт. (див. табл. 1). Крім того, автотранспортом в даному районі здійснюється додаткова робота по перевезенню ТК між ПП та ДГ, а робочий парк АТЗ для виконання такої роботи може бути визначений за формулою

$$A_p^{\text{ЗМ}} = \frac{UK}{\theta_a^{\text{ЗМ}} K_H} \quad (19)$$

де $\theta_a^{\text{ЗМ}}$ – оборот АТЗ, що виконує перевезення контейнерів від пункту перестановки до ділянки гранулювання, год.

В свою чергу тривалість обороту $\theta_a^{\text{ЗМ}}$ може бути визначена як

$$\theta_a^{\text{ЗМ}} = 2t_{\text{пер}} + \frac{l}{V} + t_{\text{в}} \quad (20)$$

де $t_{\text{пер}}$ – тривалість перестановки ТК з залізничної платформи на автотранспорт і в зворотному напрямку, год. Прийнято $t_{\text{пер}} = 10$ хв.

Розрахунок потрібного робочого парку АТЗ району № 1 виконано в таблиці 3.

Фітингові залізничні платформи між станціями навантаження та вивантаження слідує єдиною групою, тобто являють собою кільцевий маршрут, а їх робочий парк для перевезення ТК може бути визначений за формулою:

$$N_p^{\text{фп}} = \left[\frac{U}{m_{\text{ТК}}} \right] \times \left[\frac{\theta_{\text{фп}}}{1440} \right] \quad (21)$$

де $\theta_{\text{фп}}$ – тривалість обороту кільцевого маршруту з платформами, хв.

Таблиця 3

Розрахунок парку АТЗ району №1

Параметр	Значення	
Кількість ТК, шт	7	
Оборот АТЗ для доставки ТК, год	0,91	
- перестановка, год	0,17	
- відстань їздки, км	2,40	
- технічна швидкість, км/год	20	
- тривалість їздки, год	0,12	
- вивантаження, год	0,33	
Коефіцієнт використання АТЗ	0,9	
Коефіцієнт нерівномірності руху	1,1	
Максимальна кількість їздок за добу	21	
Тривалість вивантаження ТК, год	6,37	
Робочий парк району	за змішаною схемою, $A_p^{\text{ЗМ}}$	0,33
	за прямою схемою, A_p	1,62
	розрахунковий	1,95
	прийнятий	2,0

Тривалість обороту маршруту з фітинговими платформами визначається як сума тривалостей їх знаходження в пунктах навантаження, вивантаження і тривалості руху між ними.

Для визначення тривалості знаходження платформ в пункті навантаження (район № 4) було виконано графоаналітичне моделювання маневрової роботи з їх розстановки під навантаження в джерелах 41-45. За результатами моделювання встановлено, що тривалість простою фітингових платформ під навантаженням 7 ТК становить 435,2 хв. Тривалість простою залізничних платформ в ПП (район № 1) визначається виходячи з тривалості обороту АТЗ, що здійснюють перевезення ТК від цього пункту до ДГ і в зворотному напрямку. Тривалість такого простою визначена в табл. 3 і становить 6,37 год (382 хв). Для визначення тривалості обороту $\theta_{\text{фп}}$ маршруту з фітинговими платформами розроблено технологічний графік, що наведено на рис. 3.



Рис. 3. Визначення тривалості обороту фітингових платформ

Таким чином, робочий парк фітингових платформ для перевезення ТК становить

$$N_p^{\text{фп}} = \left\lceil \frac{7}{2} \right\rceil \times \left\lceil \frac{1239,2}{1440} \right\rceil = 4 \text{ пл.}$$

Інвентарний парк фітингових платформ при $K_{\text{тр}} = 1,15$ становить $N_{\text{інв}}^{\text{фп}} = 1,15 \cdot 4 = 4,6$ пл. і прийнятий рівним $N_{\text{інв}}^{\text{фп}} = 5$ пл.

Розрахунок парку танк-контейнерів

Враховуючи режим роботи вантажних автомобілів, що не передбачає зняття ТК з напівпричепів (крім пункту перестановки ТК), можна стверджувати, що робочий парк ТК є еквівалентним прийнятому робочому парку АТЗ в кожному районі A_p (див. табл. 1, 3).

Як показали розрахунки, оборот кільцевого маршруту фітингових платформ становить $\theta_{\text{фп}} = 1239,2$ хв, що не перевищує 1 доби. Таким чином, при організації доставки ЗВВ за змішаною залізнично-автомобільною схемою робочий парк ТК відповідає їх добовій кількості навантаження U . Результати розрахунку робочого та інвентарного парку ТК представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Розрахунок парку танк-контейнерів

Параметр	Район		
	1	2	3
Робочий парк АТЗ, од.	2	2	5
Добове навантаження ТК, од.	7	–	–
Робочий парк ТК, од.	9	2	5
	16		
Коефіцієнт технічної готовності	1,1		
Інвентарний парк ТК	розрахунковий	17,6	
	прийнятий	18	

Висновки

Як показали дослідження, використання ТК дозволяє організувати ефективні технологічні схеми транспортування ЗВВ в умовах діючого

металургійного виробництва без значних змін в роботі внутрішнього транспорту підприємства. Представлена в роботі методика розрахунку параметрів процесу перевезень автомобільним і залізничним транспортом може бути використана для економічного обґрунтування перевезень ЗВВ у ТК при переході до удосконаленої технології рециклінгу відходів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Украинская металлургия: современные вызовы и перспективы развития: моногр. / А. И. Амоша, В. И. Большаков, А. А. Минаев, Ю. С. Залознова, Л. А. Збаразская, и др.; НАН Украины, Ин-т экономики пром-сти. – Донецк, 2013. – 114 с.
2. Демидик В. Н. Устойчивое развитие и рецикллинг отходов в черной металлургии / В. Н. Демидик // Металл и литье Украины. – 2014. – № 8. – С. 36-40.
3. Підвищення експлуатаційної стійкості та ефективності роботи промислового транспорту в умовах металургійного підприємства [Текст] : монографія / [Б. П. Серета та ін.] ; Дніпров. держ. техн. ун-т (ДДТУ). – Кам'янське : ДДТУ, 2021. – 271 с
4. Про Правила дорожнього руху : Постанова Каб. Міністрів України від 10.10.2001 р. № 1306 : станом на 4 листоп. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п#Text>.
5. Technical Guidance for Shipping Bulk Liquids. ITCO International Tank Container Organisation. URL: <https://www.international-tank-container.org/en/technical/technical-guidance-for-shipping-bulk-liquids>.
6. Особливості ТО і ремонту спеціалізованого рухомого складу [Текст]: методичні вказівки до виконання практичних робіт / уклад.: Ю. І. Пиндус, Р. Р. Заверуха; Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Тернопіль, 2016 – 56 с.
7. Вагон-платформа модель 13-7133. Головна. URL:<https://www.kvsz.com/index.php/ua/produksiya/vantazhne-vagonobuduvannya/vagoni-platformi/item/2415-vahon-platforma-model-13-7133-i-13-7133-01>.

Надійшла до редколегії 17.11. 2023
Прийнята до друку 28.11.2023

TRANSPORT SUPPORT OF METALLURGICAL PRODUCTION WASTE RECYCLING

Purpose. One of the possible ways to improve the efficiency and environmental friendliness of metallurgy is processing and reuse in production as raw material of iron-containing dusty waste. At the same time, an integral component of such waste recycling is the transportation of iron-containing dust from the sources to the granulation areas, where it is processed. However, existing technological solutions for dust transportation are characterized by significant dust generation both during loading-unloading operations and during transportation. In this regard, the paper considers dust-free transportation technology for dusty waste using tank containers. **Methodology.** During the research, methods of geospatial analysis of transportation routes, taking into account dimensional and weight restrictions, methods of planning the operation of motor vehicles on routes, methods of the theory of shunting work on railway transport were used. **Results.** The work on the application of one of the metallurgical enterprises presents the methodology for determining the required fleet of vehicles and the main technical and technological parameters of schemes for the iron-containing dust transportation in tank containers by road and rail transport. **Scientific novelty.** The obtained research results on transport process parameters allow to perform scientific and economic justification of choosing a technological scheme for the transportation of dust waste. **Practical significance.** The presented technological schemes can be used as solutions for the transportation support of recycling iron-containing dusty waste in metallurgical production.

Keywords: recycling, iron-containing waste, industrial transport, tank container